

УДК 621.65.03

Изготовление элементов проточной части модели бустерного s-насоса двустороннего действия

Купцов С. Ю.^{1,*}, Моргунов Г. М.¹

^{*}kuptsov_semen@list.ru

¹Национальный исследовательский университет "МЭИ",
Москва, Россия

Излагается процесс изготовления элементов проточной части полирядного лопастного насоса с s-образной меридиональной проекцией и элементами подвода и отвода в форме эвольвенты. Приведена конструкция опытной модели бустерного s-насоса двустороннего действия. В основу конструкции заложена картриджная концепция агрегата. Изложены результаты численного моделирования рабочего процесса проточной части модели. Описана технология изготовления элементов проточной части насоса из высокопрочного ABS пластика с применением 3D-принтера с последующей процедурой поверхностного упрочнения готовых изделий в парах ацетона. Показаны изготовленные детали рабочих органов активной части насоса: колесо рабочее, аппарат направляющий, шнек.

Ключевые слова: s-насос, эвольвента, 3D-принтер, ABS-пластик, численное моделирование, колесо рабочее, аппарат направляющий, полирядный насос, физический эксперимент, изготовление, прототипирование

Введение

Выполненные ранее расчетно-теоретические исследования бустерного S-насоса (СБН) двустороннего действия [1], спроектированного на параметры $Q=1,15 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=286 \text{ м}$, позволяют прогнозировать лучшие эксплуатационные свойства по сравнению с традиционно применяемыми насосами при работе на крупных энергоблоках ТЭС. Преимущества, связанные, главным образом, с компактностью, теоретическим отсутствием радиальной и осевой гидравлических сил, а также эффективной и устойчивой работой в широком диапазоне подач, объясняются инновационной формой проточной части насоса [2] (см. рис. 1).

