

УДК 621.65.03

Первый этап подготовки к физическим испытаниям полирядного лопастного насоса двустороннего действия

Купцов С.Ю., аспирант

*Россия, 111250, г. Москва, НИУ «МЭИ»,
кафедра «Гидромеханики и гидравлических машин им. В.С. Квятковского»*

Научный руководитель: Моргунов Г.М., д.т.н., профессор

Россия, 111250, г. Москва, НИУ «МЭИ»

ggm@mpei.ru

Выполненные ранее и излагаемые в настоящей работе компьютерные теоретические исследования полирядных лопастных насосов (ПЛН) подтверждают их принципиальную работоспособность, а полученные в результате численных исследований значения показателей конкурентоспособности позволяют говорить о практической применимости таких решений в различных отраслях промышленности, в частности, в энергетике и нефтедобыче [1, 5, 6].

Расчетные исследования, основные результаты которых изложены в публикациях [1, 2] прогнозируют теоретическое улучшение эксплуатационных качеств бустерных насосов (БН) на основе инновационной идеи о полирядном исполнении осевых ступеней. Тенденция к введению в эксплуатацию ЭБ все более высокой мощности обусловлена очевидным преимуществом, связанным с увеличением энергетической эффективности и надежностью функционирования ТЭЦ в целом. Рост производительности блока главным образом обеспечивается за счет увеличения расхода, перепада давления и температуры рабочего тела (на ТЭС – питательной воды) в контуре. Выход энергетического оборудования на *новые* (повышенные) параметры работы выдвигает серьезные задачи перед производителями энергетических насосов, особенно в части обеспечения их бескавитационной работы и надлежащего срока службы [3]. Использование решений, предложенных в [1, 2], в принципе позволяет обеспечить работу БН в широком диапазоне подач с обеспечением вполне удовлетворительных собственных антикавитационных свойств и такого же качества для последовательно установленного за БН питательного насоса. Кроме того, в силу конструктивных особенностей БН с полирядным расположением рабочих органов, а также применения *эвольвентно-кольцевых* отводящих

и подводящих устройств насоса [4], теоретически обеспечивается полное уравнивание ротора насоса, как от осевых, так и в значительной мере от радиальных нагрузок в рабочем диапазоне подач.

Полуконструктивная схема СБН с двусторонним подводом и отводом рабочего тела разработанного на параметры $Q=1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $H=286 \text{ м}$ при $n=3000 \text{ об/мин}$ приведена на рис. 1.

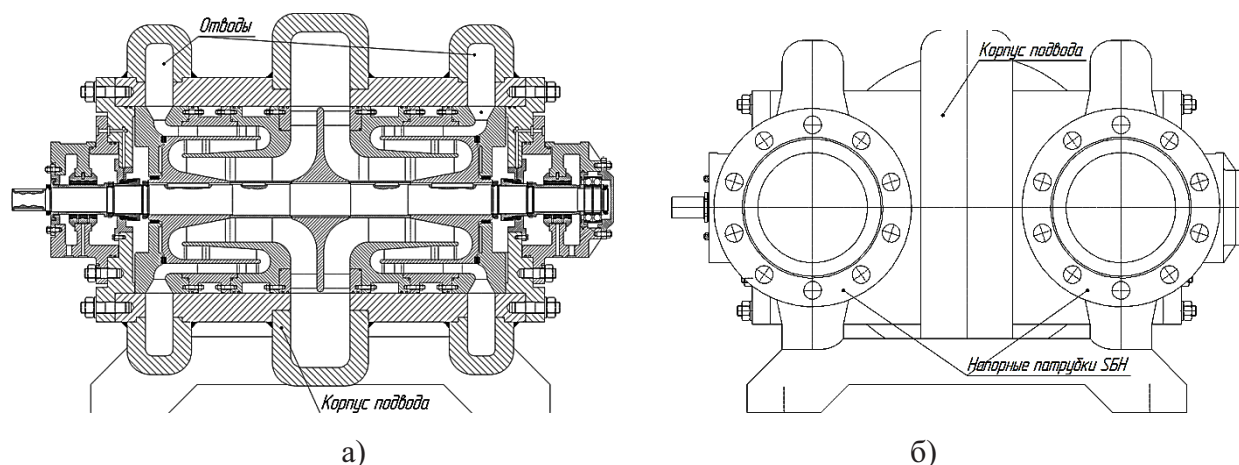


Рис. 1. Полирядный лопастной бустерный насос СБН двустороннего действия:

