

Метод численного моделирования переходных процессов в гидротурбинах

АВДЮШЕНКО АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ

Институт вычислительных технологий СО РАН (Новосибирск), Россия
e-mail: ovalur@gmail.com

ЧЕРНЫЙ С. Г.

Работа посвящена численному моделированию нестационарных пространственных течений в гидротурбинах (ГТ) при переходных режимах их работы. Переходные режимы обусловлены регулировкой открытия направляющего аппарата (НА) a_0 при переводе ГТ из одного установившегося режима работы в другой или изменением полезной нагрузки M_{gen} на вал рабочего колеса (РК). Стационарные и периодически нестационарные трехмерные течения в установившихся режимах работы ГТ довольно хорошо моделируются в настоящее время [1]. Они характеризуются постоянными расходом воды Q и скоростью вращения РК ω , границы расчетной области не меняются со временем. Переходные процессы являются существенно нестационарными, связаны с сильным изменением расхода во времени, которое приводит к возникновению гидроудара $\Delta H(\mathbf{x}, t)$ [2]. Гидравлический удар $\Delta H(\mathbf{x}, t)$ может как повышать общий напор на турбине

$$H(\mathbf{x}, t) = H_0 + \Delta H(\mathbf{x}, t) \quad (1)$$

в случае, если он положительный, так и понижать, когда он отрицательный. Здесь H_0 — разность между уровнями верхнего и нижнего бьефов гидроэлектростанции. Явление гидроудара можно было бы непосредственно моделировать, если учитывать упругие деформации аэрированной воды и стенок проточного тракта (ПТ). При этом пришлось бы рассчитывать течение во всем ПТ ГТ, включая напорный водовод. Это привело бы к колоссальным вычислительным затратам и поэтому в настоящее время недостижимо. В работе предлагается комбинированный подход, в котором прохождение гидроудара в водоводе описывается одномерной моделью «упругого» гидроудара, а в области НА и РК — в «жестком» приближении, но в «аккуратной» пространственной геометрической и гидродинамической постановке.

При переходных процессах частота вращения РК изменяется, поэтому необходимо находить её в процессе расчета течения из решения уравнения вращения РК как твердого целого

$$I_z \frac{d\omega}{dt} = M_R(t) - M_{gen}(t) - \text{sgn}(\omega)M_{тр}, \quad (2)$$

где I_z — суммарный момент инерции РК и генератора, M_R — крутящий момент, обусловленный действием потока на РК, $M_{тр}$ — результирующий момент трения в электромеханической системе агрегата.

Также при моделировании течения в каналах НА с открывающимися или закрывающимися лопатками форма ячеек сетки не является фиксированной и под-

страивается под положение поверхностей лопаток, являющихся границами расчетной области. Это приводит к необходимости использования подвижных, меняющихся со временем сеток. В настоящей работе используется эффективный консервативный метод решения уравнений движения несжимаемой жидкости на подвижной сетке. В основу метода положены интегральные законы сохранения массы и количества движения, записанные для произвольного движущегося контрольного объема. Важным требованием, которому должен удовлетворять численный метод решения уравнений движения жидкости на подвижной сетке, является выполнение условия геометрической консервативности (УГК). Суть его состоит в том, что если решением рассматриваемой задачи является однородный поток, то метод с двигающейся сеткой должен выдавать этот же поток без какого-либо возмущения. В построенном методе предложен оригинальный подход, обеспечивающий выполнение УГК.

В работе рассматриваются особенности взаимодействия параметрами течения между областями водовода и гидротурбины. Приводятся результаты расчетов переходных процессов: пуска в турбинный режим, уменьшения мощности, мгновенного сброса нагрузки. Проводится сравнение с экспериментальными данными.

Список литературы

- [1] Черный С.Г., Чирков Д.В., Лапин В.Н., Скороспелов В.А., Шаров С.В. Численное моделирование течений в турбомашинах. Новосибирск: Наука, 2006. 202 с.
- [2] Кривченко Г.И., Аршеневский Н.Н., Квятковский Е.Е., Клабуков В.М. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках. Под ред. Г.И. Кривченко. Москва: Энергия, 1975. 368 с.