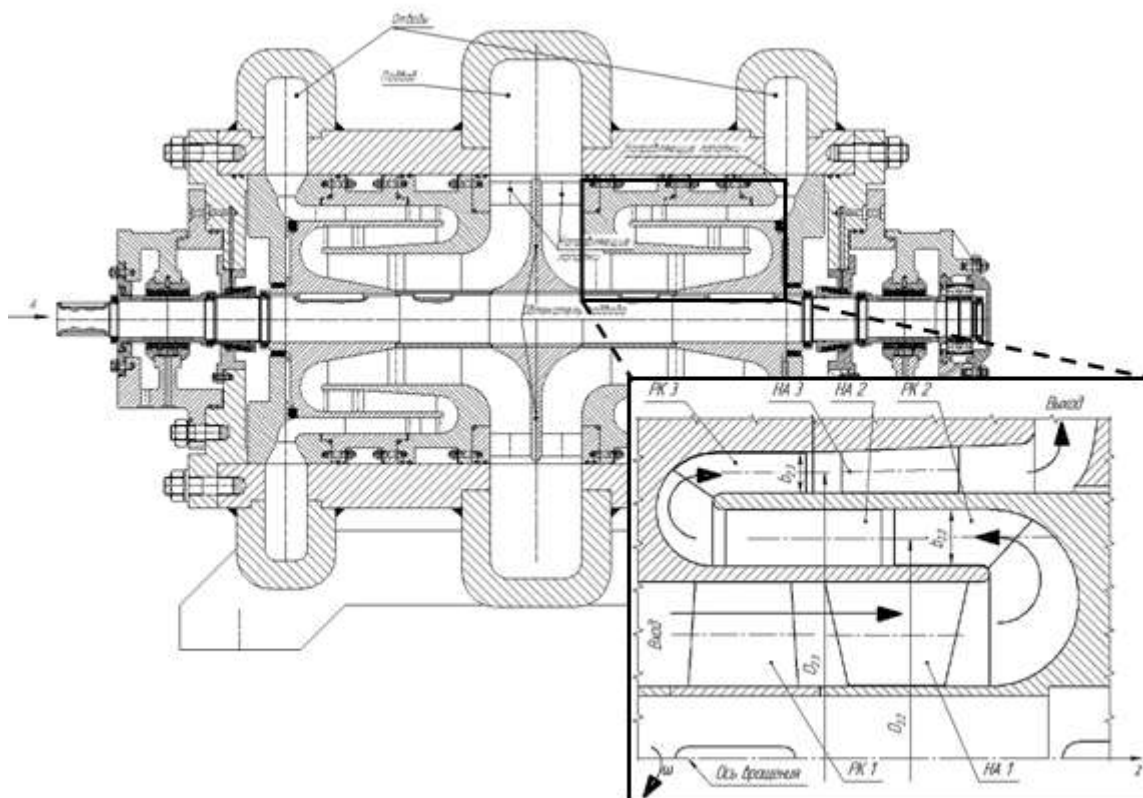


Рис. 1. Схема проточной части СБН: PK_i – рабочее колесо; HA_i – направляющий аппарат

Проточная часть (ПЧ) подвода и отвода насоса имеет эвольвентную форму [3], лишенную спиральных частей. Активная часть представляет собой трехрядную, одноступенчатую в каждом ряду, осевую лопастную систему двустороннего действия с выполнением рабочего колеса привтулочного ряда в виде усеченного шнека.

С целью подтверждения результатов большого числа расчетно-теоретических исследований [1, 2, 4] и непосредственно проверки работоспособности предлагаемых технических решений, в настоящее время ведется подготовка к физическому эксперименту с использованием уменьшенной модели СБН.

1. Разработка модели СБН

Уменьшенная модель натурного СБН имеет следующие рабочие параметры (см. табл. 1):

Таблица 1. Рабочие параметры модели СБН

