

А. К. Давиденко, канд. техн. наук

ПАО «ВНИИАЭН» Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного и энергетического насосостроения, г. Сумы,
e-mail: admin@vniiaen.sumy.ua

УДК 621.67

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

Досліджено структуру потоку на виході з робочого колеса відцентрового насоса з безлопатевим дифузorzом. Наведено результати чисельного експерименту на базі методу гідродинамічних особливостей, порівняні з раніше отриманими результатами чисельного експерименту, на базі методу скінченних елементів, та результатами фізичного експерименту.

Ключові слова: *робоче колесо, відцентровий насос, метод гідродинамічних особливостей, структура потоку, меридіанний потік.*

Введение

Поток, протекающий в машине, имеют сложную пространственную структуру. В общем виде течение поддается описанию уравнениями течения вязкой жидкости. Однако на практике не представляется пока возможным, учитывая современное состояние развития численных методов расчета и вычислительной техники, провести достаточно точный гидродинамический расчет пространственного течения жидкости как во всей машине в целом, так и в отдельных элементах. Уместно отметить, что при инженерных расчетах трехмерных течений в элементах гидромашин в конкретных условиях вводят ряд упрощений и для практических целей используют упрощенные модели.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрано центробежное рабочее колесо (РК) с коэффициентом быстроходности 100, с 7 лопастями, с наружным диаметром 500 мм. Данное колесо было исследовано в 1970 г. во «ВНИИАЭН» А. И. Тимшиным на аэростенде при частоте вращения $n = 2200$ об/мин [1].

Предметом исследования является структура потока на выходе из рабочего колеса в безлопаточный диффузор.

Метод исследования

Численный расчет потока на основе метода гидродинамических особенностей и модели потенциального трехмерного течения идеальной жидкости хорошо зарекомендовал себя для расчета полей скоростей в различных сечениях. В качестве гидродинамических особенностей принята вихревая рамка, системой которых определяется вся поверхность течения жид-

