

Численное моделирование кавитационных течений в гидротурбине в режимах частичной и полной загрузки

ПАНОВ ЛЕОНИД ВЛАДИМИРОВИЧ

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

e-mail: panovleonid62007@yandex.ru

ЧИРКОВ ДЕНИС

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия

В проточном тракте гидротурбины на режимах далёких от оптимального наблюдаются сильные колебания давления и расхода жидкости. Такие колебания вызваны кавитацией и приводят к шумам, вибрации, эрозии поверхностей проточного тракта. К таким режимам работы относятся режимы частичной загрузки – малое открытие лопаток направляющего аппарата; и полной загрузки – большое или максимальное открытие лопаток. Режим частичной загрузки характеризуется образованием вихревого жгута в конусе отсасывающей трубы и хорошо моделируется в рамках URANS уравнений несжимаемой жидкости [1], однако по природе ядро жгута состоит из пара, поэтому необходимо учитывать в уравнениях динамику пара. Режим полной загрузки характеризуется образованием почти симметричной кавитационной полости, объём которой существенно пульсирует во времени. Полную загрузку не удаётся описать в рамках модели несжимаемой жидкости.

В данной работе изложен численный метод моделирования нестационарных кавитационных течений в проточном тракте гидротурбины, который является логическим следствием работ [3,2,1]. В этом методе проточный тракт гидротурбины состоит из водовода, в котором решаются одномерное уравнение гидроакустики, и турбины, в которой решаются трёхмерные уравнения движения смеси «жидкость-пар» методом искусственной сжимаемости. Кавитация в турбине описывается уравнение переноса объёмной доли жидкости с источником членом, отвечающим за парообразование и конденсацию [4]. На входе в водовод и на выходе из отсасывающей трубы задаются полные энергии потока [2], что является принципиальным в течениях с кавитацией.

В работе проведено моделирование режима частичной загрузки, при котором образовался вихревой жгут, заполненный паром. При сопоставлении с экспериментом оказалось, что частоты колебаний локального давления совпадают с экспериментом, однако амплитуды колебаний давления в 1.5 раза ниже чем в эксперименте.

В работе впервые проведено трёхмерное моделирование режима полной загрузки, при котором образовалась почти симметричная пульсирующая кавитационная полость в отсасывающей трубе. Объём этой полости сильно меняется при пульсациях – от больших размеров до нуля. Кроме того наблюдаются сильные колебания локального давления во всём проточном тракте, которые в трубе достигают 6% от напора. Аналогичные пульсации объёма полости и колебания давления наблюдаются в экспериментах на режимах полной загрузки. Количественное сопоставление с экспериментом проводится в настоящее время.

Cherny S, Chirkov D, Bannikov D, Lapin V, Skorospelov V, Eshkunova I and Avdushenko A 2010 3D numerical simulation of transient processes in hydraulic turbines IAHN Symp. on Hydraulic Machinery and Systems (Timisoara, Romania)

Панов Л.В., Чирков Д.В., Чёрный С.Г., Пылёв И.М., Сотников А.А. 2012 Численное моделирование стационарных кавитационных течений вязкой жидкости в гидротурбине Френсиса, Теплофизика и аэромеханика, том 19, № 4, с. 461-473

[3] Черный С.Г., Чирков Д.В., Лапин В.Н., Скорospelов В.А., Шаров С.В. Численное моделирование течений в турбомашинах. Новосибирск: Наука, 2006. 206 с.

Singhal A K, Vaidya N and Leonard A D 1997 Multi-dimensional simulation of cavitating flows using a PDF model for phase change ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, ASME Paper FEDSM97-3272