Параметр	Ед. изм.	Значения			
		Модель СБН	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
Подача, Q	л/с	13			
Напор, H	м	14	2	5	7
Частота вращения, n	об/мин	2850			
Диаметр PK_i , D_{cp}	м	-	0,07	0,1	0,13

Продольный разрез спроектированного модельного СБН приведен на рис. 2.

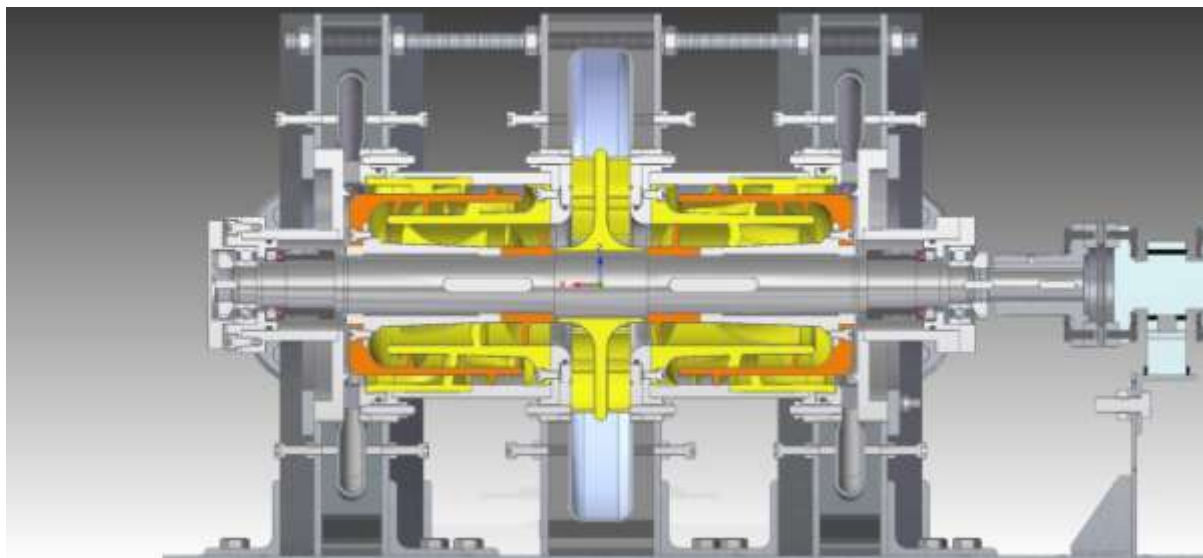


Рис. 2. Схема модели СБН

Концепция модели строится на основе картриджной схемы [5]. Активная часть насоса с ротором и направляющими аппаратами представляет собой отдельный узел (картридж). Внутри картриджа все элементы ПЧ съемные, что позволяет быстро заменять РО в случае необходимости. Двусторонний подвод и два отвода соосно монтируются на раме. Затем, в системе подвода и отводов устанавливается картридж, фиксируется, и через моментомерную муфту соединяется с валом электродвигателя. На рис. 3 приведен общий вид агрегата.

