

# **Численное моделирование многофазных "жидкость-пар" и "жидкость-пар-воздух" течений в гидротурбине**

## **1. Состав коллектива исполнителей**

Щербаков П.К., Чирков Д.В.

Контактное лицо: Щербаков Павел Константинович, ldoffys@gmail.com.

## **2. Научное содержание работы**

### **2.1. Постановка задачи**

Работа посвящена моделированию вызванных нестационарной неустойчивостью сжимаемой парогазовой каверны в конусе отсасывающей трубы гидротурбины: в определенных режимах работы (при повышенных нагрузках) стационарное кавитационное течение в гидравлической системе ГЭС является неустойчивым, что приводит к автоколебаниями. Также рассматривалась методика построения кавитационной характеристики гидротурбины, выполнялась калибровка параметров модели.

### **2.2. Современное состояние проблемы**

В крупных математических пакетах, предназначенных для моделирования, прежде всего таких как ANSYS CFX и ANSYS Fluent, существуют алгоритмы, позволяющие проводить расчеты с учетом фазовых превращений, однако авторы [1] отмечают проблемы с консервативностью реализованных схем, что ограничивает возможности моделирования многофазных течений в указанных пакетах. Более того, в ANSYS CFX отсутствует возможность учета совмещения гидроакустической модели напорного водовода с 3D моделью гидротурбины.

### **2.3. Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы**

Описанные задачи решались при помощи использования имеющихся, а также добавления новых возможностей программного комплекса CADRUN, разработанного в ИВТ СО РАН.

Используемая модель включает в себя уравнения Навье-Стокса, к которым были добавлены два уравнения переноса объемных долей жидкости и воздуха. Использовалась модель кавитации Зварта-Гербера-Беламри.

Для численного решения уравнений использован метод искусственной сжимаемости с MUSCL схемой 3-го порядка для аппроксимации конвективных потоков. Точность расчета переноса жидкой и газовой фазы протестирована на сквозном расчете задачи о разрушении плотины.

### **2.4. Полученные результаты**

Разработаны модель, численный метод и методика расчета нестационарного течения «жидкость-пар-газ», возникающего в гидротурбине при подаче воздуха в нее. Для этого предложенная ранее 1D-3D численная модель течения в проточном тракте ГЭС расширена путем введения второй газовой компоненты – неконденсируемого газа (воздуха).

Разработанная численная модель применена для исследования влияния вдува воздуха под рабочее колесо гидротурбины на нестационарное кавитационное течение в

проточном тракте на режиме повышенной нагрузки. Гидродинамические расчеты показали, что даже при небольшом объемном расходе вдуваемого воздуха (порядка 0.1% от расхода жидкости) амплитуда автоколебаний снижается в несколько раз. При увеличении подачи воздуха до 0.4% пульсации давления практически исчезают (Рис. 1). Проанализирована картина многофазного течения в отсасывающей трубе. По всей видимости, снижение пульсаций происходит за счет уменьшения области кавитации и за счет перестроения потока под рабочим колесом вследствие всплытия воздушного пузыря.

2) Была протестирована методика прогнозирования срывного кавитационного коэффициента, основанная на применении двухфазной модели кавитации Зварта-Гербера-Беламри. Была выполнена калибровка параметров модели кавитации (Рис. 2), позволяющая получать более точный прогноз для конкретной гидротурбины.

Рассмотрена методика прогнозирования кавитационной характеристики на основе распределения давления на тыльной стороне лопасти РК. Показаны области ее применимости, преимущества и недостатки.

