

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Скрипкина Сергея Геннадьевича на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ОДНО- И ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЯХ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОТУРБИНЫ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Использование тепловых и атомных электростанций с низкой скоростью изменения мощности, а также внедрение в электрическую сеть таких нестабильных технологий как ветряные, солнечные электростанции, приводит к тому, что на гидроэлектростанции ложится важная регулирующая роль для поддержания стабильной работы электрической сети. Это обеспечивается работой гидротурбин в широком диапазоне режимов, зачастую далеких от оптимального, на который они изначально были спроектированы. В неоптимальном режиме работы поток за рабочим колесом имеет избыточную закрутку (S), что может приводить к формированию в нем концентрированных вихревых структур в форме спирального или мультиспирального прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ). Наличие ПВЯ в проточном тракте снижает эффективность и стабильность работы гидроагрегата. Совпадение частоты пульсаций давления вызванных ПВЯ с собственными частотами проточного тракта может приводить к негативным последствиям, вплоть до выхода оборудования из строя.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния рабочих параметров на динамику прецессирующего вихревого жгута на модельных гидротурбинных установках для достижения более глубокого понимания физических механизмов и условий формирования ПВЯ и связанных с ним пульсаций давления.

Содержание работы:

1. В работе получены новые экспериментальные данные с использованием модельной гидротурбины, включающие распределения скоростей, распределения пульсаций скорости, пульсации давления на стенке, высокоскоростную визуализацию в различных рабочих режимах, необходимые для верификации численных и аналитических расчётов. Визуализация позволила получить начальное представление о структуре вихревого течения в различных режимах.

2. Значительный интерес представляет обнаруженное в работе явление вихревого перезамыкания, приводящего к формированию вихревых колец в модельной гидротурбине. В ходе изучения особенностей вихревого жгута в различных режимах течения, был обнаружен режим, в котором спиральная форма ПВЯ значительно меняется во времени. Невозмущенный вихревой жгут начинает искривляться таким образом, что два соседних витка оказываются в значительной близости друг к другу, что приводит к их самоиндуцированному сближению. Результатом данного процесса является перезамыкание двух вихревых трубок с последующим формированием вихревого кольца, являющегося частью вихревой спирали между точками соприкосновения. Сам процесс отрыва вихревого кольца занимает всего 5-10 мс, а вихревая спираль восстанавливается уже через 30 мс. Предположительно источником перезамыкания может послужить формирование длинноволновой неустойчивости и образование нелинейных возмущений называемых “бризеры” (breathers), возможность появления которых преимущественно

связана с пространственными характеристиками вихря (Salman 2013). Явление образования вихревых колец представляет несомненный интерес как с фундаментальной, так и с технической точки зрения.

Хотя отрыв вихревых колец наблюдался и ранее (Platonov et al. 2017), в работе показано, что именно отрывающиеся вихревые кольца в исследуемом режиме являются источником значительных аperiodических пульсаций давления. Для этого была разработана методика, позволяющая регистрировать пульсации давления на стенке отсасывающей трубы синхронно с высокоскоростной съёмкой.

3. Основными методами контроля и управления ПВЯ являются установка вертикальных ребер и крестовин различного типа в конусе отсасывающей трубы, перфорацию лопаток и конуса обтекателя, инъекцию воздуха или струи воды. В работе исследуется применение инъекции газовой фазы в закрученный поток с целью воздействия на ПВЯ. Данная методика представляется достаточно эффективной для борьбы с нежелательными нестационарными явлениями ввиду простоты реализации системы подачи воздуха в поток, а также его значительного влияния на пульсационные характеристики течения. Из результатов работы можно заключить, что своевременная инъекция газовой фазы в поток с ПВЯ может не только снизить амплитуду пульсаций давления, но также сместить частоту прецессии, что может быть востребовано при угрозе эксплуатации гидроагрегата вблизи условий резонанса с низкочастотными осцилляциями ПВЯ. Полученные экспериментальные данные могут послужить основой для разработки полноценной методики управления ПВЯ в гидротурбинах, а также будут способствовать дальнейшему развитию аналитических и полуэмпирических моделей газожидкостного потока при наличии концентрированных вихревых структур.

В качестве замечания можно пожелать автору более определенно сказать об особой роли аperiodических возмущений (отрыв вихревых колец) и их значении в возбуждении опасных для гидротурбин вибраций.

Тематика диссертационной работы актуальна и имеет очевидные практические приложения в развитии методов борьбы с нежелательными вибрациями гидротурбин. Достоверность полученных результатов, насколько можно судить по автореферату диссертации, является достаточно высокой. Таким образом, диссертационная работа Скрипкина Сергея Геннадьевича «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ОДНО- И ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЯХ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОТУРБИНЫ» содержит совокупность новых научных результатов и выполнена на высоком научно-техническом уровне, а её автор, Скрипкин Сергей Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Дата: 09.03.2021

Подпись

Копьев Виктор Феликсович, начальник отделения, ФГУП
"ЦАГИ" им. проф. Н.Е. Жуковского *ул. Жуковского д. 1,
Московской обл.,
140180*

Подпись В.Ф. Копьева заверяю:

Заместитель начальника комплекса по организационно-административному
управлению НИМК ЦАГИ, к.т.н.



Ю.М. Дзёма