

### 0.1. Щербakov П.К. Численное моделирование течений в гидротурбине с использованием модели "вода-пар-воздух"

В гидравлических турбинах часто возникают кавитационные явления. Они оказывают негативные эффекты на конструкцию, снижают КПД, вызывают шумы и вибрации. Так же наличие кавитационных каверн является причиной возникновения низкочастотных пульсаций, распространяющихся по всему проточному тракту ГЭС [1]. На сегодняшний день одним из наиболее распространенных способов борьбы с повышенными пульсациями является выпуск воздуха под рабочее колесо гидротурбины. Настоящая работа посвящена моделированию этого процесса.

Математическая модель состоит из уравнений Навье—Стокса сжимаемой смеси «жидкость-пар-воздух», уравнения переноса объемной доли жидкости с источниковыми членами, отвечающими за конденсацию и парообразование, а также уравнения переноса объемной доли воздуха. Замыкается система при помощи  $k - \epsilon$  модели турбулентности Кима—Чена.

Численный алгоритм основан на методе искусственной сжимаемости и неявном методе конечных объемов, аналогичном [2, 3]. Для аппроксимации невязких потоков использовалась MUSCL схема третьего порядка. Вязкие потоки аппроксимировались при помощи центрально-разностной схемы второго порядка.

Исследовано влияние скорости выпуска воздуха на картину течения в отсасывающей трубе. Результаты стационарных и нестационарных расчетов позволяют говорить о том, что при помощи выпуска воздуха под рабочее колесо гидротурбины можно контролировать интенсивность кавитации. При расходе воздуха порядка 1% от расхода воды через гидротурбину кавитация исчезает. При этом существенно снижаются пульсации давления.

*Научный руководитель – к.ф.-м.н. Чирков Д.В.*

[3] KUNZ R., BOGER D., STINEBRING D., ET AL. A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction // Computers & Fluids. — 2000. — No 29, P. 849–875.

## Список литературы

- [1] SHIRKOV D., CHERNY S., SCHERBAKOV P., ZAHAROV A. Evaluation of range of stable operation of hydraulic turbine based on 1D-3D model of full load pulsations // Proceedings of 6th IAHR Working Group “Cavitation and dynamic problems”, Ljubljana, Slovenia: Faculty of Technologies and Systems. — 2015. — P. 177–184.
- [2] ЧЕРНЫЙ С. Г., ЧИРКОВ Д. В., ЛАПИН В. Н., СКОРОСПЕЛОВ В. А., ШАРОВ С. В. Численное моделирование течений в турбомашинах / Новосибирск: Наука, 2006.