

09, сентябрь 2015

УДК 621.65.03

Первые результаты структурного синтеза экспериментальной модели трехрядного конденсатного насоса

*Рябцев Е.А., аспирант
Россия, 111250, г. Москва, НИУ МЭИ,
кафедра «Паровых и газовых турбин им. А.В. Щегляева»*

*Научный руководитель: Моргунов Г.М., д.т.н, профессор
Россия, 111250, г. Москва, НИУ МЭИ
Riabtsev1991@yandex.ru*

Незаменимые для функционирования ТЭС и АЭС конденсатные насосные установки первого и второго подъемов имеют ряд существенных недостатков, изложенных в публикациях [1 – 3].

Научно-технической задачей проекта по модернизации основного энергетического насосного оборудования ТЭС [1, 3] является разработка конденсатного насосного агрегата (в частности: конденсатного насоса первого подъема), обладающего более высокими антикавитационными качествами при прочих равных условиях с существующими аналогами.

Одной из наиболее перспективных разработок являются трехрядные осевые рабочие органы (РО) с мультипланными лопастями и лопатками. Техническое решение [3], внедренное в конденсатный насос, имеет следующие особенности: рабочее колесо (РК) и направляющий аппарат (НА) представляют собой три венца, работающих параллельно по подаче. Введение полирядных систем венцов РК параллельно действующих по подаче решеток позволяет прогнозно снизить пространственную неравномерность и крупномасштабную нестационарность поступающего потока, проявляющихся в наибольшей мере при форсированных подачах и малых напорах. Также ожидается уменьшение уровня гидравлического «момента торможения» потока на низких подачах, что является фактором, предотвращающим нежелательное западание напорно-расходной характеристики для подач, существенно меньших оптимальной.

Проведенные ранее расчетные исследования [4] предлагаемой конструкции подтверждают принципиальную работоспособность трех параллельно работающих по

подаче рядов рабочего колеса и прогнозируют качественное повышение энергоэффективности всего конденсатно-питательного тракта за счет:

- Улучшения антикавитационных свойств трехрядного конденсатного насоса первого подъема;
- Снижения вибраций при работе.

Представленные выводы [3–4] имеют теоретический характер и требуют экспериментального подтверждения эффективности функционирования полирядных мультипланых РО в активных частях осевых насосов. На следующем этапе исследований поставлена задача изготовить и собрать модель трехрядного насоса для проведения физических экспериментов. Целью экспериментов является, в первую очередь, практическое подтверждение возможности достижения повышенных антикавитационных качеств трехрядных насосов.

Активная часть модельного трёхрядного конденсатного насоса предполагается геометрически и подобной проектному варианту конденсатного агрегата [2, 4]. Проектный вариант конденсатного насоса разработан на параметры сверхмощного энергоблока (сверхвысокая производительность): $Q = 1,3 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 16 \text{ м}$ при $n = 1000 \text{ об/мин}$ на форсированном режиме работы по подаче.



Рис. 1. Меридианная проекция трехрядных рабочих органов с системой мультипланых решёток

Относительная принципиальная сложность предлагаемой конструкции трехрядных осевых колёс и направляющих аппаратов определяет завышенную трудоемкость изготавливаемого образца (рис. 2).

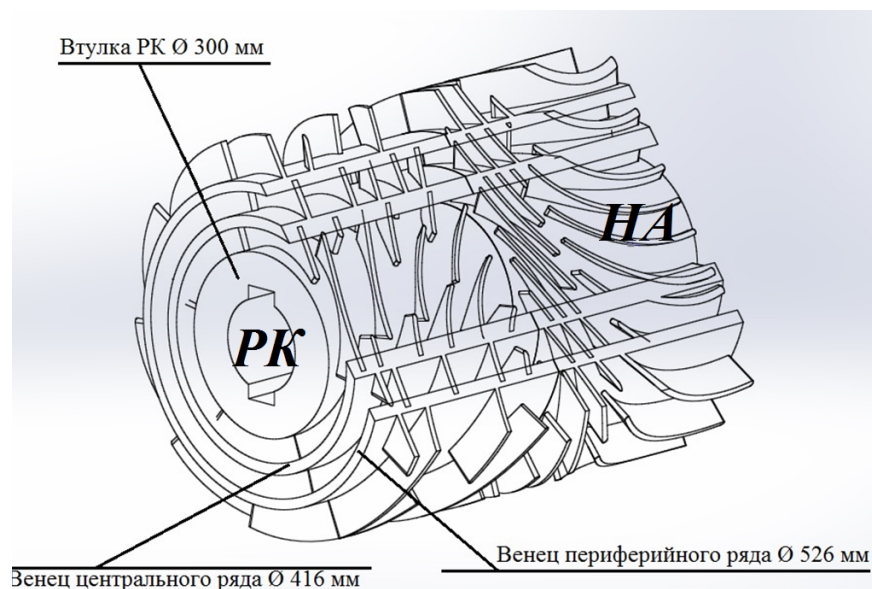


Рис. 2. Проектный вариант трехрядных осевых рабочих органов в совокупности с мультипланнными решётками лопастей и лопаток

