

УДК 621.224

О.В. ПОТЕТЕНКО, канд. техн. наук; проф. НТУ «ХПИ»;
В.Э. ДРАНКОВСКИЙ, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»;
Е.С. КРУПА, м.н.с. НТУ «ХПИ»

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КАПСУЛЬНОГО ГИДРОАГРЕГАТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION

В данной работе проведено численное исследование движения пространственного потока в проточной части капсульного гидроагрегата ПЛГК-25 с помощью программного комплекса *FlowVision*. Выполнено сравнение полученных результатов с данными, посчитанными по двумерному методу ЦКТИ.

Ключевые слова: гидротурбина, капсульный гидроагрегат, рабочее колесо, проточная часть.

Введение

При создании новой гидромашины, когда подходящие модельные характеристики отсутствуют, спрогнозировать ее напор и КПД до ее изготовления в металле до недавнего времени было крайне затруднительно. Определить теоретический напор, задавшись треугольниками скоростей на входе и выходе, позволяет уравнение Эйлера. Для определения углов потока в этих треугольниках было предложено множество эмпирических формул для различных классов гидромашин (например, поправка Стодолы-Майзеля).

При отсутствии модельных характеристик спрогнозировать параметры, выдаваемые гидромашинной, возможно лишь по результатам расчета картины течения жидкости внутри ее проточной части (ПЧ). Общий случай движения жидкой среды описывается уравнениями Навье-Стокса, однако их решение, ввиду их сложности, до недавнего времени было возможно лишь с существенными упрощениями.

Цель исследования, постановка задачи

Целью исследования является получение кинематических характеристик в характерных сечениях проточной части капсульного гидроагрегата.

В данной работе для численного исследования потока в ПЧ капсульного гидроагрегата ПЛГК-25, с диаметром рабочего колеса $D = 1$ м на оптимальном режиме работы, был использован программный комплекс *FlowVision* (Россия).

Программный комплекс *FlowVision* в настоящее время широко используется для решения прикладных задач гидрогазодинамики при моделировании трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

Моделируемые течения включают в себя стационарные и нестационарные, сжимаемые, слабосжимаемые и несжимаемые потоки жидкости и газа. Использование различных моделей турбулентности и адаптивной расчетной сетки позволяет моделировать сложные движения жидкости, включая течения с циркуляцией, горением, течения со свободной поверхностью.

Процесс расчета течения жидкости включает в себя следующие шаги, выполняемые пользователем:

а) создание области расчета («геометрии» устройства) в САПР и импортирование ее через форматы *VRML*, *STL*, *DEFORM*, *ABAQUS*, *ANSYS* или *NASTRAN* в *FlowVision* (*IGES*, *PARASOLID*, *VDAFS* с помощью *Flow3D Vision*);

© О.В. Потетенко, В.Э. Дранковский, Е.С. Крупа, 2013

- б) задание математической модели;
- в) задание граничных условий;
- г) задание исходной расчетной сетки и критериев её адаптации по решению и по граничным условиям;
- д) задание параметров методов расчета;
- е) проведение расчета (без участия пользователя);
- ж) просмотр результатов расчета в графической форме («визуализация» результатов расчетов) и сохранение данных в файлы;
- з) оценка точности расчетов методом сходимости по сетке.

Рассмотрим каждый из этих шагов на примере рассчитываемого нами капсульного гидроагрегата ПЛГК-25.

Создание геометрической модели гидроагрегата ПЛГ-25 в САПР и импорт ее в FlowVision.

FlowVision не имеет собственного геометрического процессора, поэтому геометрия гидроагрегата должна импортироваться из *CAD*-системы.

В настоящее время существует целый ряд программных продуктов позволяющих эффективно выполнить эту задачу *SolidWorks*, *T-Flex*, *Unigraphics*, *Autocad Mechanical Desktop*, *ProEngineer*, *Catia*, Компас 3D и др.

Геометрия капсульного гидроагрегата, выполненного в *CAD*-системе приведена на рисунке 1.