а) – продольный разрез насоса; б) – общий вид насоса

На данном этапе логичным продолжением работы по исследованию свойств S -насосов является проведение натурного физического эксперимента его модели с целью исследования рабочего процесса ПЛН в *реальных* условиях.

Для проведения качественного и объективного физического эксперимента было принято решение спроектировать и изготовить прототип СБН и соответствующий стенд для его испытаний. Вся работа по осуществлению физического эксперимента реализуется в три этапа:

1. **Первый этап.** Расчетно-теоретическое исследование рабочего процесса прототипа СБН. Формирование эскизного и технического проектов. Выпуск рабочей документации на электронасосный агрегат и экспериментальный стенд в целом;
2. **Второй этап.** Технологическая проработка деталей и узлов машины. Изготовление необходимых элементов. Сборка насоса, отладка его функционирования и экспериментального стенда;
3. **Третий этап.** Доводка установки и проведение физического эксперимента. Анализ полученных результатов.

Активная часть и номинальные параметры режима работы предполагаемого к испытаниям модельного S -насоса предполагался геометрически и кинематически подобными натурному СБН. Испытуемый насос имеет конструкцию с двусторонним подводом и отводом рабочей жидкости. Активная часть каждой секции представляет собой трехрядную, одноступенчатую в каждом ряду совокупность осевых решеток лопастей рабочих колес и направляющих аппаратов с S -образной проточной частью в меридианной проекции (рис. 2).

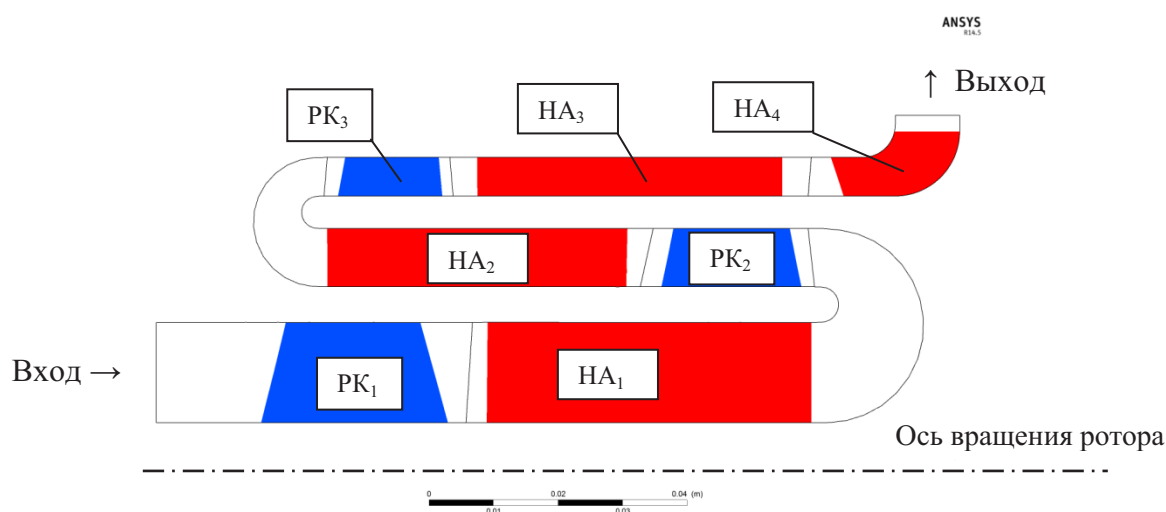


Рис. 2. Меридианная проекция правой секции S -образной проточной части лопастной системы прототипа СБН (левая секция – зеркальное отображение правой)

На рис. 2 синим цветом обозначены рабочие органы рабочего колеса ($ПК_i$), красным – неподвижные направляющие аппараты ($НА_i$). Проточные части поводящих и отводящих устройств также сформированы на основе перспективной идеи об эвольвентной образующей в общих чертах описанной в [4].