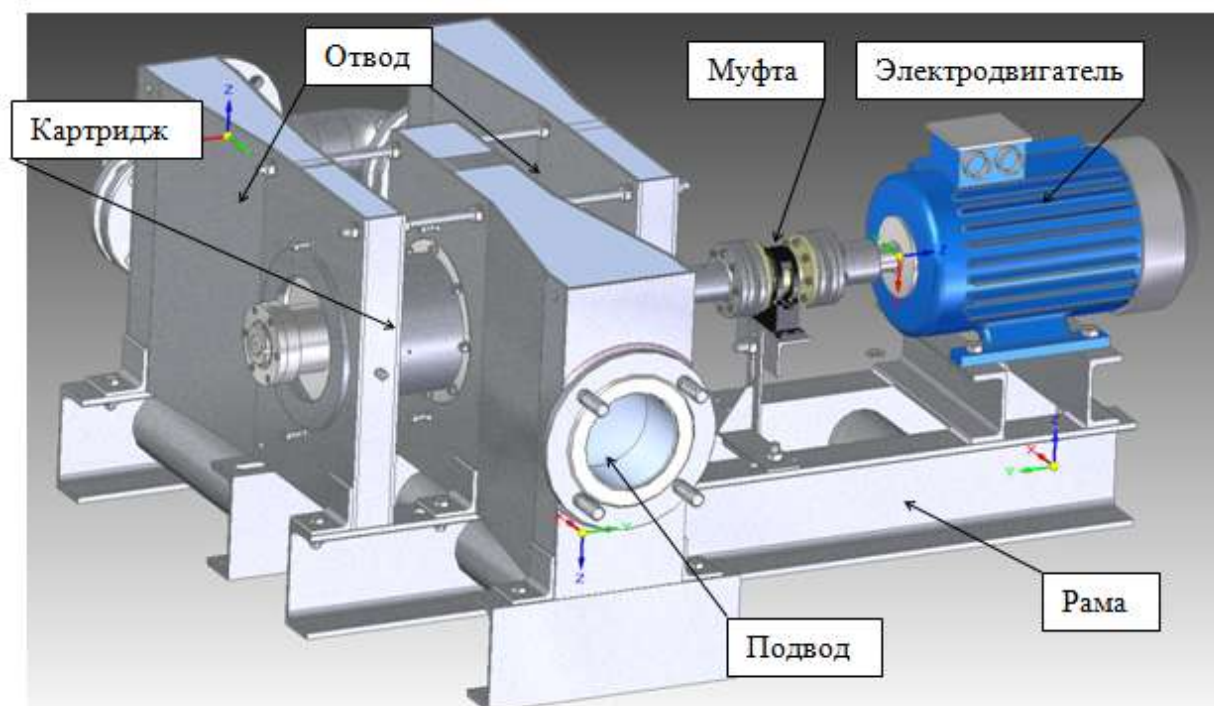


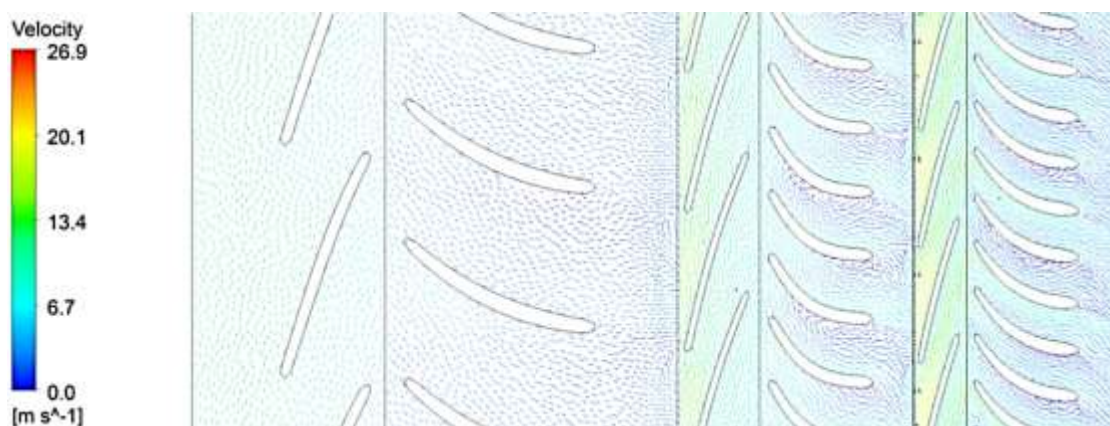
Рис. 3. Общий вид агрегата модели СБН

2. Численное моделирование рабочего процесса

Для гидродинамической оптимизации проточной части проводилось численное моделирование рабочего процесса модели СБН. Компьютерные эксперименты осуществлялись в программном комплексе *ANSYS CFX* в строгом соответствии с рекомендациями [6] и [7] по постановке численной задачи в данном пакете. Для проточных частей подвода и отвода строилась неструктурированная тетраэдрическая расчетная сетка с призматическими слоями на твердых стенках. Для лопастных систем колес и аппаратов строилась структурированная гексаэдрическая сетка. Сгущение расчетной сетки вблизи твердых стенок для разрешения