

Миронов Константин Анатольевич, к.т.н., доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», cosmir@i.ua

Яковлева Людмила Константиновна, старший преподаватель, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
lyakovle@inbox.ru

Крупа Евгений Сергеевич, к.т.н., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Кострова Мария Александровна, магистр, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ НА ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ

Возрастающие требования к эффективности, кавитационным и прочностным характеристикам гидротурбин обуславливают необходимость решения задач проектирования существующих и вновь разрабатываемых конструкций гидротурбин на основе вычислительной гидродинамики. Использование современных пакетов прикладных программ позволяет решить задачу поиска оптимальных геометрических характеристик проточной части гидротурбины и анализа гидродинамических течений в ней.

В частности, в монографии [1] рассмотрены численные методы решения трехмерных задач гидродинамики несжимаемой жидкости в турбомашинах, в том числе для поворотно-лопастных и низконапорных радиально-осевых гидротурбин. В [2] обсуждаются результаты расчетного исследования пространственного течения вязкой несжимаемой жидкости в проточной части низконапорной поворотно-лопастной гидротурбины, полученные с помощью программного комплекса IPMflow.

В данной работе рассмотрено влияние высоты отсасывающей трубы в расчетной точке вертикальной высоконапорной радиально-осевой гидротурбины и определены потери энергии в ней.

Отсасывающая труба представляет собой один из элементов проточной части гидротурбины, она предназначена для преобразования остаточной кинетической энергии потока в энергию давления. Знание характеристик отсасывающей трубы позволяет определять кавитационные параметры гидротурбины. В связи с этим исследование гидродинамических процессов в отсасывающей трубе является важной задачей в плане разработки методов повышения эффективности и надежности работы гидротурбины.

Относительная высота входного конуса отсасывающей трубы гидротурбины существенно влияет на ее энергетические характеристики. Особенно это влияние сказывается в высоконапорных радиально-осевых гидротурбинах. Однако, при достижении определенной высоты конуса в отсасывающей трубе, потери энергии начинают возрастать (потери по длине) и могут превысить положительный эффект, который можно получить от удлинения конуса.

В данной работе был проведен численный эксперимент для 3-х вариантов отсасывающих труб, отличающихся высотой h и диаметром колена D_k для высоконапорной радиально-осевой гидротурбины типа РО 500 (табл. 1). Течение в расчетной области отсасывающей трубы описывалось системой нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, интегрирование которой осуществлялось с помощью программного комплекса OpenFOAM®. Турбулентные эффекты описаны на основе SST модели [3]. Твердые стенки предполагались адиабатическими с условием прилипания и равенством нулю эффективной вихревой вязкости. На входе задавался расход равномерного потока при одинаковом заглублении выходной диффузора трубы.

Таблица 1 – Высотные размеры отсасывающих труб

Вариант	Высота входного конуса $h_{кон}$, м	Диаметр колена D_k , м	Относительная высота отсасывающей трубы, \bar{h}	Высота отсасывающей трубы h , м
1	3,795	2,5	3,0	7,5
2	4,9	2,5	3,16	7,9
3	4,582	2,625	3,38	8,45

В расчетах были получены коэффициенты потерь в 7-ти сечениях, указанных на рис.1.

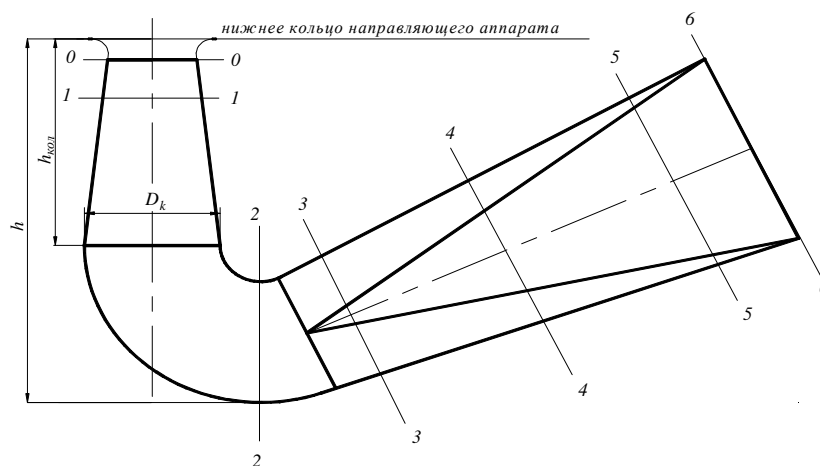
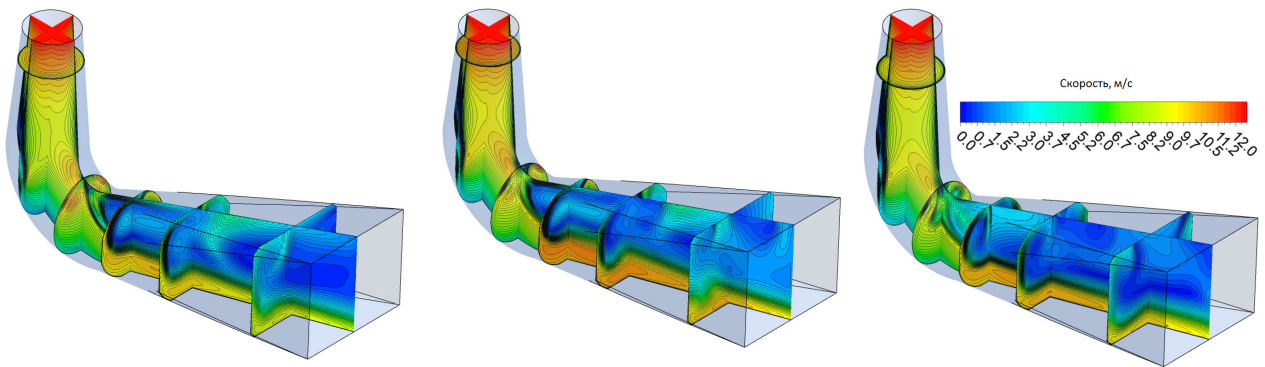


