

Разработка новой линейки центробежных судовых насосов для горячего теплоносителя

10, октябрь 2015

Петров А. И. к.т.н., доцент^{1,*}, Полуэктов Д. А.¹

УДК: 621.671.2

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

* alex_i_petrov@mail.ru

Введение

В настоящее время по целому ряду типов насосного оборудования наша страна не имеет собственных серийных образцов продукции. В частности, это относится к оборудованию для добычи полезных ископаемых на арктическом шельфе. Поэтому на государственном уровне ведется активная политика импортозамещения, и в ее русле в рамках выполненного государственного контракта по теме «Разработка оборудования систем циркуляции высокотемпературного органического теплоносителя для объектов освоения арктического шельфа» в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана линейка насосов для горячего высокотемпературного органического теплоносителя (ВОТ) Терминол-59 (температура жидкости до 250 градусов С).

Состав типоразмерного ряда определялся по данным потребителя данного типа насосного оборудования – ОАО «СКБК». При этом весь диапазон потребных подач (от 27 м³/час до 400 м³/час) и напоров (80...100 м) удалось обеспечить пятью типоразмерами проточной части и тремя типоразмерами приводной части (подшипниковый узел, блок уплотнений). Такая достаточно высокая степень унификации возможна за счет применения спиральных отводов с разгрузочным ребром и глубокой оптимизацией геометрии проточной части (что позволяет насосам работать в более широком диапазоне подач).

По результатам изучения импортных насосов-аналогов (производства фирм KSB, Sterling, Allweiler и др.) была предложена конструкция насосов с подшипниковым узлом на основе подшипников скольжения со смазкой перекачиваемой жидкостью (с возможностью предварительной очистки и охлаждения жидкости), двойным торцовым уплотнением по стандарту API (производство отечественной компании «ТРЭМ инжиниринг») и встроенной внешней системой воздушного охлаждения. Пример конструкции насоса приведен на рис. 1.

Были полностью разработаны три насоса из состава типоразмерного ряда для перекачивания ВОТ на подачи 400 м³/час, 260 м³/час и 150 м³/час и напоры 80-100 м, причем

насос с подачей 400 м³/час изготовлен и испытан на заводе ОАО «ЭНА». При этом разработка с самого начала велась полностью на основе самых современных технологий.