пограничного слоя настраивалось согласно выбранной модели турбулентности. Результаты расчетов в виде эпюр распределения полей скорости и давления приведены на рис. 4.



а



б

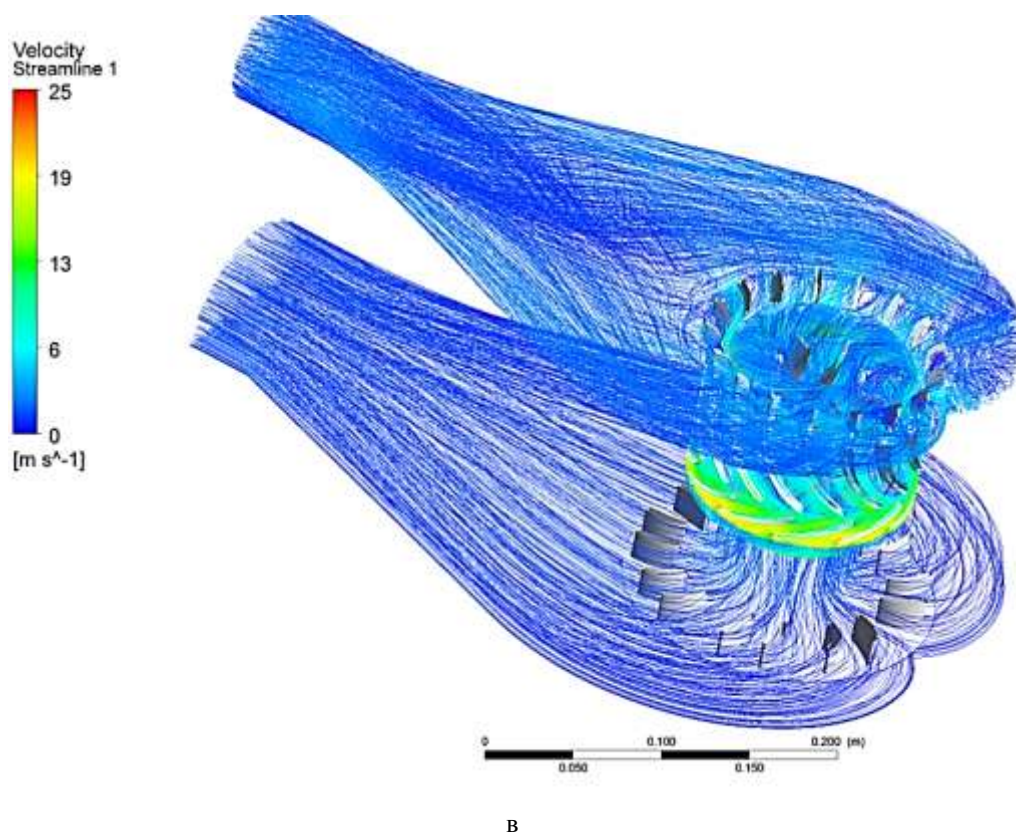


Рис. 4. Результаты численного моделирования рабочего процесса проточной части модели СБН: *а* – распределение статического давления в пределах активной части насоса; *б* – векторное поле скоростей на развертке лопастной системы насоса; *в* – полная картина течения в проточной части

По результатам численного моделирования можно видеть, что течение в пределах всей проточной части равномерное, упорядоченное и преимущественно безотрывное. Полученные результаты позволяют прогнозировать удовлетворительную работу модели СБН.