Рисунок 1 – Схема отсасывающей трубы для гидротурбины типа РО 500

На рис. 2 представлены эпюры изменения осредненной по расходу скорости в 7-и сечениях от входа к выходу вдоль отсасывающей трубы.

Поток в трубе является неравномерным. По всей длине трубы имеют место застойные области, где скорость течения близка к нулю (рис. 2). Наибольшие застойные зоны образованы в горизонтальном диффузоре, они занимают значительную часть трубы и расположены, в основном, в области выходного сечения. На рис. 3 представлены эпюры изменения давления в 5-ти сечениях и вдоль отсасывающей трубы.

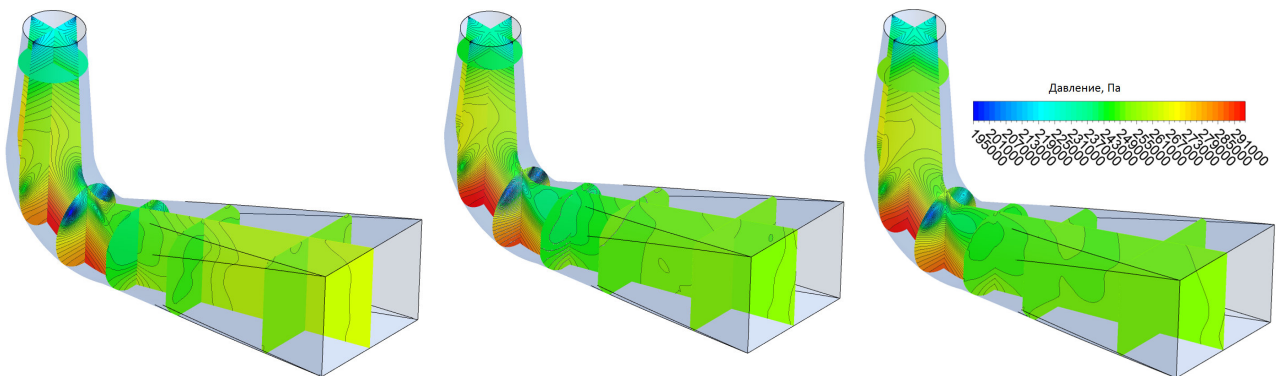


Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

Рисунок 2 – Изолинии скорости в отсасывающей трубе для гидротурбины типа РО-500



Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

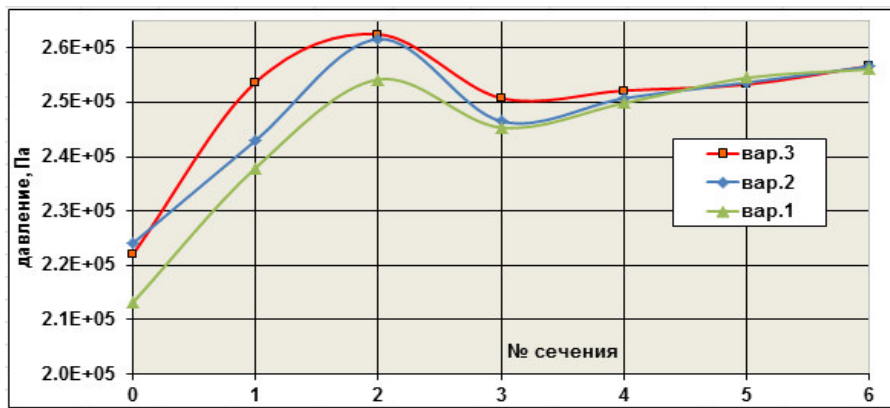
Рисунок 3 – Изолинии давления в отсасывающей трубе для гидротурбины типа РО 500

В выходном сечении находятся области с противотоками, площадь которых занимает от 9 до 15% от выходного сечения (рис. 2).