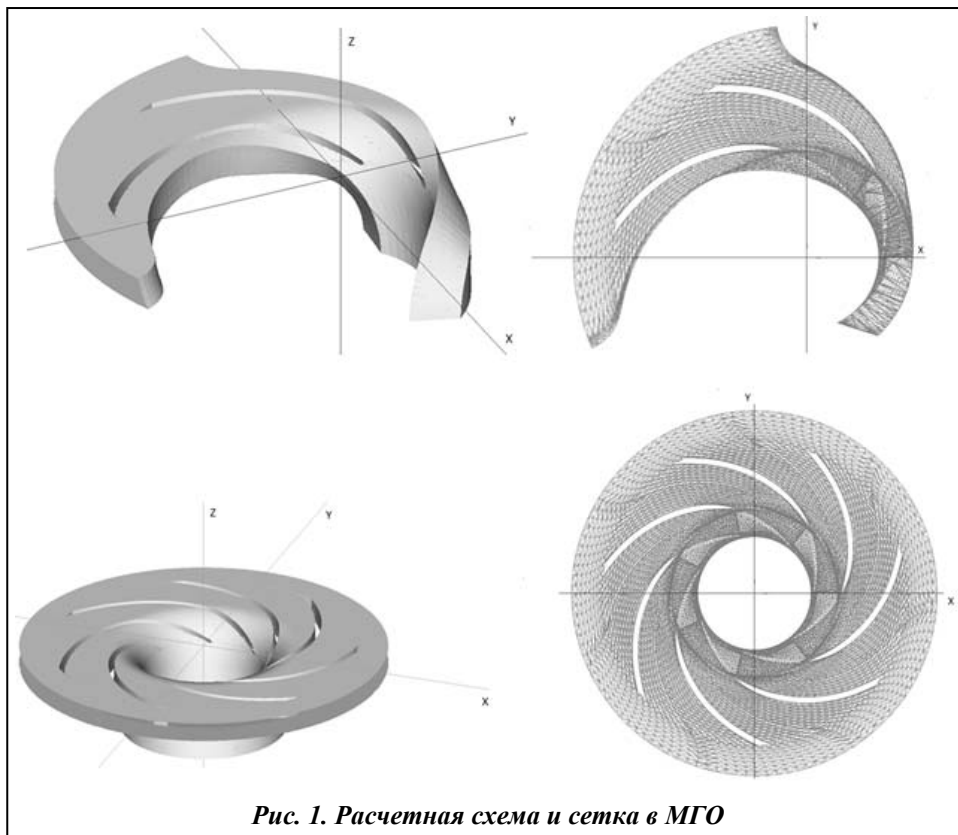


Рис. 1. Расчетная схема и сетка в МГО

кости от входного сечения до выходного. Алгоритм решения прямой задачи для расчета проточных частей гидравлических турбин и насосов номенклатурного типа докладывался на конференциях и освещен в различных публикациях [2–4].

В данной работе результаты проведенного численного эксперимента (ЧЭ) на основе метода гидродинамических особенностей (МГО) сравниваются с ранее полученными результатами численного эксперимента [1] на основе метода конечных элементов (МКЭ) и результатами физического эксперимента (ФЭ).

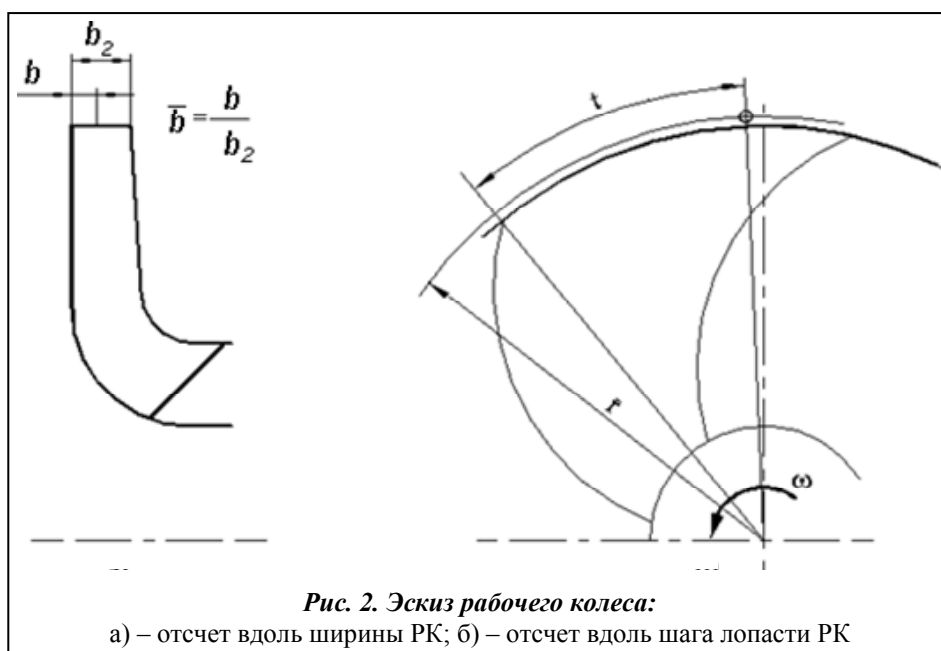


Рис. 2. Эскиз рабочего колеса:

а) – отсчет вдоль ширины РК; б) – отсчет вдоль шага лопасти РК

Геометрическая модель

Геометрическая модель РК была экспортирована из ранее созданной модели в CAD системе [1]. Схема экспорта: Модель CAD системы → Модель VRML (*.wrl) → 3D Studio ASCII Mesh (*.asc) → Расчетная сетка. Расчетная сетка для РК в численном эксперименте МГО состоит из 18991 элементов (рис. 1).

Граничные условия

Для представления результатов определим режимы работы в отношении к оптимальному. Для данного колеса оптимальным режимом является режим $\varphi = 0,111$. Перечень исследованных режимов приведен в таблице [1].