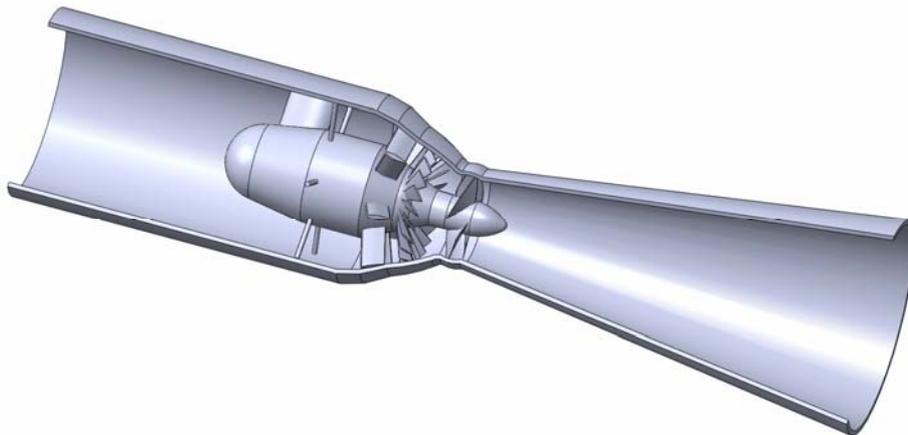


Рис. 1 – Геометрия капсульного гидроагрегата ПЛГК-25

Расчет течения воды в гидроагрегате является задачей внутреннего течения, поэтому в *FlowVision* достаточно импортировать геометрию ПЧ. При этом внутренний объем гидроагрегата должен быть представлен как твердотельная модель.

Следующий этап подготовки геометрии заключается в разделении расчетных областей подвода, вращающегося рабочего колеса и отвода. Для этого необходимо рассечь геометрию двумя плоскостями перед и за рабочим колесом (РК).

Выбор математической модели.

Одним из главных этапов решения задачи является выбор модели расчета. В программе *FlowVision* пользователь для каждой расчетной области задает модель расчета.

Для нашей задачи расчета капсульного гидроагрегата ПЛГ-25 для всех трех расчетных областей была задана модель расчета с названием «Несжимаемая жидкость» и принята k - ϵ модель турбулентности.

Задание граничных условий.

Во *FlowVision* процесс задания граничных условий разбит на два этапа:

- Создание и редактирование всех необходимых граничных условий.
- Расстановка граничных условий на геометрических группах.

Для нашей задачи во всех расчетных областях нами были определены следующие типы граничных условий:

- вход – входное сечение подводящего канала;
- свободный выход – выходное сечение отсасывающей трубы;
- скользящая поверхность – граница между расчетными областями подвод-колесо и колесо-труба;
- стенка – капсула, лопатки направляющего аппарата, статора, колонна, подвод и отсасывающая труба;
- вращающаяся стенка – рабочее колесо, торцы лопастей РК.

Задание исходной расчетной сетки и критериев её адаптации по решению и по граничным условиям.

Одним из важнейших этапов создания расчетной модели является построение расчетной сетки. Построение расчетной сетки – это процесс разбиения расчетной области на множество отдельных ячеек. Ячейки сетки представляют собой многогранники, обычно тетраэдры, гексаэдры, призмы или пирамиды. Кромки этих ячеек образуют линии расчетной сетки, а точки, расположенные на кромках либо в центре ячеек – узлы расчетной сетки. В результате численного решения уравнений математической модели именно в узлах расчетной сетки и определяются искомые параметры течения.

FlowVision использует локально адаптивную расчетную сетку. Сначала строится начальная сетка (равномерная или неравномерная), потом задаются критерии адаптации.

Первым этапом создания расчетной сетки является построение начальной сетки (рис. 2).