Несмотря на то, что изготовление мультипланнных лопастей (по крайней мере бипланнных) как на единой, так и на раздельной втулке является легко выполнимой задачей, в нашем случае выполнение нескольких венцов РК и направляющих аппаратов в активной части осевого насоса вызывает дополнительные технологические и гидродинамические проблемы. Для решения этих проблем были исследованы различные отечественные предприятия и на основании их материальной базы были предложены некоторые методы изготовления гидромашин столь сложной конструкции. По результатам экспертных рекомендаций был проведен обзор основных методов изготовления (таких как литье по выплавляемым моделям; сварка и т.д.) трехрядных РК и НА с мультипланнными лопастями и лопатками и подготовки их к последующим физическим экспериментам.

В последнее время широкое распространение в науке получил метод 3D-печати для быстрого изготовления прототипов для экспериментов [5]. Работа с реальными физическими моделями дает множество преимуществ. Во-первых, это возможность оценить физические свойства изделия, его функциональность, исключить скрытые ошибки и проблемы производства. Во-вторых, естественно, на готовой модели из пластика гораздо проще проводить различные эксперименты до того, как будет получен окончательный вариант изделия.

В гидромашиностроении 3D печать применяется как для испытаний традиционных рабочих колёс, так и для подтверждений работоспособности новых конструкций [5], как например упомянутая в данном обзоре полирядная концепция РО.



Рис. 3. Макет элементарного венца плана лопастей РЛК31 колеса, полученный на 3D принтере

На 3D-принтере расплавленная нить пластика формирует «скелет» будущей модели. Последующие слои ложатся на предыдущие, затвердевают и соединяются между собой. Лопастные системы, полученные таким способом, по качеству и точности пригодны для осуществления экспериментов [5].

Конкретно для полирядных осевых РО (рис. 4) перед печатью на 3D-принтере необходимо изменить модель, исходя из свойств конкретной модели 3D-принтера.

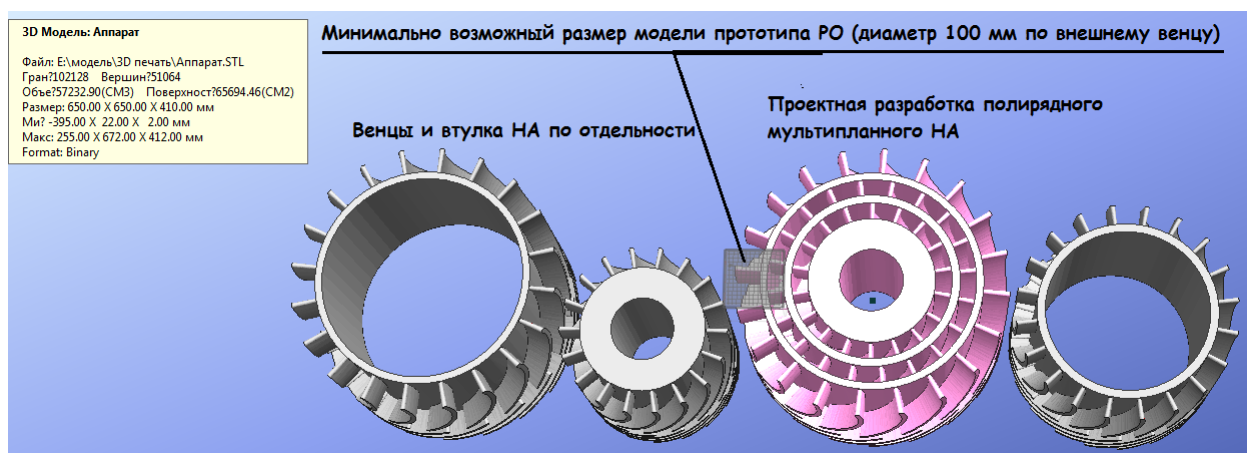


Рис. 4. Проектная разработка полирядного мультипланного направляющего аппарата, подготовленная к 3D печати

Подготовить прототип полирядных мультипланых РО можно как цельной неразборной модели, так и втулки и венцов по отдельности.