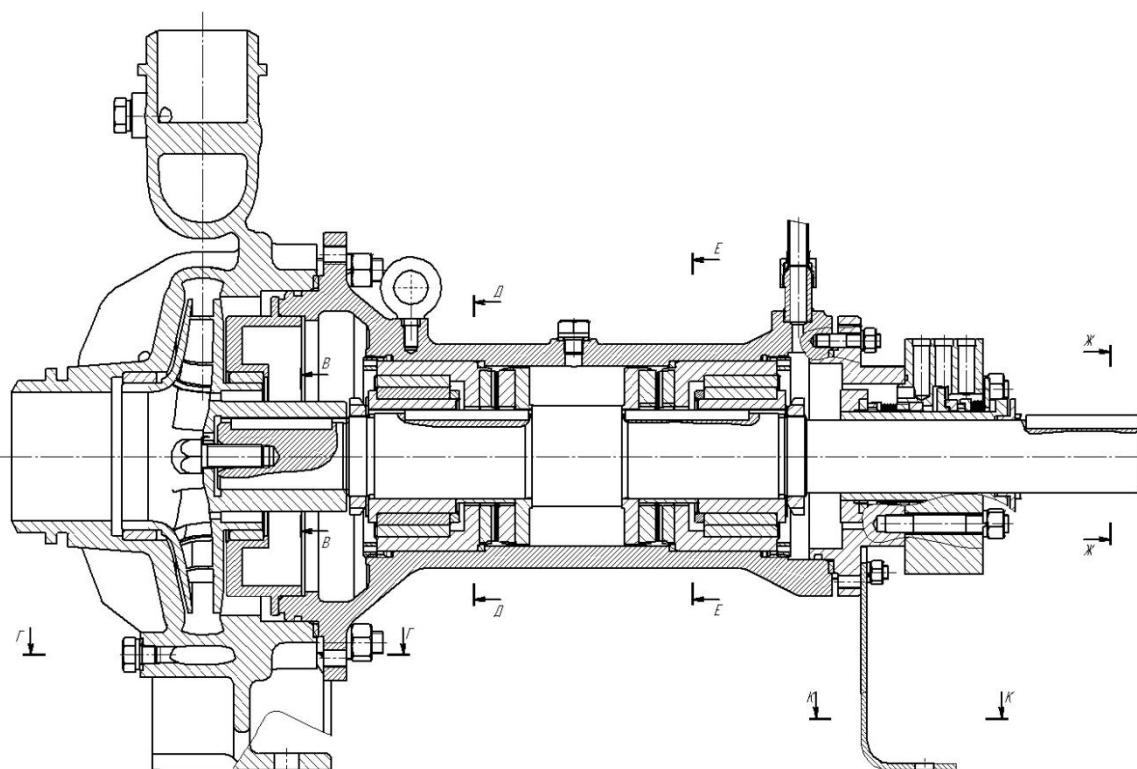


Рис. 1. Конструкция насоса для горячего теплоносителя

Особенностью примененной новой методики разработки и изготовления насосов стало широкое использование современных технологий как в части проектирования насосов, так и при изготовлении их макетов и опытных образцов, что позволило как существенно сократить сроки и стоимость разработки, так и повысить энергоэффективность созданных насосов.

1. Методика разработки и изготовления насосов

Цикл разработки насосов включал следующие стадии:

1. Построение 3D-моделей проточной части с помощью программного пакета CF-turbo и инженерных пакетов 3D-моделирования;
2. Оптимизация проточной части насосов методами гидродинамического моделирования в программном пакете STAR CCM+ с использованием вычислительного кластера кафедры Э-10;
3. Проектирование конструкции насосов в современных пакетах 3D-моделирования;
4. Изготовление макета насосов в масштабе примерно 1:2 (зависит от размеров насоса) с помощью 3D-принтера и его испытания для подтверждения ранее рассчитанных характеристик;
5. Выпуск конструкторской документации на основании имеющихся 3D-компоновок насосов;

6. Изготовление и испытания опытного образца насоса;
7. Корректировка конструкторской документации по результатам испытаний и подготовка к серийному производству.

На первом этапе была глубоко проработана геометрия проточной части насосов с целью повышения их КПД и снижения нагрузок на роторы насосов во всем диапазоне режимов работы.

Вопросы оптимизации проточной части методами 3D-моделирования были подробно рассмотрены в наших предыдущих статьях, например [1-4]. Специфичными для данных насосов [5] были повышенные требования по всасывающей способности рабочего колеса и по снижению радиальной силы в широком диапазоне подач насосов. Оптимизация проводилась на основании ранее отработанных (в частности, при разработке линейки нефтяных магистральных насосов) алгоритмов расчета в STAR CCM+. Для повышения точности расчетов кавитационных свойств рабочих колес применено моделирование двухфазного потока [3].

Обязательным, на наш взгляд, звеном в процессе создания крупного насоса является его макетирование. На рис. 2 показан макет насоса, изготовленный на 3D-принтере и установленный на испытательном стенде кафедры Э-10 МГТУ им. Н.Э. Баумана.



Рис. 2. Макет насоса KBC 400-80

2. Изготовление и испытания макетов и опытных образцов насосов

Изготовление макетов методами 3D-прототипирования позволяет очень серьезно (в 2-3 раза) сократить стоимость и сроки работ по сравнению с традиционными методами макетирования.

Следует отметить, что в процессе работы над указанными насосами для перекачивания ВОТ необходимости повторного изготовления макета не было ни разу, так как резуль-

таты моделирования в пакете STAR CCM+ неизменно подтверждались при испытаниях макетов насосов. В частности, для насоса с подачей 400 м³/час значения гидравлического КПД, определенного путем гидродинамического моделирования, составило 87%, для уменьшенного макета – 85%, для натурного образца – примерно 86,5% (общий КПД – около 75%). Совпадение напорных характеристик также получено с высокой точностью, погрешность в оптимальном режиме составила менее 2%.