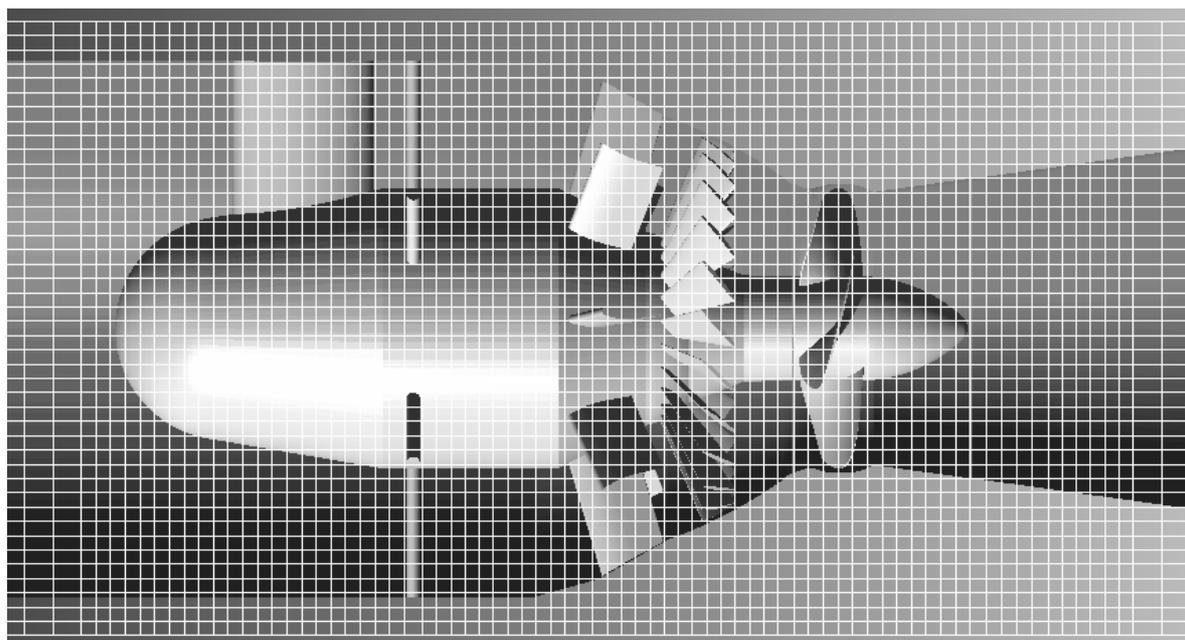


Рис. 2 – Расчетная сетка начального уровня

Второй этап – уточнение расчетной сетки, связан с адаптацией начальных расчетных ячеек.

Процесс решения и визуализация результатов расчета.

Перед началом решения программа производит построение начальной расчетной сетки и производит адаптацию начальной расчетных ячеек (рис. 3). Для нашей задачи число расчетных ячеек составило 1,5 млн.

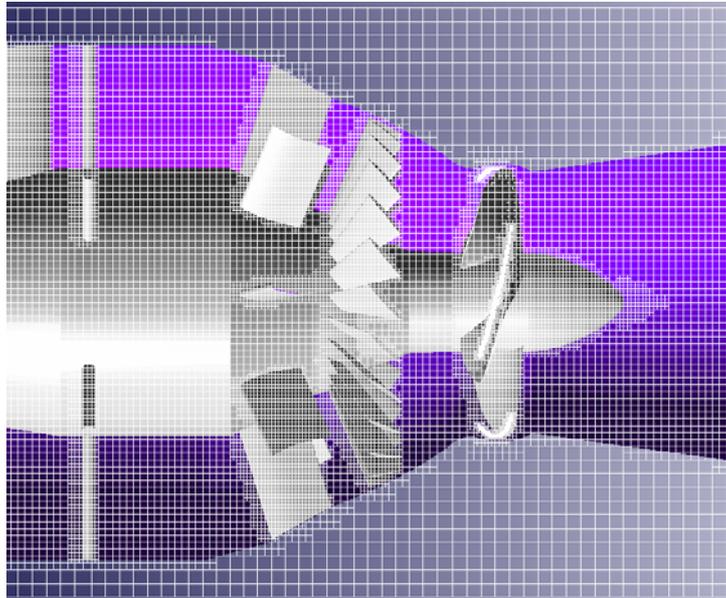


Рис. 3 – Уточнение начальной расчетной сетки

Набор имеющихся средств визуализации в *FlowVision* включает: двумерный график, векторное поле, изолинии и изоповерхности (линии и поверхности равных значений некоторого параметра), разноцветная заливка, анимация движения частиц жидкости, и др.