Исходя из конфигурации и толщины лопастей, минимально возможным габаритом для прототипирования является диаметр (по периферии), равный 100 мм. Также было

уменьшено число лопаток НА и их конфигурация, чтобы избежать гидродинамических проблем, относящихся к стеснению потока в межлопаточном канале проточной части, и, соответственно, проблем растрескивания лопаток под напряжением.

Учитывая специфику изготовления модели на 3D принтере, необходимо дорабатывать прототип после его распечатки. Таким образом, была разработана схема сборки трехрядных мультипланых РО в продольном и поперечных направлениях (рис. 5, а) и получен опытный образец модели трехрядного РК (рис. 5, б).

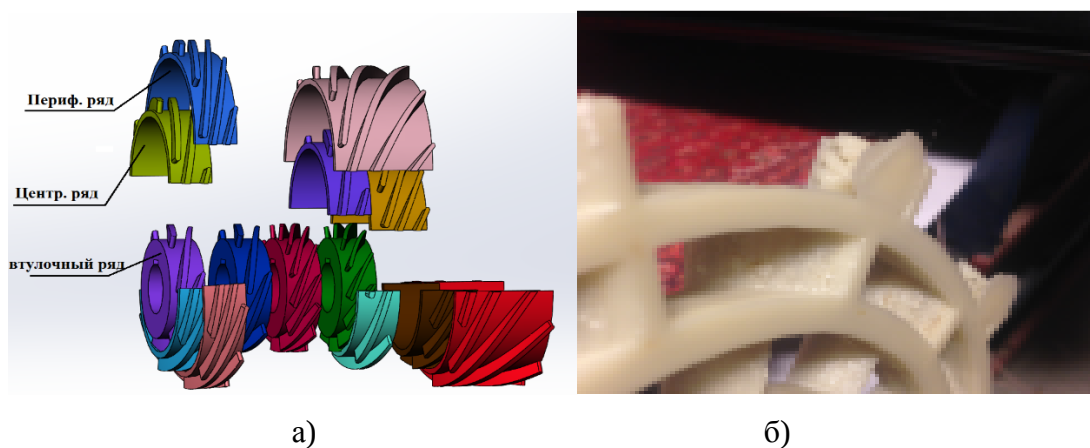


Рис. 5. а) схема сборки полирядных РО; б) входная часть полирядного РК

Следует отметить, что из-за погрешностей изготовления, размеры изготовленного образца примерно на 6,5% больше, чем у планируемой модели. Данное обстоятельство будет учтено при дальнейшем изготовлении опытных образцов.

Требуемые рабочие параметры для модели трехрядного конденсатного насоса при работе на нормальных условиях на воде сведены в табл. 1:

Таблица 1

Рабочие параметры, на которые спроектирована модель конденсатного насоса

Параметр	Ед. изм.	Значения			
		Насос	Втулочный ряд	Центральный ряд	Периферийный ряд
Подача, Q	л/с	53,5	14	18	21,5
Напор, H	м	6,6	6,32	6,62	6,85
Частота вращения, n	об/мин	1000			
Диаметр, D	м	-	0,094	0,123	0,15

Следует отметить чрезвычайно высокие значения подачи даже для модельного насоса. Расчет на сверхвысокие подачи проводился из соображений отсутствия кавитации

и/или работоспособности при частичной кавитации: в случае, если в модельном насосе отсутствует кавитация на экстремально высоких подачах, то можно гарантировать бескавитационную работу и на меньших расходах.

Численное моделирование тока конденсата в РО модели насоса позволило получить распределение скоростей и давлений в проточных частях рядов РК и НА, а также оптимизировать геометрию проточной части насоса.

На рис. 6 показано распределение линий тока на входном и выходном участке подводящего канала для трёх рядов рабочего колеса и направляющего аппарата совместно. Моделирование показывает, что существует опасность неравномерной нагрузки на ряды РК на входе. Таким образом, это было учтено при конструировании подвода к насосу. Путём многократного моделирования и изменения конфигурации лопаточной системы рядов НА, удалось почти полностью ликвидировать немногочисленные отрывы в межлопаточном канале. На выходе из НА присутствуют немногочисленные срывы потока с кромки лопаток. Добиться полного исчезновения срывов на данном этапе не удалось, так как форма и расположение лопаток была определена прежде всего исходя из условий изготовления. НА почти полностью ликвидирует закрутку потока. В связи с тем, что давление на выходе из каждого ряда НА по отдельности имеет схожие значения, то можно судить, что интенсивность смешивания потоков на выходе из трёх рядов невелика.