На базе принятой концепции насоса выполнена эскизная проработка рабочих органов и основных деталей насоса. В процессе проектирования прототипа выяснилось, что для реализации принципа полирядности требуется изготовление сравнительно сложных в технологическом отношении деталей и узлов, встречающее в условиях ограниченных производственных ресурсов известные трудности. Так, например, детали направляющего аппарата или рабочего колеса с пространственными в общем случае лопастями, (рис. 3) не представляется возможным изготовить без использования станков с ЧПУ или высокоточного литья. Реализация таких процессов, помимо всего прочего, требует повышенных финансовых вложений.

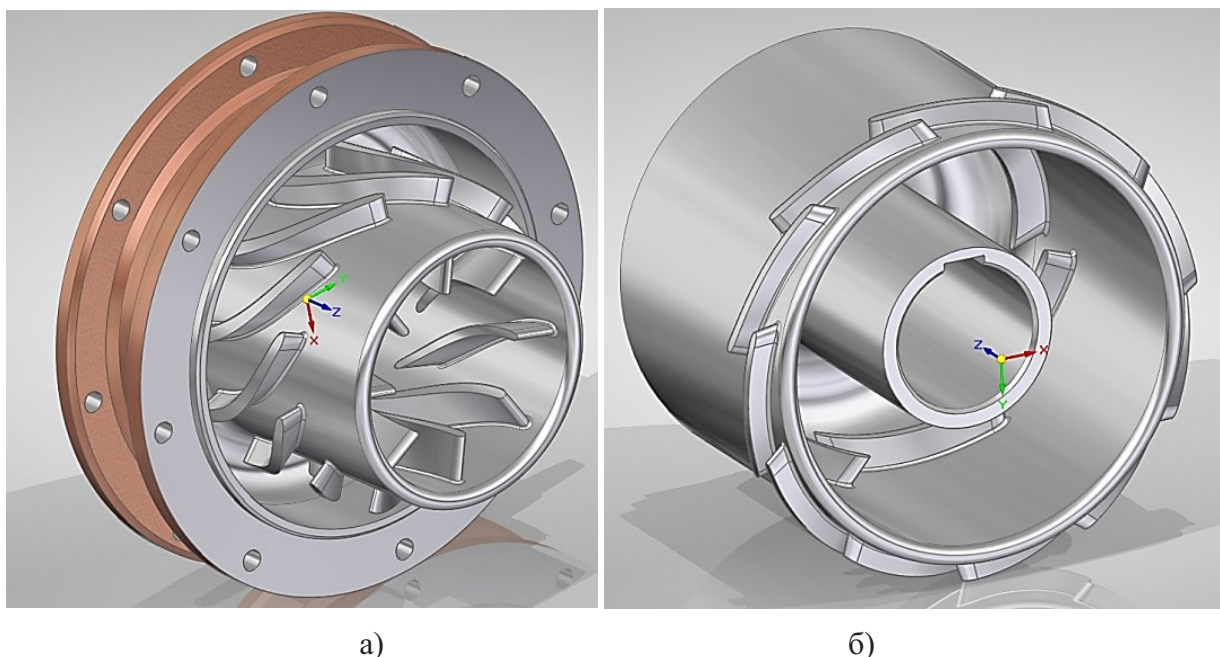
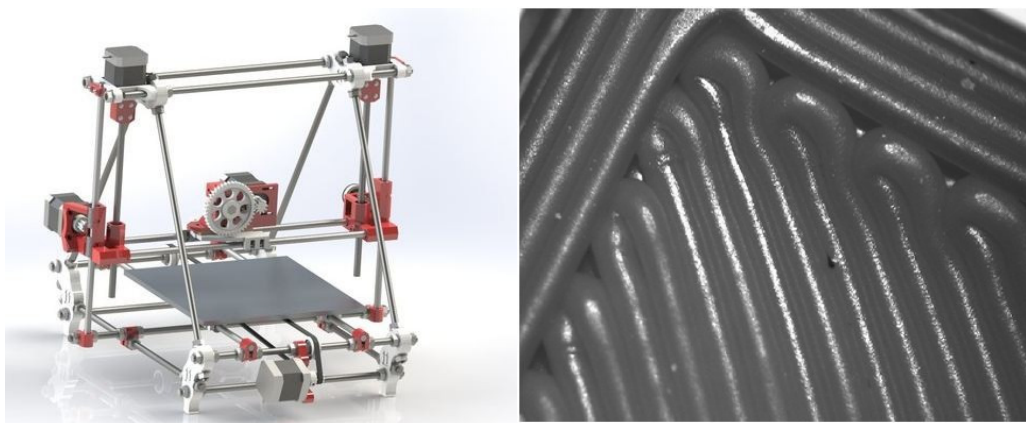