Результаты исследования

На рис. 4–7 приведены результаты расчета пространственного потока в проточной части капсульного гидроагрегата ПЛГК-25 в виде разноцветной заливки.

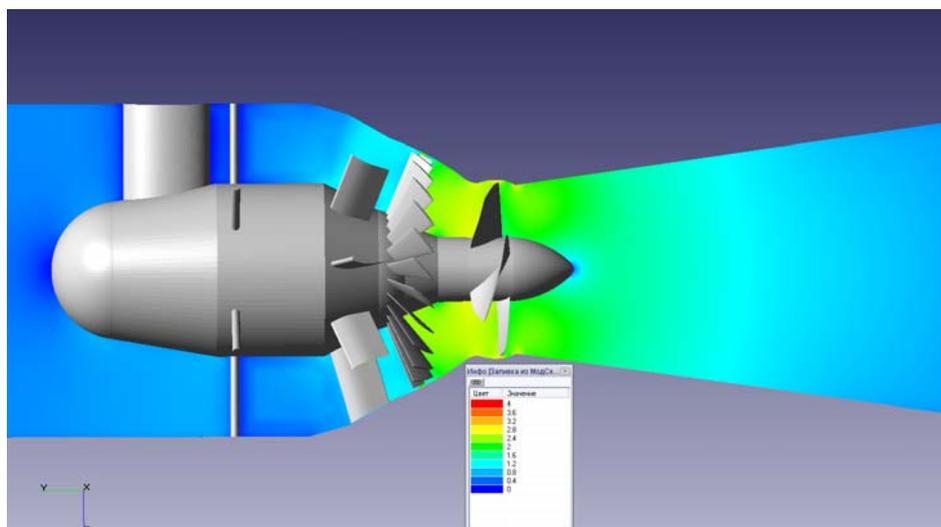


Рис. 4 – Распределение скорости в меридиональном сечении

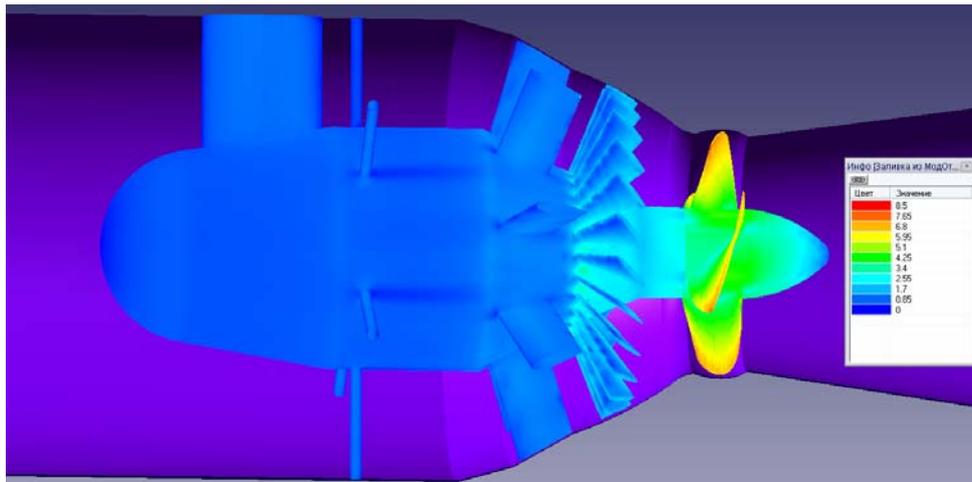


Рис. 5 – Распределение относительной скорости потока вдоль поверхности гидроагрегата