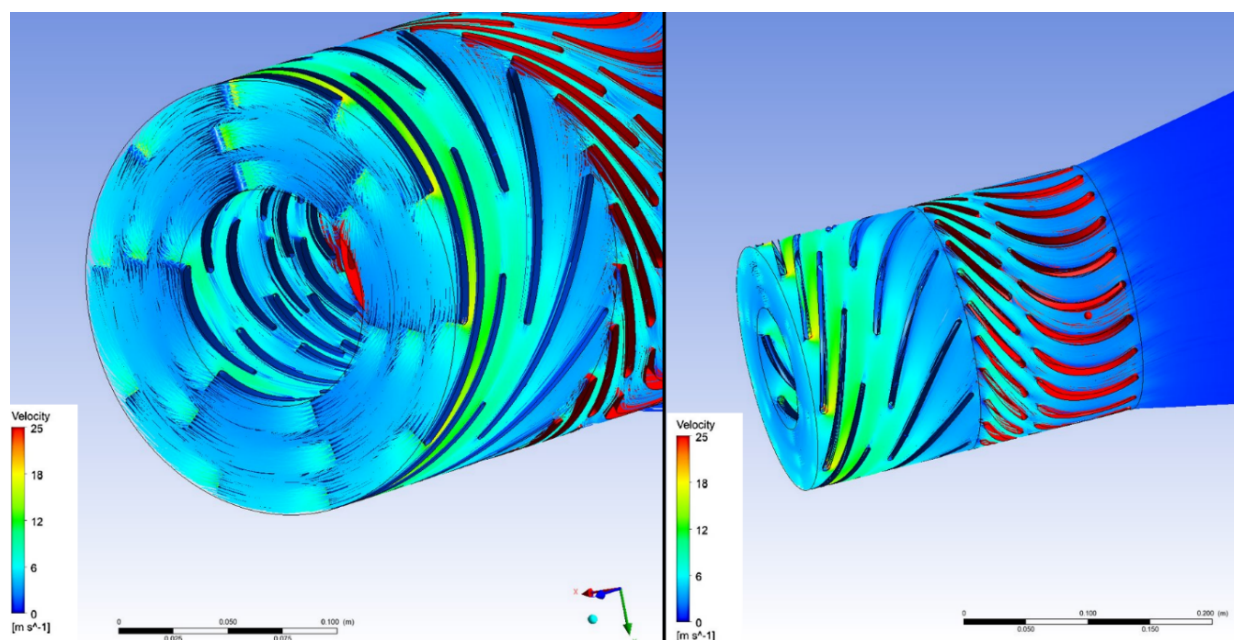


Рис. 6. Течение конденсата в рабочих органах модели конденсатного насоса на входном и выходном участках

Расчетно-теоретическое исследование трехрядных РО в совокупности позволяет установить, что эпюра скорости и давления на входе в рабочее колесо остается равномерной и осесимметричной в широком диапазоне подач. Поток жидкости на входе в РК ведёт себя упорядоченно.

На основе результатов о распределении давлений в лопастных и лопаточных системах проточных частей рядов РК и НА и исходя из теоретических соображений о работе данной гидромашины [2], была проработана проектно-эскизная компоновка модели насоса (рис. 7).