Рис. 3. Основные детали модельного S-насоса: а) – аппарат направляющий; б) – колесо рабочее

Однако в последние годы активно развивается и используется, и экономически приемлем, инновационный метод *прототипирования* изделий сложной конфигурации [7]. Данным методом представляется изготовить детали модельного насоса на 3D-принтере (рис. 4 а) из высокопрочного АБС-пластика (акрилонитрилбутадиенстирол, химическая формула $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$).

Технология печати с использованием данного материала проста. Формирование изделия осуществляется путем послойной укладки расплавленной нити пластика (рис. 4 б). Термопластичный материал выдавливается через разогретое сопло экструдера на неподвижную платформу, формируя слой объекта. После этого головка экструдера поднимается на толщину одного слоя для нанесения следующего. Последующие слои ложатся на предыдущие, затвердевают и соединяются между собой. Метод получил название «экструзионная печать» [7].



а)

б)

Рис. 4. Технология 3D-печати: а) – простейшая модель 3D-принтера; б) – поперечный разрез печатаемой модели

Механические свойства изделий (в частности лопастных системы), полученных таким способом, по точности, качеству поверхностей и прочности пригодны для осуществления исследований и позволяют реализовать требуемый рабочий процесс, а также выполнить качественную оценку эксплуатационных показателей устройств и машин в целом. Полистирольные пластики могут обрабатываться точением и фрезерованием, следовательно, имеется принципиальная возможность создания посадочных поверхностей с определенной чистотой, что в итоге позволит собрать прототип насоса удовлетворительного качества. Вал, полумуфты и прочие несложные детали вращения изготавливаются традиционными малозатратными методами из нержавеющей стали. Такие сложные механические узлы как подшипники и торцовые уплотнения являются покупными готовыми изделиями.

Исходя из механических свойств АБС-пластиков, особенностей печати на 3D-принтере, а также имеющихся производственных мощностей была проведена детальная проработка всех деталей и узлов прототипа СБН. По итогам данной проработки из технологических соображений было принято решение об изменении конфигурации лопастных систем прототипа СБН, а именно – уменьшении числа рабочих лопаток и увеличении их толщин. В результате этого геометрическое подобие лопастных систем модельного и реального СБН теряется, однако значения коэффициентов быстроходности рабочих колес (n_s) насосов остается сопоставимым (200 и 250 для РК₂ и РК₃ соответственно). *Требуемые* рабочие параметры для прототипа СБН при работе в нормальных условиях на технической воде сведены в таблицу 1:

Требуемые рабочие параметры прототипа ПЛН

Параметр	Ед. изм.	Значения			
		Прототип СБН	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
Подача (на секцию), Q	л/с	6,5			
Напор, H	м	14	2	5	7
Частота вращения, n	об/мин	2850			
Диаметр РК _{<i>i</i>} , D_{cp}	м	-	0,07	0,1	0,13

На данные параметры в первом приближении спроектированы и получены 3D-модели лопастных систем рабочих органов. В результате проведения многочисленных компьютерных испытаний с целью их оптимизации получена итоговая конфигурация проточной части.