2. Технология изготовления элементов проточной части

При создании модели СБН наряду с традиционными применяются так же и инновационные технологии производства. Так, для изготовления геометрически сложных элементов проточной части насоса используется хорошо зарекомендовавшая себя технология 3D прототипирования [8, 9]. Технология достаточно проста: формирование изделия осуществляется по соответствующей 3D-модели при помощи 3D-принтера путем послойной укладки расплавленной нити высокопрочного ABS пластика на платформу. Сплавляясь между собой, слои образуют изделие достаточной точности и прочности. Изображение платформы принтера с деталью (аппарат направляющий) на начальной стадии печати приведено на рис. 5.

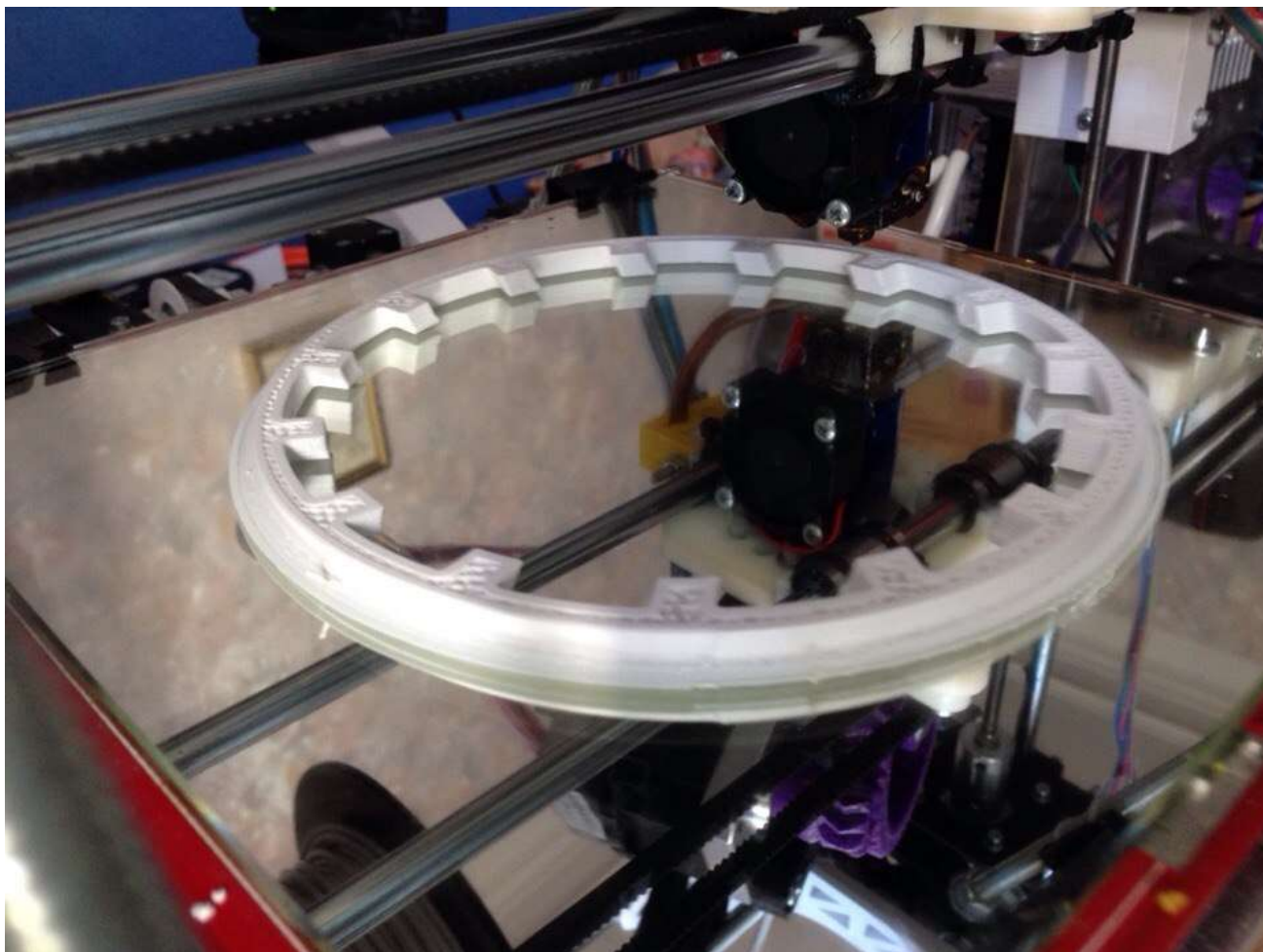


Рис. 5. Начальная стадия печати аппарата направляющего на 3D-принтере

На данный момент отработана технология печати рабочих колес и направляющих аппаратов с максимальным габаритом 150 мм. Достигнутая точность линейных размеров составляет $\pm 0,3$ мм. Кроме того, для получения более высокой прочности, а в случае рабочих органов насоса – повышения гидродинамического качества поверхности, проводится процедура выдержки детали в парах ацетона (см. рис. 6).

Ацетон, взаимодействуя с пластиковой поверхностью изделия, расплавляет наружные слои и тем самым снижает шероховатость. После тщательной просушки поверхность становится более гладкой, а сама деталь – более прочной и жесткой.

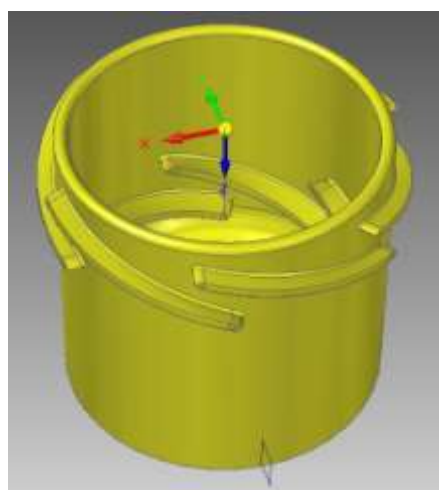
Применяя описанную технологию, уже получены: рабочее колесо, направляющий аппарат и шнек правой стороны насоса. На рис. 7 приведены изображения готовых изделий совместно с их 3D-моделями.