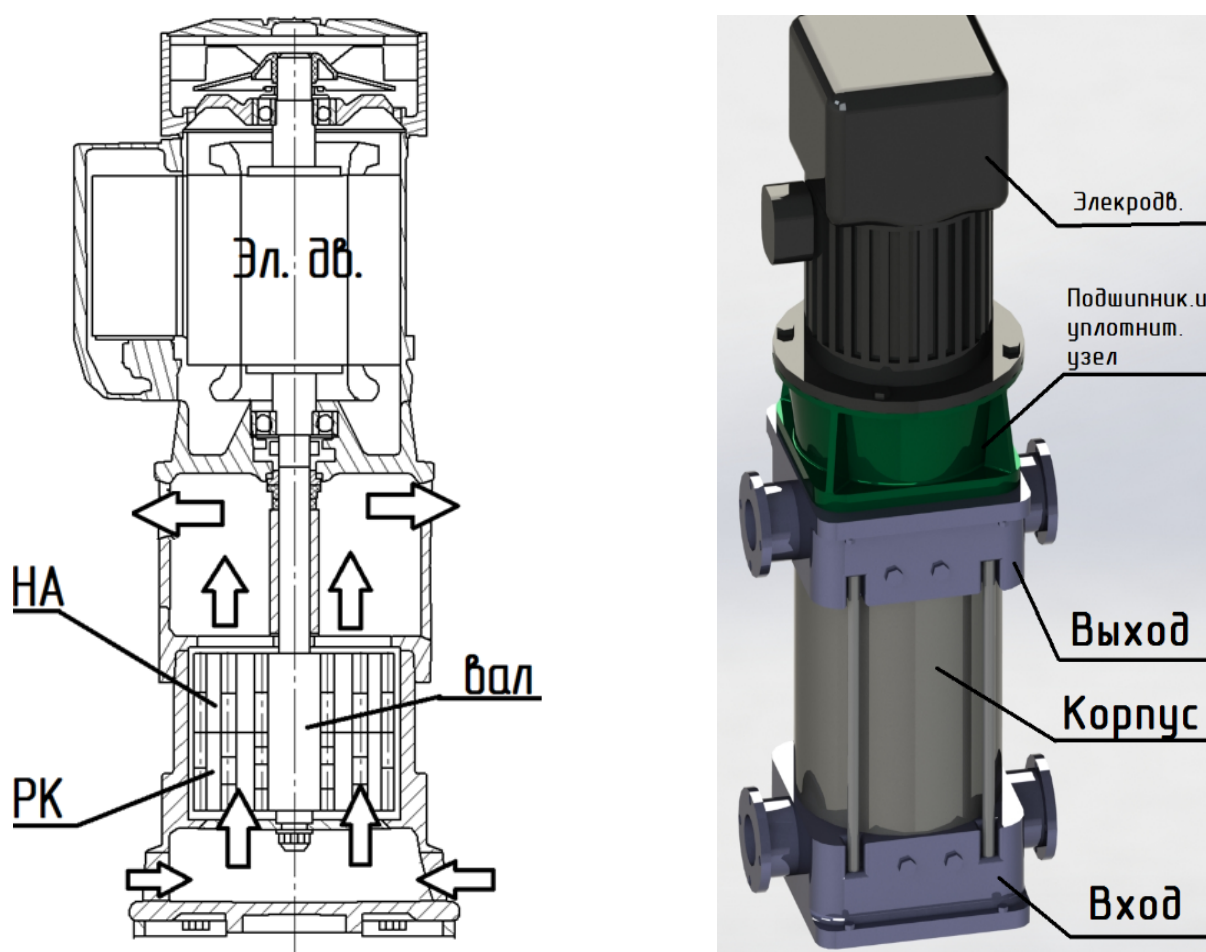


Рис. 7. Проектно-эскизная разработка модели конденсатного насоса для физических экспериментов

Модельный насос устанавливается на стальную раму. В качестве движителя принят асинхронный трехфазный электродвигатель с частотным преобразователем.

Заключение

На данном этапе в качестве метода изготовления полирядных РО для модели конденсатного насоса был выбран метод прототипирования (рис. 3 – 5), исходя из будущих кавитационных испытаний (в следствие износа, необходимо иметь несколько вариантов рабочих органов). Были рассмотрены несколько вариантов будущего облика модельного насоса и выбрал лучший из них (рис. 7). Дальнейшими задачами работы являются:

- Разработка экспериментального стенда;
- Изготовление финальных образцов полирядных РК и НА;
- Исследование модели на стенде, включающее в себя энергетические и кавитационные испытания;
- Анализ результатов испытаний.

Список литературы

1. Моргунов Г. М. Разработка насосов нового поколения питательной системы мощных энергоблоков // Теплоэнергетика». 2013. № 2. С. 42–53.
2. Моргунов Г. М., Рябцев Е. А., Качан Ю. И. Агрегат конденсатных насосов для энергоблока гигаваттного класса. // Международная научно-техническая конференция Есориптр.ru`2013. Эффективность и экологичность насосного оборудования: сборник докладов. М.: Изд-во ООО «Линтекс». 2013. С. 24 – 33.
3. Моргунов Г. М., Рябцев Е. А. Полирядные осевые насосы с мультипланым рабочими органами. // Компрессорная техника и пневматика. 2014. № 5. С. 38 – 41.
4. Рябцев Е. А., Качан Ю. И. Результаты разработки и расчетно-теоретического исследования агрегата конденсатных насосов для супермощного энергоблока // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн. № 07. 2014. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/724638.html> (дата обращения 16.03.2015).
5. Купцов С.Ю. Первый этап подготовки к физическим испытаниям полирядного лопастного насоса двустороннего действия // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журн. № 07. 2014. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/724615.html> (дата обращения 16.03.2015).