Исследуемые режимы

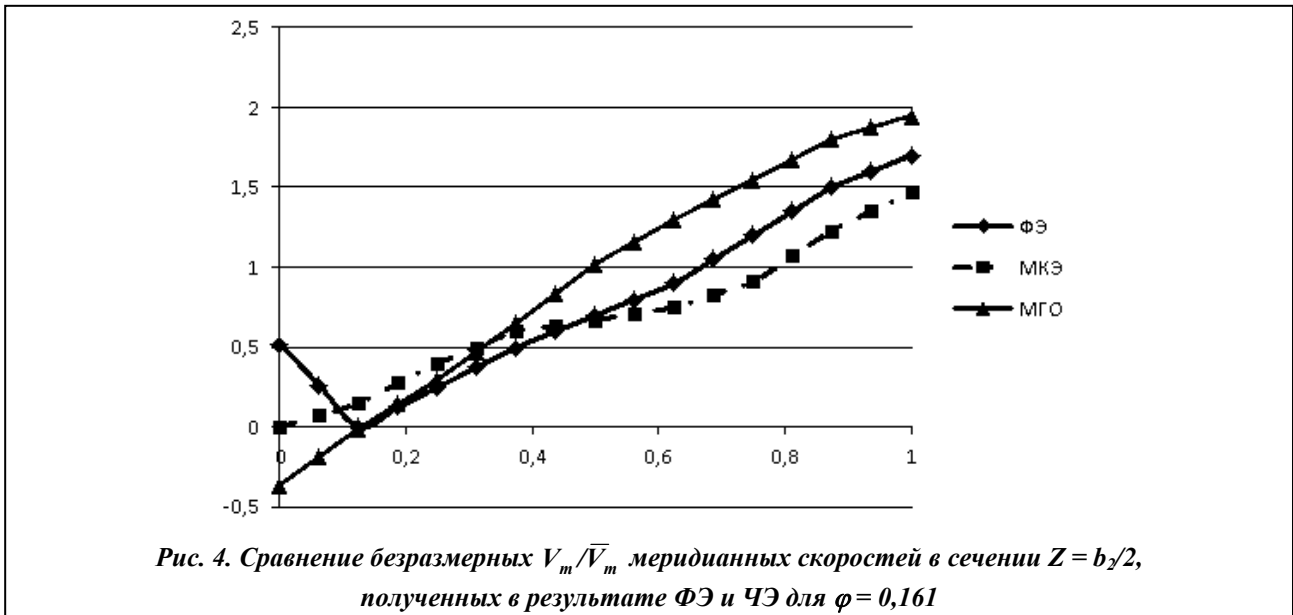
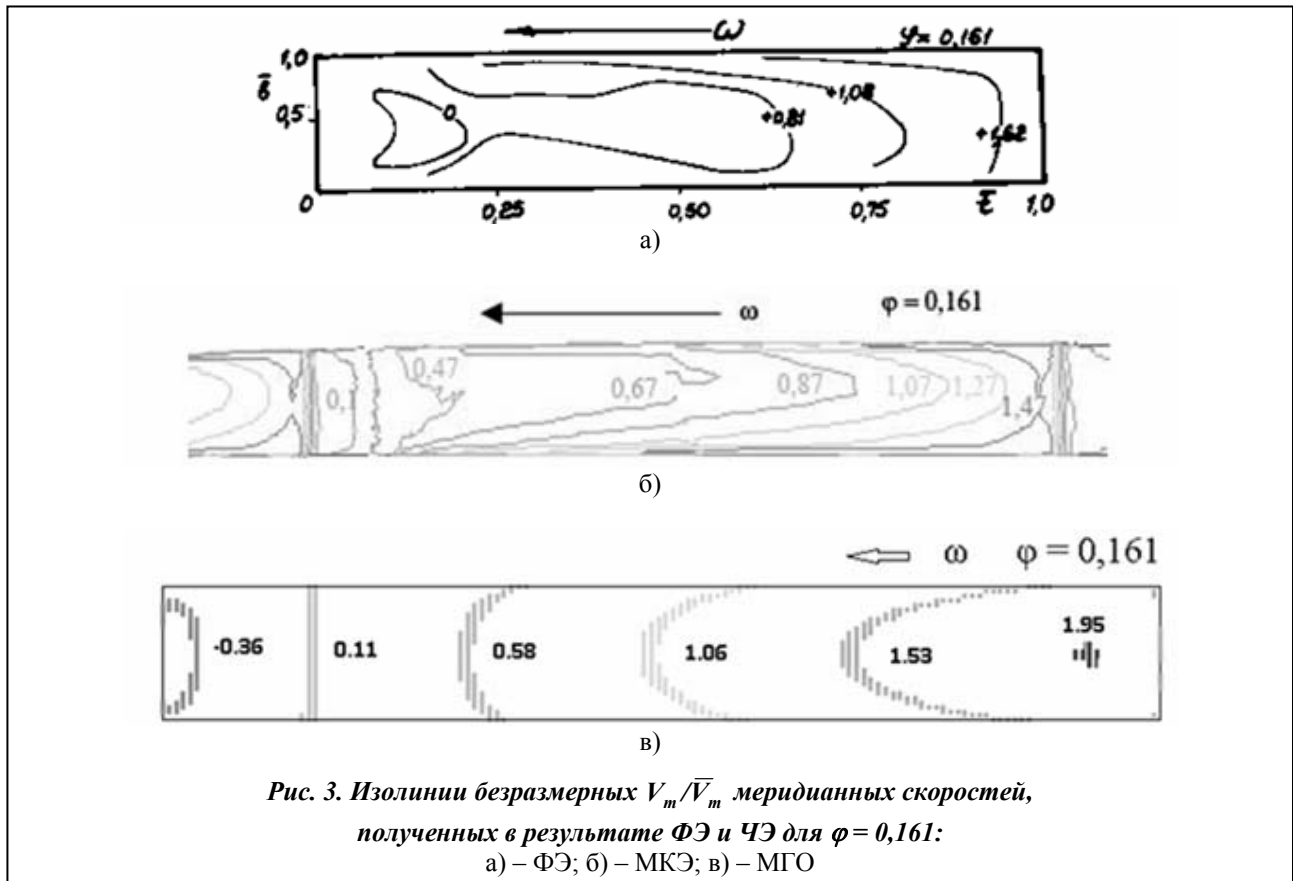
Абсолютная величина расхода $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	Коэффициент подачи, φ	Режим работы РК в отношении к оптимальному
0,452	0,161	$1,45Q_{\text{опт}}$
0,354	0,126	$1,14Q_{\text{опт}}$
0,312	0,126	$Q_{\text{опт}}$