Рис. 6. Поверхностное упрочнение изделия в парах ацетона



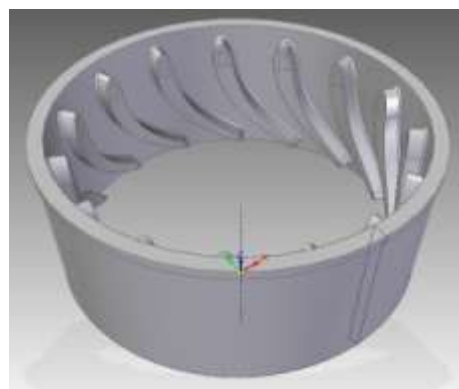
а



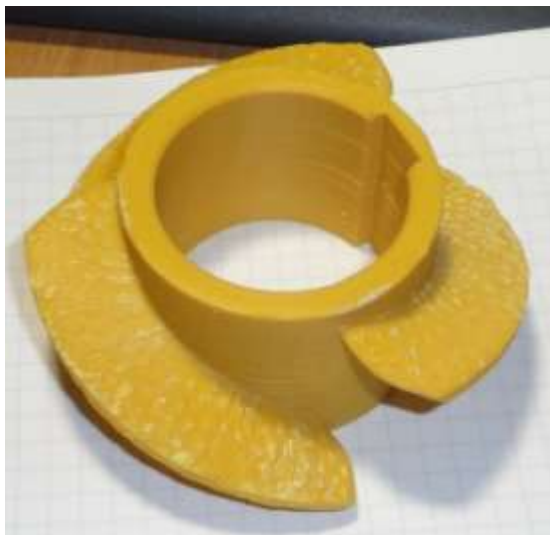
б



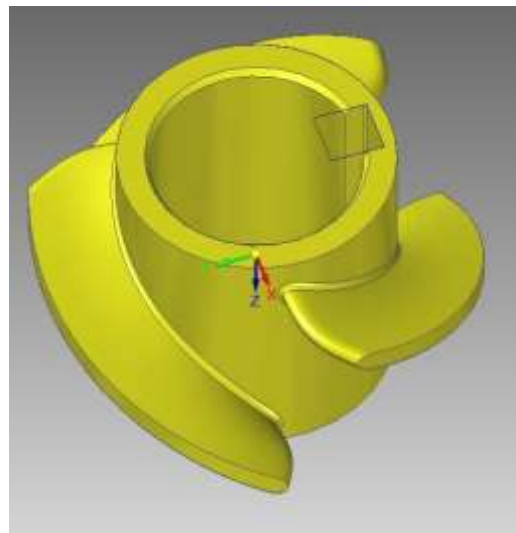
в



г



д



е

Рис. 7. Рабочие органы модели СБН: *а* – колесо рабочее; *б* – 3D-модель колеса рабочего; *в* – аппарат направляющий; *г* – 3D-модель аппарата направляющего; *д* – шнек; *е* – 3D-модель шнека

Заключение

На данном этапе работы полностью завершена конструкторская проработка модели насоса. Выполнены основные гидродинамические и прочностные расчеты, а также проведено численное моделирование рабочего процесса всей проточной части СБН с применением современных расчетных комплексов. Получены некоторые элементы проточной части модели насоса. Ведется изготовление оставшихся пластиковых деталей совместно с подготовкой к производству деталей ротора и сварных элементов корпуса.

Список литературы

1. Купцов С.Ю., Моргунов Г.М. Результаты расчетно-теоретического исследования рабочего процесса проточной части лопастной системы бустерного S-насоса двустороннего действия // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: 17-ая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов (Декабрь 2013 г): сборник докладов / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С. 78-85.
2. Моргунов Г.М. Лопастные машины для жидкостей и газов с увеличенной плотностью полезно используемой энергией // Вестник МЭИ. 2007. №4. С. 5-13.
3. Купцов С.Ю., Моргунов Г.М. Подводящее устройство с эвольвентной образующей для насосных установок // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцатая межд. науч. техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 4. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 190.
4. Моргунов Г.М. Парадигмы насосов питательной системы мощных энергоблоков. Теплоэнергетика, 2013, №2, С. 118-128.

5. Бушзипер П. Концепция конструкции питательных насосов фирмы SULZER / Вестник ЮУрГУ, 2005, №1, с. 65 – 72.
6. ANSYS CFX-Solver Modeling Guide. Release 14.5, October 2012.
7. Funaba Y., Sato T., Suzuki S., Terunuma A., Nagahara T. Unsteady Fluid Flow Analysis as Applied to the Internal Flow in a Pump using ANSYS CFX. Hitachi Plant Technologies, Ltd. // 2006 Ansys – Simulation Driven Product Development. Режим доступа: <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/confpaper/2006-Int-ANSYS-Conf-235.pdf> (дата обращения 17.07.2015).
8. Кулебякин А.А., Ореховская Н.А. Новые технологии. Развитие 3D-печати: перспективы и последствия // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн., 2015. №3
9. Матюшкин Л.Б., Пермяков Н.В. Применение технологий 3D-печати в обеспечении профессионально-ориентированной подготовки кадров в интересах nanoиндустрии // Биотехносфера. 2013. №3 (27), С. 38-47.