Численное моделирование рабочего процесса прототипа СБН в *ANSYS CFX* позволило получить поля распределения скоростей и давлений в пределах оптимизированной проточной части насоса. На рис. 5 показаны результаты расчета течения в каналах в стационарной постановке.

На рис. 5 а) показано векторное поле скоростей в межлопастных каналах построенное по средней линии тока. Видно, что в направляющих аппаратах второго и третьего рядов имеют место немногочисленные вихреобразования. Добиться полного исчезновения вихревых зон на данном этапе расчетов в стационарной постановке не удалось. На рис. 6 б) дана полная картина течения рабочей жидкости (воды) в пределах проточной части ПЛН с учетом влияния подводящего и отводящего устройства насоса. Рисунок 6 в) демонстрирует характер роста статического давления рабочей жидкости по мере преодоления рабочих органов насоса в его активной части.

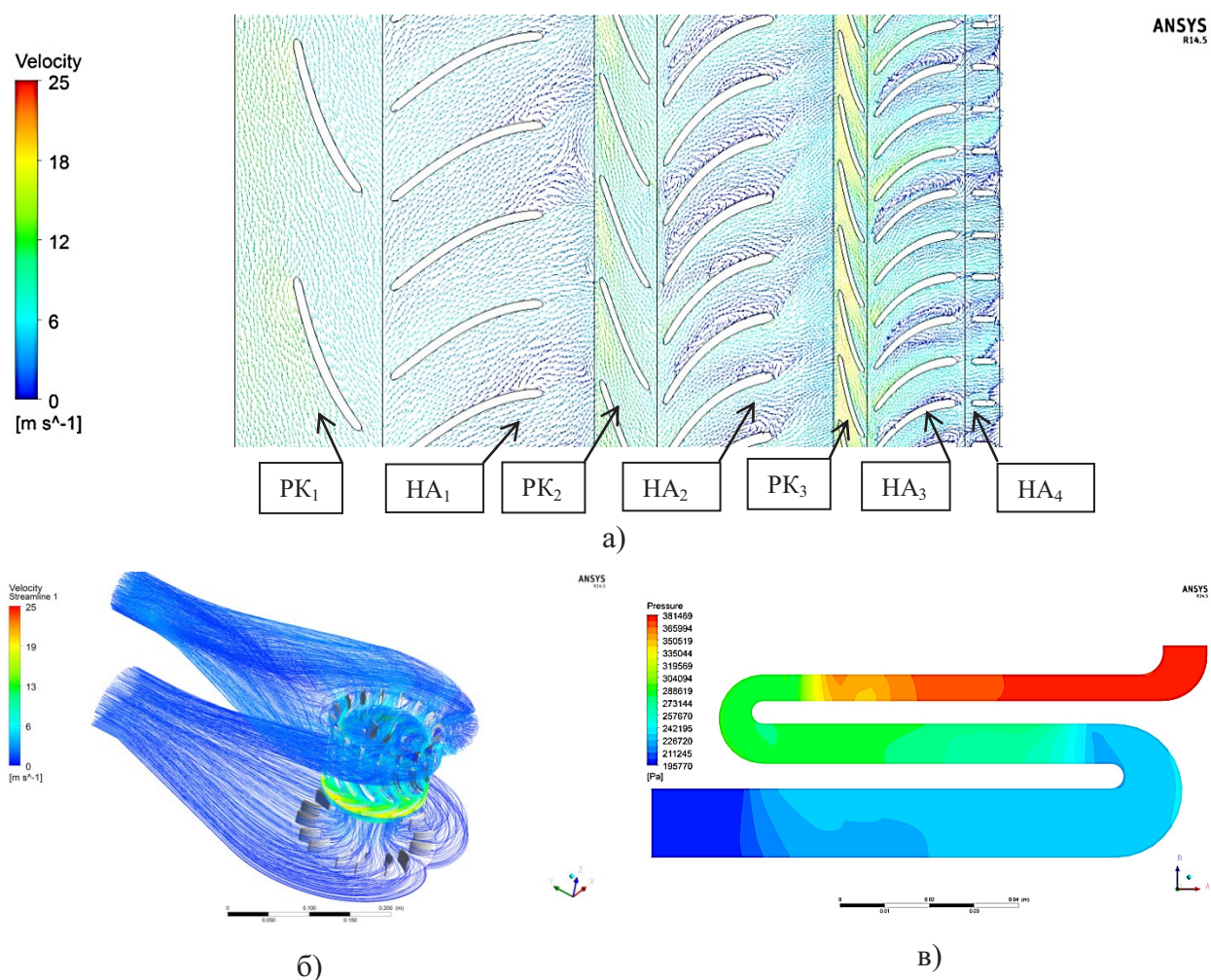


Рис. 5. Визуализация рабочего процесса прототипа ПЛН: а) – векторное поле скоростей на срединных цилиндрических сечениях; б) – общая картина течения с учетом подвода и отвода; в) – распределение статического давления в меридианной проекции