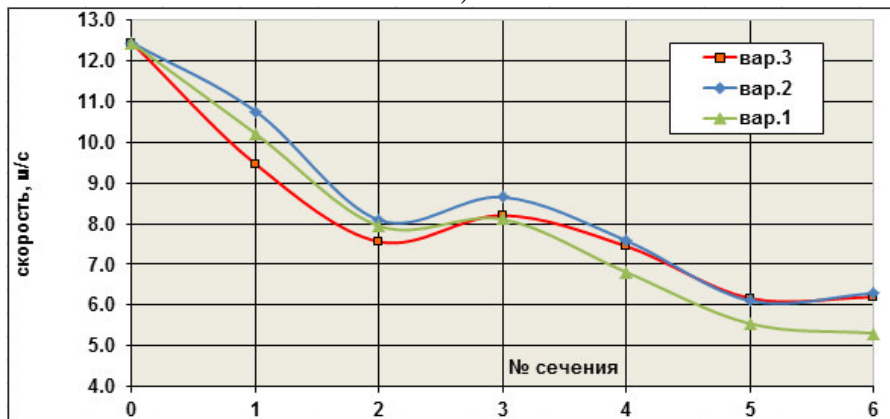
На рис. 4 представлены сравнения трех вариантов спроектированных отсасывающих труб для вертикальной радиально-осевой гидротурбины типа РО500. На графиках изображены осредненные по расходу скорости, статические давления и коэффициент полных потерь по мерным сечениям трубы и в выходном сечении.

В результате проведенного анализа численного исследования потока в трех рассматриваемых вариантах отсасывающих труб (рис. 4) сделан вывод, что предпочтительной по высоте трубой, имеющей меньшие потери энергии, будет отсасывающая труба №2.

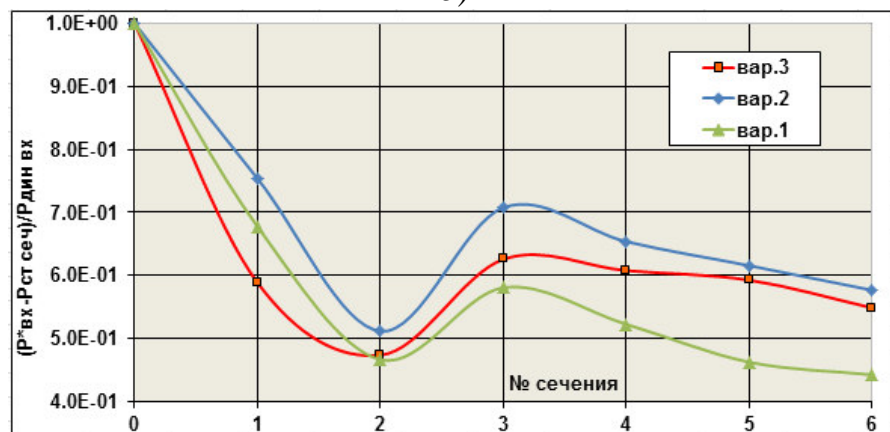
В данной работе рассмотрен случай нулевой закрутки потока на входе в отсасывающую трубу высоконапорной гидротурбины. В дальнейшем представляет интерес рассмотреть варианты с положительной и отрицательной закруткой потока. Также необходимо проверить согласование рабочего колеса с отсасывающей трубой, так как в случае отсутствия такого согласования с отсасывающей трубой это приведет к меньшему восстановлению энергии в отсасывающей трубе и к увеличению потерь в ней.



а)



б)



в)

Рисунок 4,а,б,в – Сравнение результатов расчета для трех вариантов отсасывающих труб для радиально-осевой гидротурбины типа РО500

Литература

1. Численное моделирование течений в турбомашинах / С.Г. Черный, Д.В. Чирков, В.Н. Лапин и др. – Новосибирск: Наука, 2006. – 202 с.
2. Расчетное исследование пространственного вязкого течения жидкости в отсасывающей трубе осевой гидротурбины / А.В. Русанов, Ю.В. Городецкий, Д.Ю. Косьянов и др. // Пробл. машиностроения. – 2011. т. 14, №4. С. 16 – 24.
3. Солодов В.Г. Моделирование турбулентности. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011, 167с.