Manufacturing Hydraulic Components for the Primary Double Entry S-Pump Model

S.Iu. Kuptsov^{1,*}, G.M. Morgunov¹

[*kuptsov_semen@list.ru](mailto:kuptsov_semen@list.ru)

¹National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow, Russia

Keywords: s-pump, involute, 3D-printer, ABS plastic, numerical calculation, impeller, guide vanes, multi-row pump, physical experiment, manufacturing, prototyping

The article describes a new design of the primary pump to run in powerful units (more than 1 GW) of power plants. The new construction has some advantages such as compactness, theoretical lack of radial and axial forces, and high efficiency in a wide range of flow. The above-mentioned advantages can be possible owing to applying an innovative shape of the pump flow path. An impeller with the guide vanes forms the three-row single stage in the each row axial double entry blade system. The inlet and outlet parts have a shape of the involute that can ensure (according to calculated data) the efficiency and stability in a wide range of flow because of a lack of the spiral parts. The results of numerical calculations of the pump working flow theoretically confirm that demanding parameters of the pump ($H=286$ m; $Q=1,15$ m³/s) can be obtained with competitive efficiency. To verify the proposed advantages of the construction, there was decision made to conduct the real physical experiment. For this purpose the small model of a real pump was designed with parameters $H=14$ m, $Q=13$ l/s. Construction of the pump model has a cartridge conception. In addition, there is a possibility for quick replacement of the some parts of the blade system in case of operational development of the pump. In order to obtain hydraulic characteristics of the pump to say nothing of the electromotor the torque gauge coupling is used. Numerical calculations for the pump model were also performed which confirm the operability. For manufacturing of the blade system the new perspective technology is applied. The main hydraulic components (impellers and guide vanes) are made of ABS plastic by using 3D-printer. According to this technology parts are made layer by layer by means of welded plastic filament. Using this method the satisfactory tolerance (approximately $\pm 0,3$ mm) of the parts was obtained. At that moment, it is possible to create the parts with the maximum size no higher than 150 mm. Immersing finished parts in acetone vapor enable us to increase the surface strength and reduce roughness. At this stage of the work some plastic parts are ready for assembling operation. Now manufacturing of other plastic parts of the blade system is under way along with pre-production of the rotor and stator components.

References

1. Kuptsov S.Yu., Morgunov G.M. Results of the numerical simulation of the flow path of the primary double entry s-pump. *Gidromashiny, gidroprivody i gidropnevmoavtomatika: 17-aya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov i aspirantov. Dekabr' 2013 g: Sbornik dokladov* [Hydraulic machines, hydraulic drive, hydraulic and pneumatic automation. 17th international science technical conference for students and graduate. Collection of reports. Moscow, BMSTU Publ., pp. 78-85. (in Russian)
2. Morgunov G.M. Vane machines for liquids and gases with increased density of the efficiency. *Vestnik MEI = Herald of the MPEI*, 2007, no. 4, pp. 5-13. (in Russian).
3. Kuptsov S.Yu., Morgunov G.M. Involute shaped inlet for pump installations. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika: Dvadtsataya mezhd. nauch. tekhn. konf. studentov i aspirantov: Tez. dokl. T. 4* [Electronics, Electrical and Power Engineering. 20th international science technical conference for students and graduate. Collection of reports], Moscow, Publishing house MPEI, 2014, vol. 4, 190 p. (in Russian).
4. Morgunov G.M. Pump paradigm of feed system on power unit. *Teploenergetika = Thermal Engineering*, 2013, no. 2, pp. 118-128 (in Russian).
5. Bushziper P. Conception of the SULZER feed pump construction. *Vestnik SUSU = Bulletin of the South Ural State University*, 2005, iss. 1, pp. 65-72 (in Russian).
6. ANSYS CFX-Solver Modeling Guide. Release 14.5, October 2012.
7. Funaba Y., Sato T., Suzuki S., Terunuma A., Nagahara T. *Unsteady Fluid Flow Analysis as Applied to the Internal Flow in a Pump using ANSYS CFX*. Hitachi Plant Technologies, Ltd. 2006 Ansys – Simulation Driven Product Development: website. Available at: <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/confpaper/2006-Int-ANSYS-Conf-235.pdf>, accessed 17.07.2015.
8. Kulebiakin A.A., Orehovskya N.A. New technology. Development of the 3D-printing: prospects and consequences. *Molodezhnyi nauchno-tekhnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology Herald of the Bauman MSTU*, 2015, no. 3 (in Russian).
9. Matushkin L.B., Permiakov N.V. Applying of the 3D-printing in providing of professionally oriented stuff training for nanoindustry. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*, 2013, no. 3(27), pp. 38-47. (in Russian).