

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕКЦИИ ВОЗДУХА НА ПУЛЬСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА В МОДЕЛЬНОЙ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ

Скрипкин С. Г.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,  
630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1

В настоящее время одним из основных направлений в развитии гидротурбостроения является улучшения эксплуатационных характеристик гидротурбин и повышение эффективности при работе в форсированных режимах. Зачастую в таких режимах поток, сходящий с рабочего колеса, приобретает большую степень закрутки, что в совокупности с увеличением площади поперечного сечения отводящего канала (отсасывающей трубы) приводит к формированию и распаду вихря, который начинает прецессировать [1]. Таким образом, прецессирующее вихревое ядро (ПВЯ) вызывает сильные пульсации давления, что в свою очередь может привести к выходу гидротурбины из строя. В связи с этим большинство современных исследований направлено на оптимизацию геометрии турбин, для минимизации эффекта ПВЯ. На ряду с этим развиваются и методы по контролю и подавлению уже сформировавшегося ПВЯ, к ним можно отнести установку крестовин, рёбер, подачу центральной струи воды и воздуха.

Одним из широко используемых методов, для подавления пульсаций давления, является введение в зону рециркуляции воздуха. Течение стабилизируется и образуется воздушная полость, окруженная закрученным потоком. Таким образом, происходит переход от спиралевидного вихревого жгута к растянутому воздушному пузырю. Эта методика была апробирована путём проведения многочисленных тестов для оценки влияния подачи воздуха на КПД турбины. Было получено, что относительно небольшое введение воздуха значительно уменьшает колебания давления и практически не оказывает влияния на энергетические характеристики гидротурбин. Однако с увеличением подачи воздуха, было установлено значительное уменьшение эффективности турбины. С увеличением воздушной полости начинала изменяться собственная частота колебаний в отсасывающей трубе.

В основном, большинство экспериментальных работ направлено на исследование оптимального места инъекции воздуха и обычно содержат данные по одному фиксированному расходу воздуха. Целью исследований [2,3] было получение экспериментальных данных с использованием различные тестовых моделей для повышения концентрации растворённого кислорода в воде, протекающей через турбину.

Были разработаны несколько систем подачи воздуха, в которых воздух подавался вдоль центральной оси, с обтекателя, с периферии и с задней кромки рабочего колеса. Проведённые исследования показали, что каждое из устройств имеет свои сильные и слабые стороны, которые в свою очередь зависят от условий эксплуатации. Первой полезной информацией полученной из тестовых экспериментов было то, что подача воздуха с периферии и по центру не изменяет КПД турбины. Очевидно, что подача воздуха

существенно влияет на возбуждение собственных частот системы при прохождении воды через турбину. В результате экспериментов, самым эффективным методом подачи кислорода стала аэрация через конус обтекателя.

Для исследований влияния объёмного газосодержания на частотные характеристики закрученного потока гидродинамический стенд, содержащий рабочий участок, изготовленный по геометрии отсасывающей трубы TURBINE-99, был оснащён датчиком расхода газа, что позволило изменять расход воздуха от 0 до 50 л/с при фиксированных расходах жидкости. Для обобщения данных эксперимент проводился с тремя различными стационарными завихрителями, моделирующих рабочее колесо турбины с конструктивными параметрами закрутки потока: 0.4, 0.65, 1.1.

Предварительная визуализация течения камерой высокоскоростной съёмки позволила выделить интересный эффект формирования двух неустойчивых прецессирующих вихревых жгутов, которые объединялись через несколько секунд после их появления (см. рис 1), причём подобный процесс перехода обладал некоторой циклическостью.

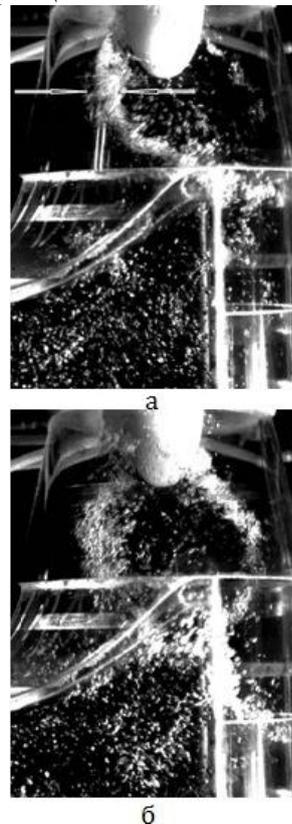


Рис. 1. Односпиральный вихревой жгут (а)  
двухспиральный вихревой жгут (б)

В ходе экспериментального исследования были получены данные содержащие зависимости частоты прецессии вихревого жгута от расхода добавляемого воздуха, а также влияние малого газосодержания на

амплитуду пульсаций. Помимо этого были получены данные по влиянию добавления воздуха на коэффициент восстановления давления отсасывающих труб, который является одним из основных показателей их эффективности. При небольшом газосодержании наблюдается незначительное уменьшение, а затем с увеличением расхода воздуха рост и явно выраженный максимум функции коэффициента восстановления давления.

#### Список литературы:

1. Puolakka O., Keto-Tokoi J., Matusiak J. Unsteady load on an oscillating Kaplan turbine runner *Journal of Fluids and Structures* 2013 T. 37. С. 22–33
2. Benoit Papillon Methods for air admission in hydroturbines *Proceedings of the XXIst IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems 2002*, September 9 - 12, 2002, Lausanne
3. Veli TURKMENOGU The vortex effect of Francis turbine in electric power generation// *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 2011. Т. 21. С. 26 -37.