В качестве граничных условий на входе в расчетную область задавалось давление, равное атмосферному. Поток на входе задавался равномерным. Плотность жидкости $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. В выходном сечении соблюдался расход, заданный во входном сечении. Частота вращения РК $n = 2200 \text{ об}/\text{мин}$.

Результаты ЧЭ и ФЭ представлены в безразмерном виде. Безразмерные меридианные скорости получались путем деления на среднюю меридианную скорость (V_m / \bar{V}_m) в исследуемом сечении.

Сравнение результатов численных и физического экспериментов

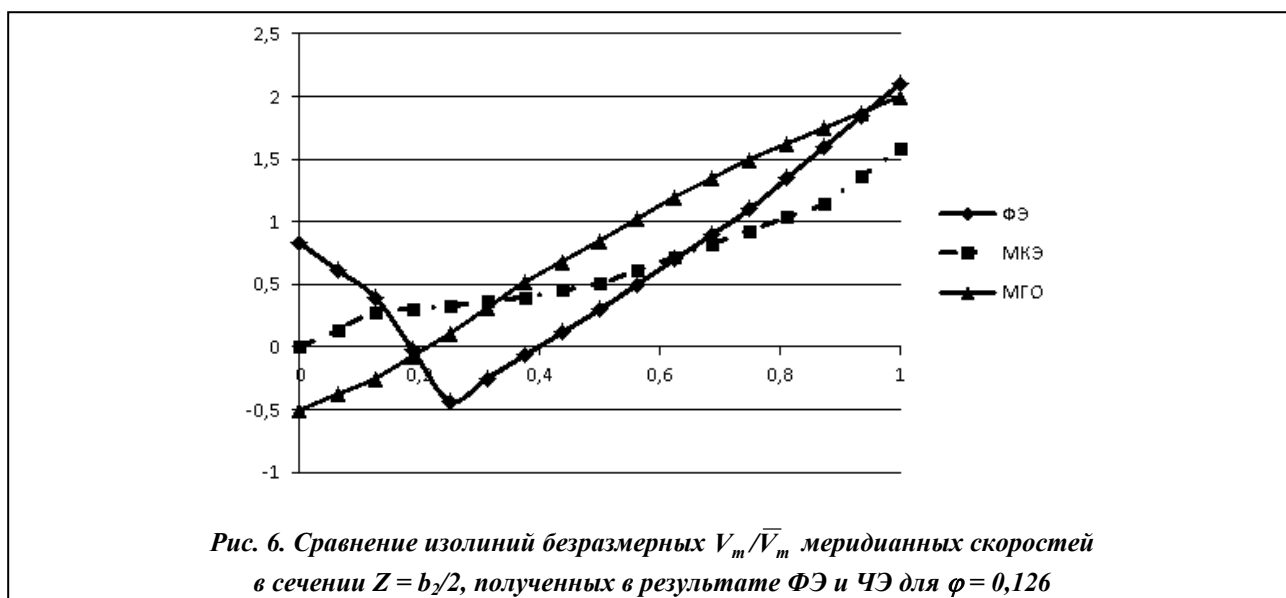
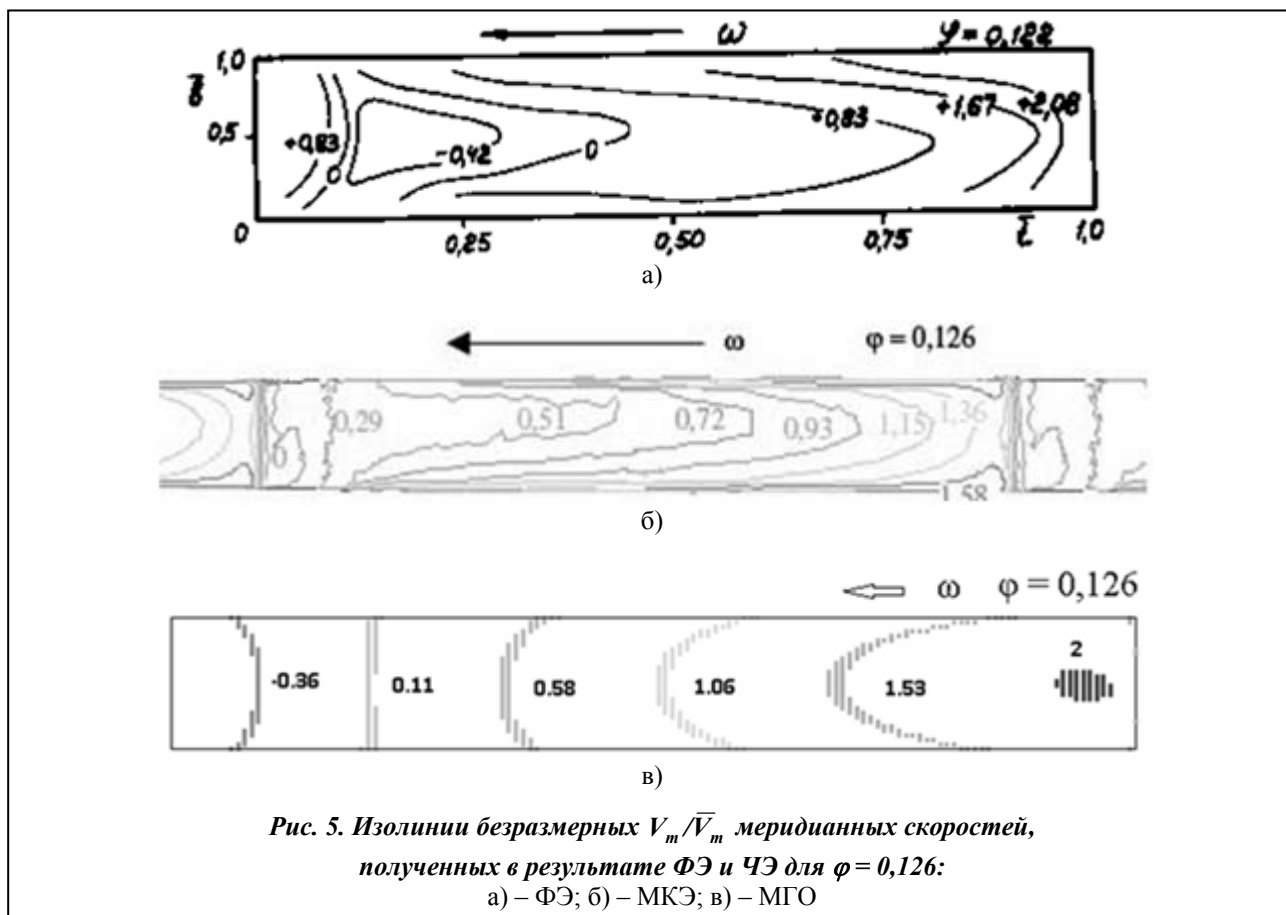
Система отсчета при отображении результатов показана на рис. 2. Для эпюр величин вдоль ширины колеса отсчет проводился от основного диска, как показано на рис. 2, а. При представлении результатов в виде эпюр величин вдоль шага лопасти отсчет проводился от выходной кромки тыльной стороны лопасти, как показано на рис. 2, б.