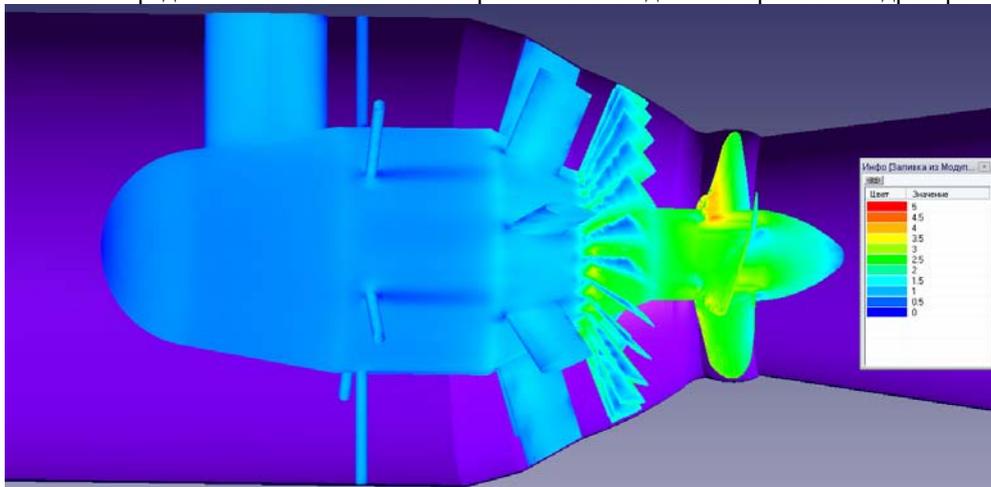


Рис. 6 – Распределение абсолютной скорости потока вдоль поверхности гидроагрегата

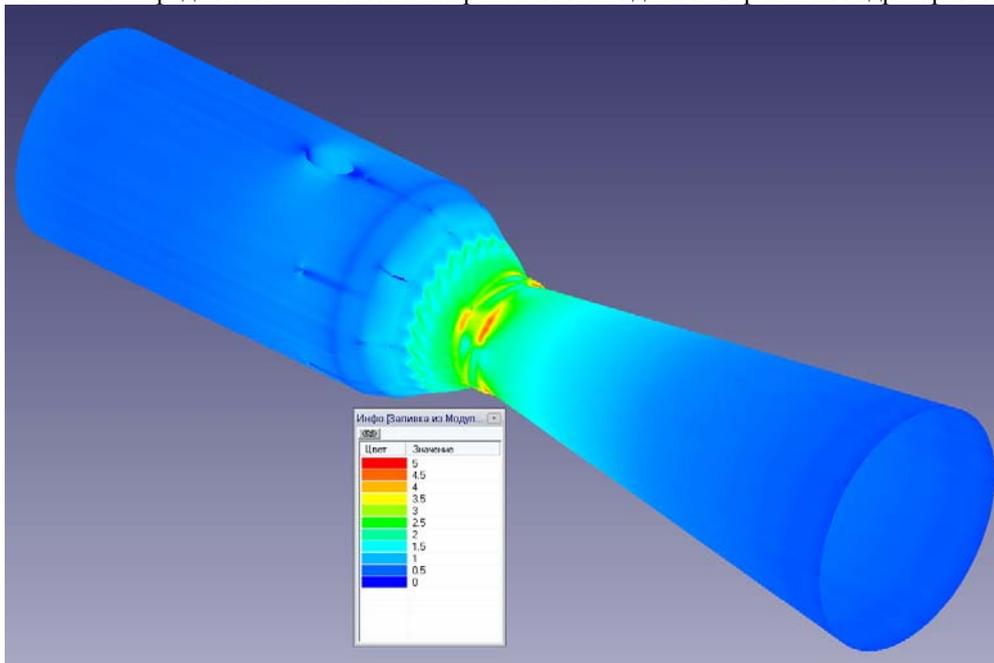


Рис. 7 – Распределение абсолютной скорости потока вдоль поверхности рабочей камеры гидроагрегата

На рис. 8 и 9 представлено сравнение значений относительных скоростей и коэффициентов давлений вдоль среднего профиля РК гидротурбины ПЛГК-25 определенных по методу ЦКТИ и по *FlowVision*. Разбежность значений определенных по этим двум методам составляет в пределах 5 %.

