

## **Численная модель прогноза критических зон работы гидротурбин (резонанс, вибрация, автоколебания с повышенными амплитудами)**

**АВТОРЫ:** к.ф.-м.н. Чирков Денис Владимирович, д.ф.-м.н. Черный Сергей Григорьевич, асп. Щербаков Павел Константинович.

Результат обобщает исследования последних 10 лет по разработке численных моделей нестационарных особенностей в проточных частях гидротурбин.

Представлены математическая модель, численный метод и комплекс программ для прогноза пульсаций давления во всем проточном тракте гидроэлектростанции, состоящем из напорного водовода и проточного тракта реальной турбины. Математическая модель включает одномерные уравнения гидроакустики для области водовода и трехмерную модель кавитационного течения жидкости в области гидротурбины (рис. 1). Для численного решения уравнений модели применен неявный метод конечных объемов 2-го порядка аппроксимации по времени и по пространству.

Модель и комплекс программ позволяют непосредственно рассчитывать пульсации давления и скорости во всем проточном тракте гидроэлектростанции, вызванные нестационарными процессами в отсасывающей трубе гидротурбины на режимах неполной и повышенной нагрузки, к которым относятся вращение вихревого жгута, пульсации объема паро-газового ядра. Включение водовода в расчетную область позволяет учесть взаимодействие этих пульсаций с течением в водоводе (усиление, демпфирование). На основании полученных частот и амплитуд пульсаций давления и мощности прогнозируется зона критических режимов работы турбины, обладающих повышенной амплитудой пульсаций (рис. 2).

Разработанная модель учитывает ключевые факторы, определяющие частоту и амплитуду пульсаций в проточном тракте ГЭС, при этом не содержит эмпирических параметров, как известные полностью одномерные модели. Хорошее согласование с экспериментальными данными позволяет использовать данную модель и созданный на ее базе программный комплекс в практике проектирования гидротурбинных установок. Показано, что амплитуда пульсаций существенным образом зависит от формы рабочего колеса. Предложена методика проектирования формы рабочего колеса, позволяющая устранить автоколебания на режимах повышенной мощности при сохранении высокого КПД турбины, тем самым расширить зону устойчивой работы гидравлической турбины (рис. 3).

Комплекс программ внедрен в СКБ «Гидротурбомаш» ПАО «Силовые машины» (г. Санкт-Петербург).

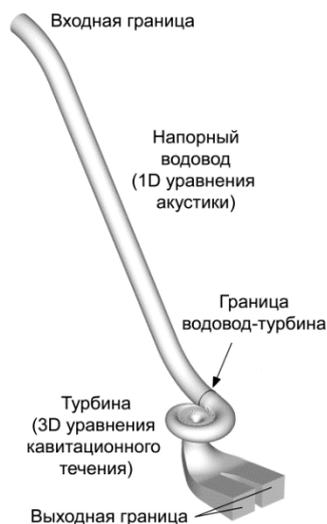


Рис. 1. Расчетная область

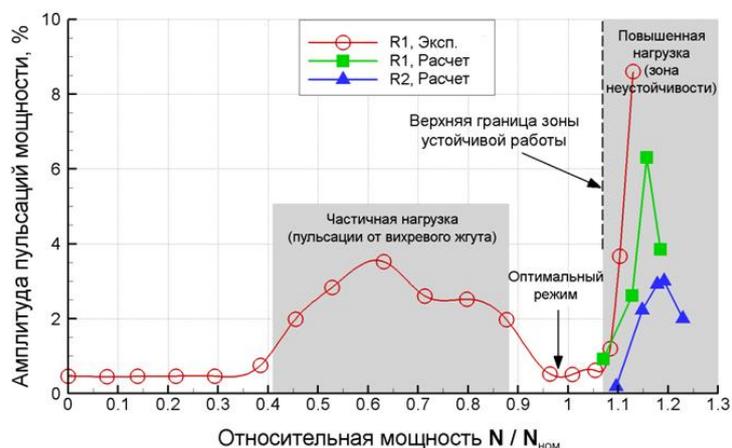


Рис. 2. Определение зоны критической работы (серые области) по амплитуде пульсаций мощности. Сравнение с экспериментом. R1 – турбина с исходным рабочим колесом. R2 – турбина с модернизированным рабочим колесом.

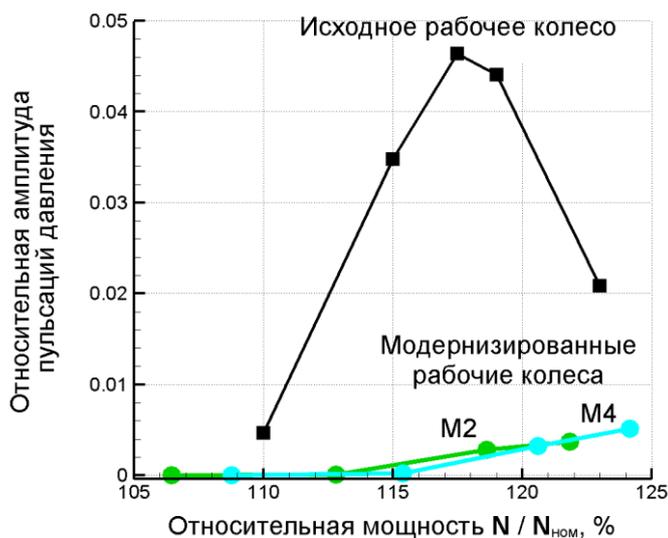


Рис. 3. Зависимость амплитуды пульсаций давления от мощности для исходного рабочего колеса и рабочих колес, модернизированных по представленной методике (M2 и M4).

## ПУБЛИКАЦИИ:

1. Chirkov D., Cherny S., Shcherbakov P., Skorospelov V., Zakharov A. Three-dimensional simulation of full load instability in Francis turbines // JOURNAL OF HYDRAULIC RESEARCH. 2019. Vol. 57 (5). pp. 623-634.