На рис. 3–8 представлены эпюры распределения безразмерных меридианных скоростей, полученных в результате численного и физического экспериментов на радиусе $R = 1,01R_2$.

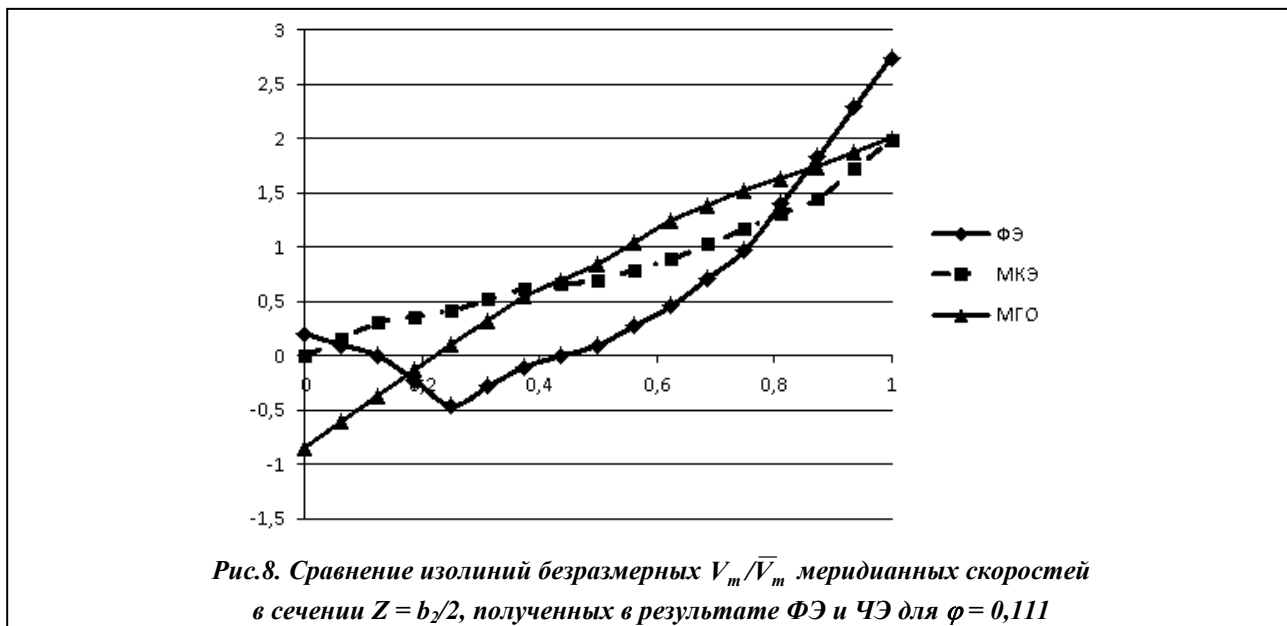
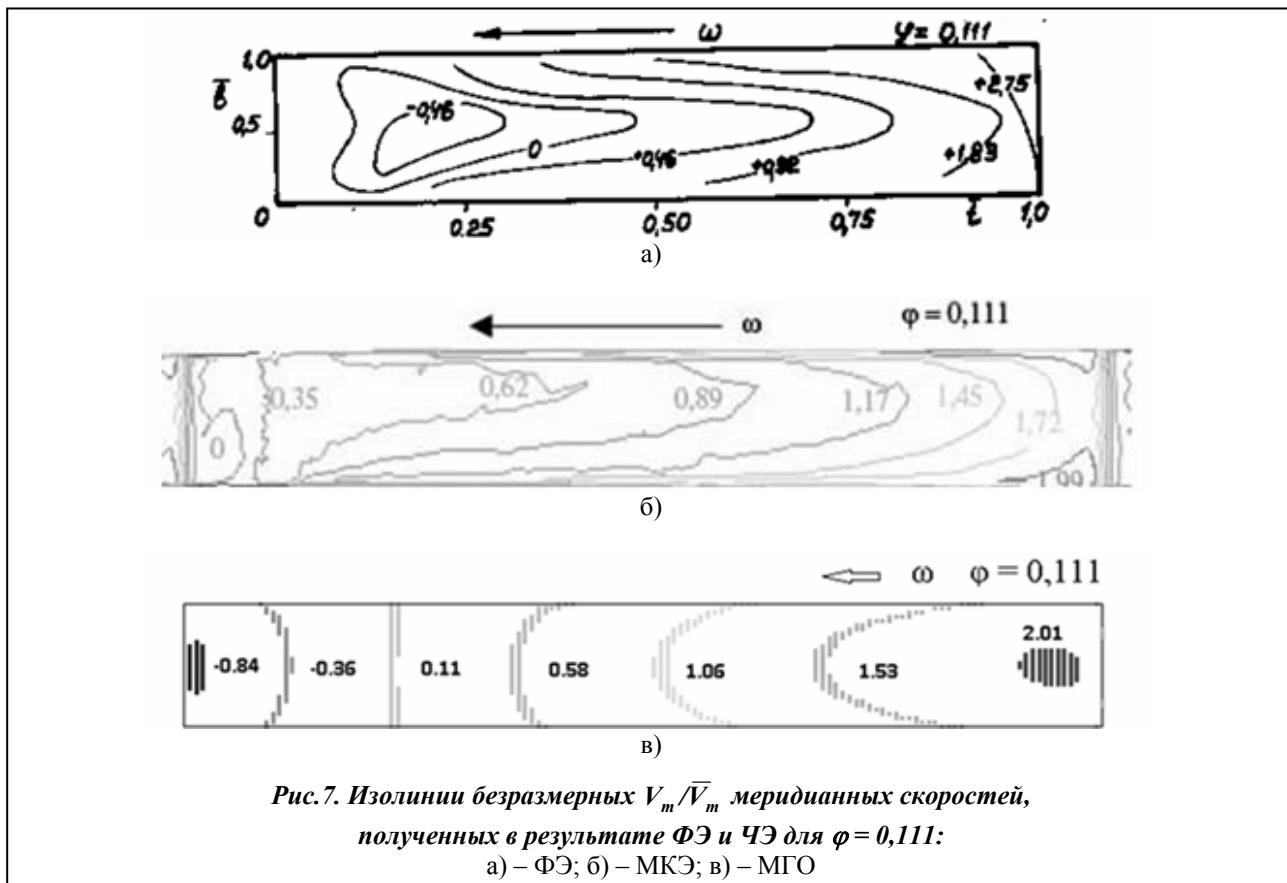
Выводы

1. Результаты распределения безразмерных меридианных скоростей на выходе из РК, полученные численным экспериментом МГО, качественно согласуются с МКЭ и ФЭ. Вдоль средней линии (по длине) мерного сечения получено хорошее количественное согласование.



2. Отличия в характере распределений по высоте мерного сечения (направление вогнутости) и отличия вблизи тыльной стороны лопасти в ЧЭ МГО по сравнению с ЧЭ МКЭ и ФЭ, вероятно, вызвано использованием в МГО модели потенциальной идеальной жидкости.