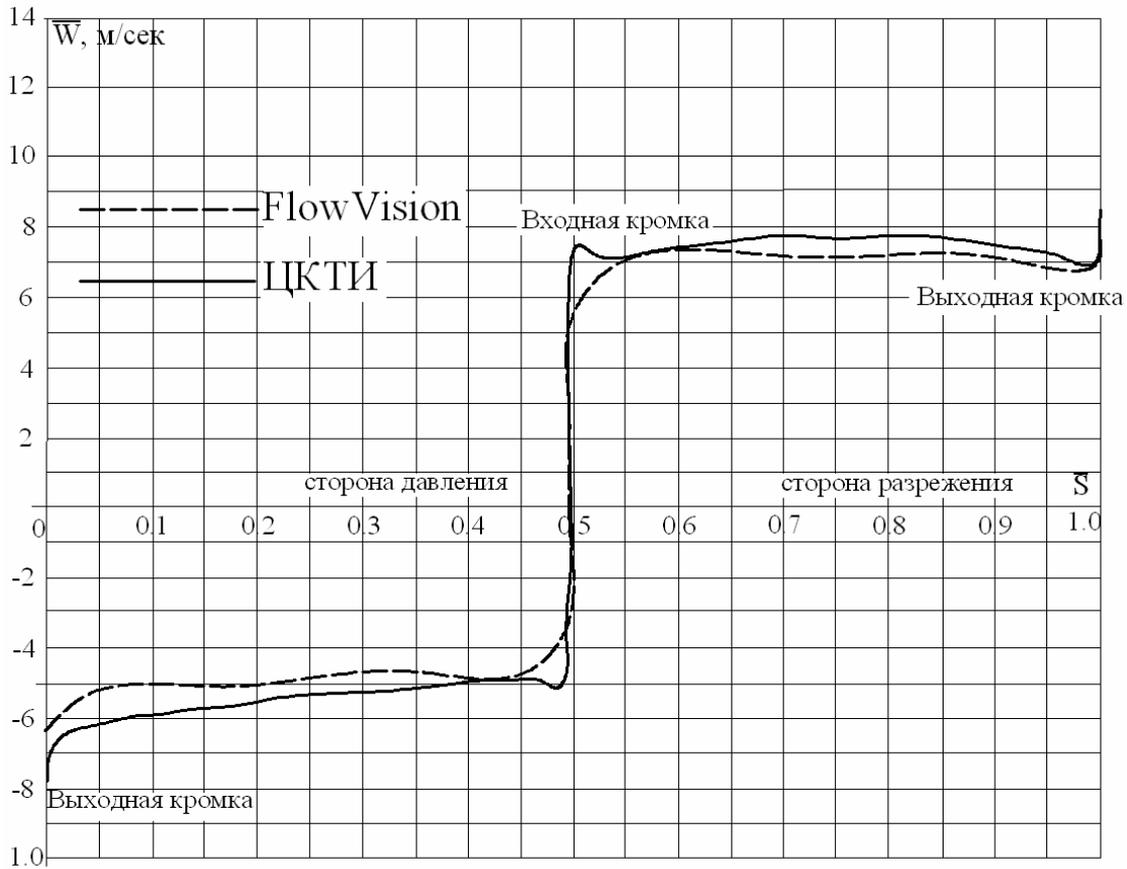


Рис. 8 – Сравнение относительных скоростей вдоль среднего профиля РК гидротурбины ПЛГК- 25