По итогам процесса оптимизации получены следующие теоретические (прогнозные) интегральные параметры работы прототипа СБН, которые сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Прогнозные параметры работы прототипа СБН

Параметр	Ед. изм.	Значения			
		Прототип СБН	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
Подача (на секцию), Q	л/с	6,5			
Частота вращения, n	об/мин	2850			
Напор, H	м	18,8	3,12	6,52	9,14
Гидравлический КПД, η_{Γ}	%	62,4	82,2	58,4	60,4
Гидравлическая мощность, N_{Γ}	кВт	1,91	0,24	0,71	0,96

По данным публикации [8] имеет место погрешность численного моделирования в пакете *ANSYS CFX* по сравнению с физическими испытаниями насосов различных типов. Таким образом, значения напоров трех рядов прототипа СБН были спроектированы на заведомо большие параметры по напору с тем, чтобы увеличить вероятность получения *требуемых* параметров работы, представленных в таблице 1.

На основе полученной оптимизированной проточной части прототипа ПЛН разработан итоговый рабочий проект насоса (рис. 7).

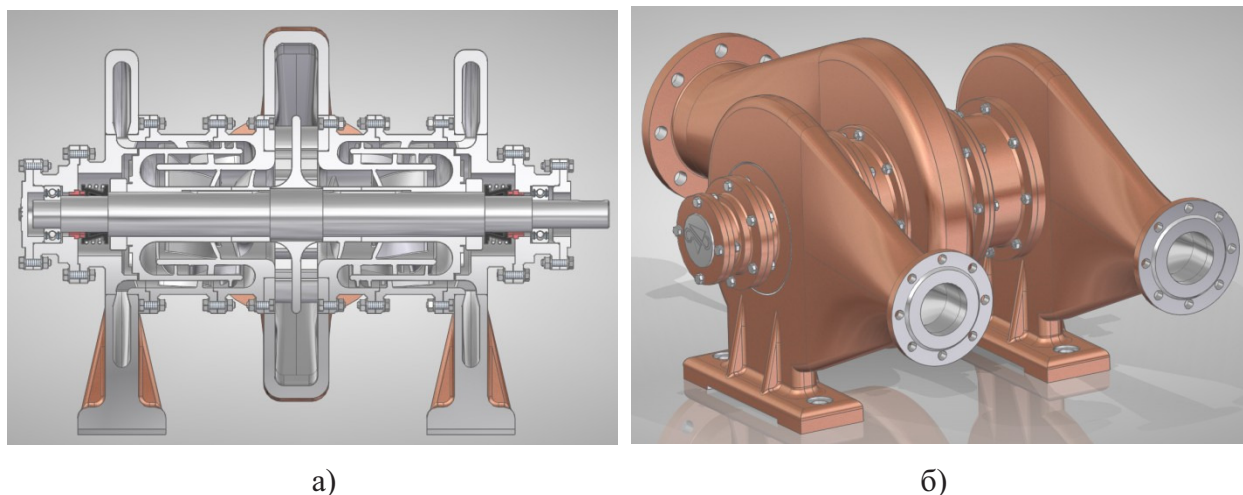


Рис. 7. Рабочий проект прототипа ПЛН: а) – продольный разрез; б) – общий вид

Прототип ПЛН агрегируется на стальной раме с асинхронным трехфазным электродвигателем мощностью $N_{эд}=5,5$ кВт (рис. 8).