3. Геометрическая модель для расчета в МГО практически без дополнительных модификаций может экспортироваться из различных САД систем, что значительно ускоряет процесс выбора и анализа проектного решения.



4. В целом метод гидродинамических особенностей при моделировании макроструктуры потока в элементах проточной части гидравлических машин позволяет получить качественно и количественно удовлетворительные результаты и в общем случае он менее ресурсоемкий по сравнению с методом конечных элементов.

5. Результаты компьютерного моделирования, полученные в нестационарной постановке, могут быть успешно использованы для расчета различных турбулентных характеристик потока [3] и

являются граничными условиями для расчета вязкого течения (пограничного слоя) в пристеночных областях.

Литература

1. *Тестирование* пакета CFX-5 на примерах течения воздуха в элементах проточных частей насосов специализации ОАО «ВНИИАЭН». Ч.2. Моделирование течения воздуха в рабочем колесе центробежного насоса / А. В. Елин, А. Н. Кочевский, С. О. Луговая, А. Е. Щеляев // *Насосы&Оборудование*. – 2006. – № 2 (37). – С. 18–21.
2. *Косторной, С. Д.* Методологические аспекты построения модели турбулентности при численном решении уравнений Рейнольдса / С. Д. Косторной, А. К. Давиденко, А. С. Косторной // *Гервикон: Тр. 10-й междунар. науч.-техн. конф.*– Сумы. – 2002. – Т. 2. – С. 229–240.
3. *Давиденко, А. К.* Алгоритм побудови замкнутих моделей турбулентності при відривному обтіканні тіл / А. К. Давиденко, А. С. Косторной, В. І. Пугач // *Вісн. Сумськ. нац. аграр. ун-ту*. – 2003. – № 10. – С. 29–33.
4. *Косторной, С. Д.* Выбор модели течения жидкости при проектировании лопастной гидравлической машины / С. Д. Косторной, Н. С. Мартынова // *Вісн. Сумськ. держ. ун-ту*. – 2012. – № 2. – С. 18–28.

Поступила в редакцию 02.10.15

А. С. Косторной, канд. техн. наук
 ПАО «ВНИИАЭН» Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного и энергетического насосостроения, г. Сумы,
 e-mail: admin@vniiaen.sumy.ua

УДК 621.67

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Розглянуто автоматизоване проектування проточної частини відцентрового насосу, яке виконується на базі математичної моделі течії ідеальної рідини для оберненої симетричної задачі та прямої тривимірної задачі в нестационарній постановці з урахуванням взаємного впливу всіх елементів. Результати розв'язання оберненої задачі в автоматизованому режимі передаються як вхідні данні для розв'язання прямої задачі, на основі якої здійснюється оцінка проектного рішення.

Ключові слова: проточна частина, відцентровий насос, обернена задача проектування, рівношвидкісний потік, квазіпотенційна течія, в'язкість, ідеальна рідина.

Введение

На современном этапе развития насосостроения при достигнутом уровне коэффициента полезного действия отдельных типов насосов порядка (70–90)%, дальнейшее повышение их эффективности в условиях рыночных отношений должно основываться на развитой теории и методах гидродинамических расчетов на базе ЭВМ.

Полученные таким образом результаты могут быть использованы для целенаправленного изменения и дальнейшего совершенствования гидродинамических показателей насоса: энергетических и кавитационных характеристик, силовых нагрузок и нестационарных характеристик потока, что позволит заменить физический эксперимент вычислительным и сократить сроки разработки.

Развиваемый новый теоретический подход к проектированию проточных частей (ПЧ) гидравлических машин, который применительно к гидравлическим турбинам оказался успешным, в теории центробежных насосов (ЦБН) и заводской практике их создания является новым научным направлением.

Исходные уравнения двухпараметрических потоков в ПЧ

В ортогональной криволинейной системе координат q_1, q_2, q_3 для стационарного трехмерного потока каждая проекция вектора скорости \mathbf{v} зависит от трех координат

$$V_1 = f_1(q_1, q_2, q_3), \quad V_2 = f_2(q_1, q_2, q_3), \quad V_3 = f_3(q_1, q_2, q_3). \quad (1)$$