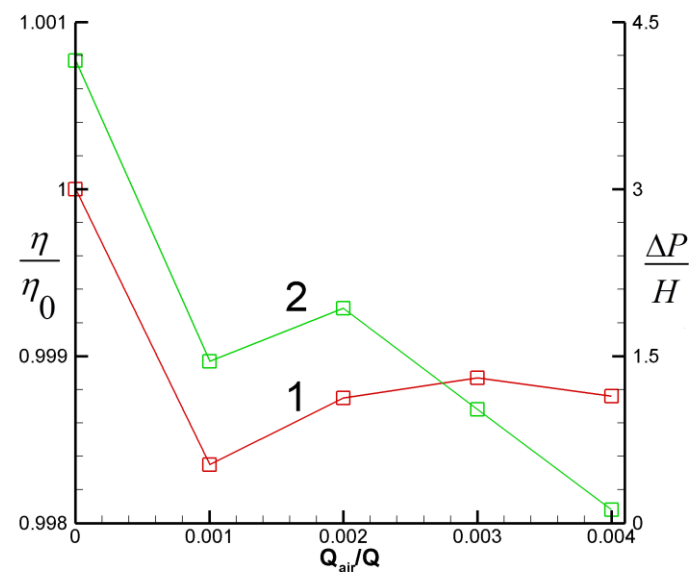
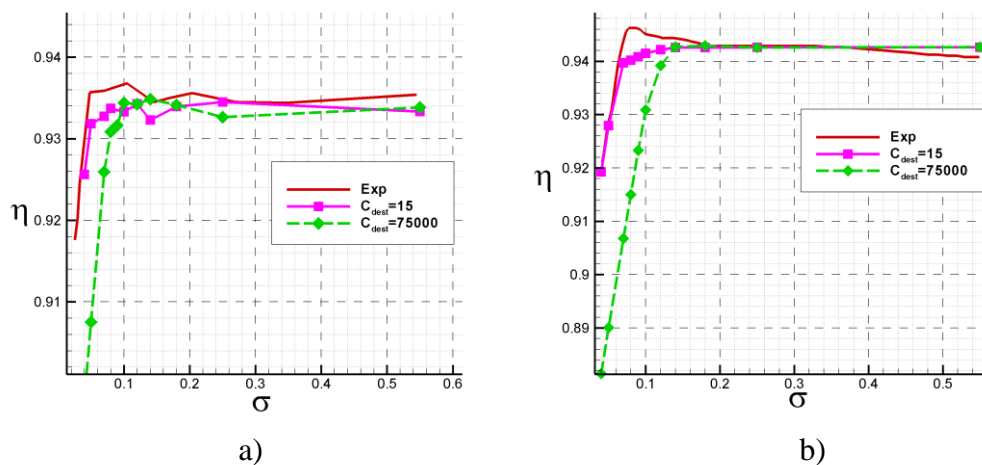
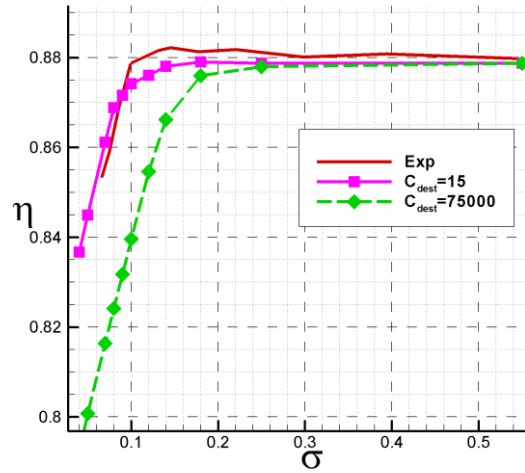


Рис. 1. Зависимость относительного КПД (1) и амплитуды пульсаций давления (2) от расхода вдуваемого воздуха.





с)

Рис.2. Зависимость КПД от кавитационного коэффициента  $\sigma$  при модифицированной константе  $C_{dest}$  для различных открытий НА: а)  $a_0 = 26\text{мм}$  б)  $a_0 = 32\text{мм}$  с)  $a_0 = 42.8\text{мм}$

### 3. Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Моделирование нестационарных процессов в гидротурбине требует подробной сетки. Для ускорения проведения расчетов была использована параллельная реализация алгоритма, позволяющая сократить расчетное время в несколько раз. Все расчеты были проведены на ИВЦ НГУ.