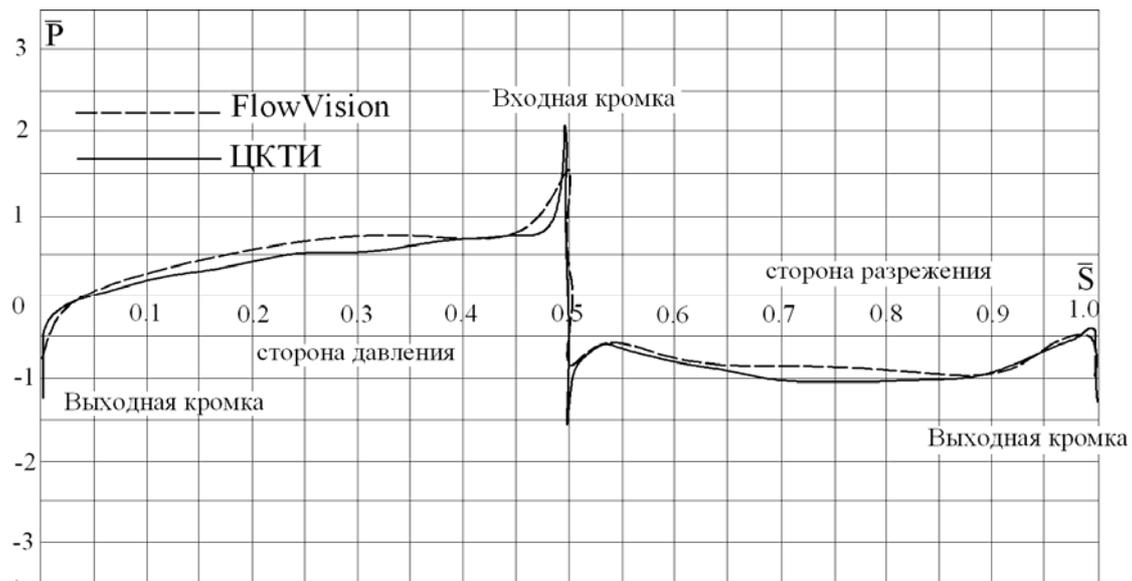


Рис. 9 – Сравнение коэффициентов давления вдоль среднего профиля РК гидротурбины ПЛГК- 25

Выводы

1 Проведенное численное моделирование движения пространственного потока в проточной части прямооточного гидроагрегата ПЛГК 25 с помощью программного комплекса *FlowVision*, позволило определить и визуализировать картину течения жидкости в ПЧ гидроагрегата.

2 Было получено хорошее совпадение (разбежность в пределах 5 %) значений относительных скоростей в межлопастных каналах РК с аналогичными величинами посчитанными по прямой задаче методом ЦКТИ.

3 Описана методика расчета трехмерных течений с помощью *FlowVision* применительно к прямооточным капсульным гидроагрегатам.

Список литературы: 1. Аксенов, А.А. Программный комплекс FlowVision для решения задач аэродинамики и тепломассопереноса методами численного моделирования [Текст] / А.А. Аксенов, А.В. Гудзовский // Третий съезд Ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике: сб. докладов. – М., 1993. – С. 114-119. 2. Барашков, С. FlowVision – современный инженерный инструмент в исследовании газодинамических характеристик компрессоров (часть 1) [Текст] / С. Барашков, В. Шмелев // САПР и графика. – М., 2004. – № 12. – С. 44-48. 3. Щеляев, А. FlowVision – современный российский инструмент математического моделирования [Текст] / А. Щеляев, С. Барашков, В. Шмелев // САПР и графика. – М., 2010. – № 12. – С. 43-48. 4. Крупа, Е.С. Численное моделирование движения пространственного потока в проточной части гидроагрегатов с помощью программного комплекса FlowVision [Текст] / Е.С. Крупа, О.В. Потетенко, В.Э. Дранковский // Тези докладів XX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 279. 5. Черный, С.Г. Численное моделирование течений в турбомашинах [Текст] / С.Г. Черный, Д.В. Чирков, В.Н. Лапин. – Новосибирск: Наука, 2006. – 202 с. 6. Потетенко, О.В. Розрахункове дослідження лопатевих систем робочих коліс зведеного капсульного прямооточного гідроагрегату [Текст] / О.В. Потетенко, Е.С. Крупа, В.Е. Дранковський / Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. – № 3. – С. 187-192. – ISSN 2078-774X.

Поступила в редколлегию 10.02.13

УДК 621.224

Численное исследование пространственного потока в проточной части капсульного гидроагрегата с помощью программного комплекса *FlowVision* [Текст] / О.В. Потетенко, В.Э. Дранковский, Е.С. Крупа // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 14(988). – С. 72-78. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X.

У даній роботі проведено чисельне дослідження руху просторової течії в проточній частині капсульного гідроагрегату ПЛГК-25 за допомогою програмного комплексу *FlowVision*. Виконано порівняння отриманих результатів з даними розрахованим по двовимірному методу ЦКТИ.

Ключові слова: гідротурбіна, капсульний гідроагрегат, робоче колесо, проточна частина.

In this work, a numerical study of the motion of the spatial flow in the flow of capsule hydro unit PLGK-25 by software complex *FlowVision*. A comparison of the results c similar values calculated by the two-dimensional method.

Keywords: hydroturbine, capsule hydro unit, runner, flowing part.