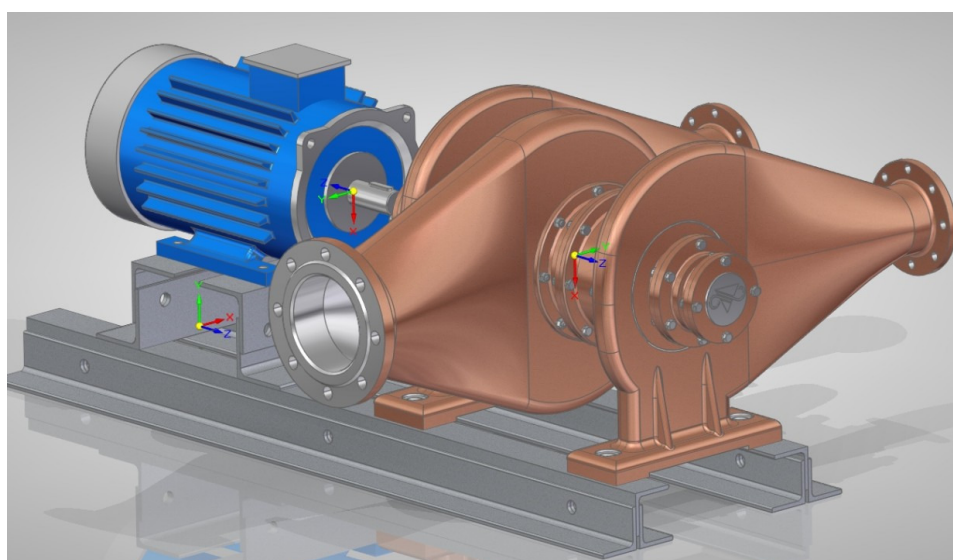


Рис. 8. Электронасосный агрегат

На данном этапе завершено проектирование рабочего варианта электронасосного агрегата и определены технологические возможности для изготовления его составляющих.

Целью дальнейшей работы является проектирование испытательного стенда для осуществления физического эксперимента и получения эксплуатационных характеристик прототипа ПЛН.

Список литературы

1. Моргунов Г.М. Парадигмы насосов питательной системы мощных энергоблоков // Теплоэнергетика. 2013. №2. С. 118-128.
2. Купцов С.Ю., Моргунов Г.М. Бустерный S-насос двустороннего действия // Сборник докладов 17-ой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С. 88-96.
3. Шиль Ю. Тенденции развития питательных насосов // Вестник ЮурГУ. 2005. №1, С. 32– 46.
4. Купцов С.Ю., Моргунов Г.М. Подводящее устройство с эвольвентной образующей для насосных установок // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XX межд. науч. техн. конф. студентов и аспирантов: тез. докл. В 4 т. Т. 4. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 190.
5. Свиридов Р.О., Моргунов Г.М. Структурно-параметрический синтез предвключенного устройства для насосной установки бесштанговой добычи нефти на подачу 160 м³/сут //16-ая Всероссийской науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика»: сборник докладов (Москва, 11 декабря 2012 г.). С. 204-208.
6. Моргунов Г.М. Лопастные машины для жидкостей и газов с увеличенной плотностью полезно используемой энергией // Вестник МЭИ. 2007. №4. С. 5-13.
7. Матюшкин Л.Б., Пермяков Н.В. Применение технологии 3D-печати в обеспечении профессионально ориентированной подготовки кадров в интересах nanoиндустрии // Медико-технический менеджмент и образование. 2013. №3(27). С. 38-47.
8. Ansys. Available at: www.ansys.com, accessed 12.06.2014.