Изготовление опытного образца насоса велось на заводе ОАО «ЭНА», при этом использовались технологии точного литья из нержавеющей стали и применялись современные обрабатывающие комплексы. Также в конструкции насоса применены подшипники скольжения с напылением из карбида вольфрама, чтобы минимизировать возможный абразивный износ в процессе эксплуатации насоса. Применение внешнего трубопровода для подвода жидкости к узлу подшипников скольжения позволяет, при необходимости, использовать гидроциклонную очистку жидкости и/или дополнительно монтировать сетчатые фильтры, а также применять внешний теплообменник для охлаждения жидкости, поступающей к торцевому уплотнению.

Испытания опытного образца насоса КВС 400-80 проведены в научно-исследовательской лаборатории на заводе ОАО «ЭНА». Для проведения испытаний использовался испытательный стенд завода и доработанная заводская методика проведения испытаний, которая соответствует всем требованиям ГОСТ 6134-2007. На рис. 3 показан вид насоса (опытный образец, без кожуха и окраски) в процессе испытаний на ОАО «ЭНА».

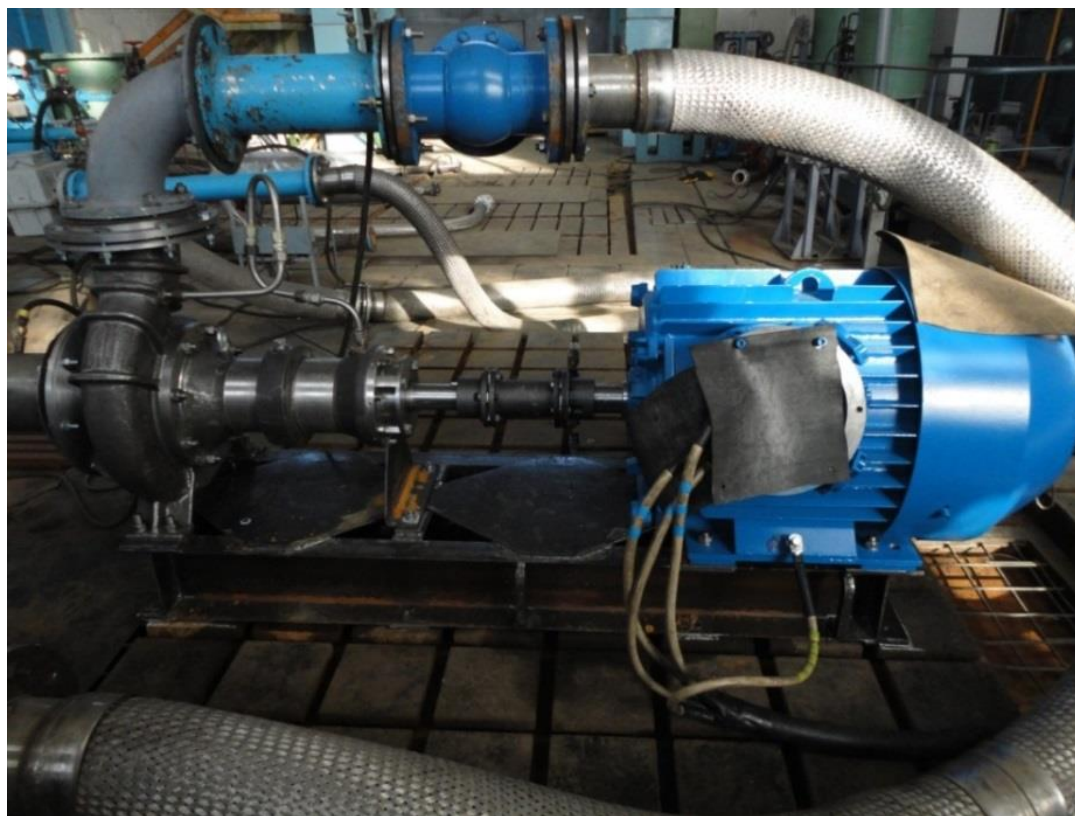


Рис. 3. Опытный образец насоса во время испытаний

Характеристики, полученные в результате испытаний, приведены на рис. 4.

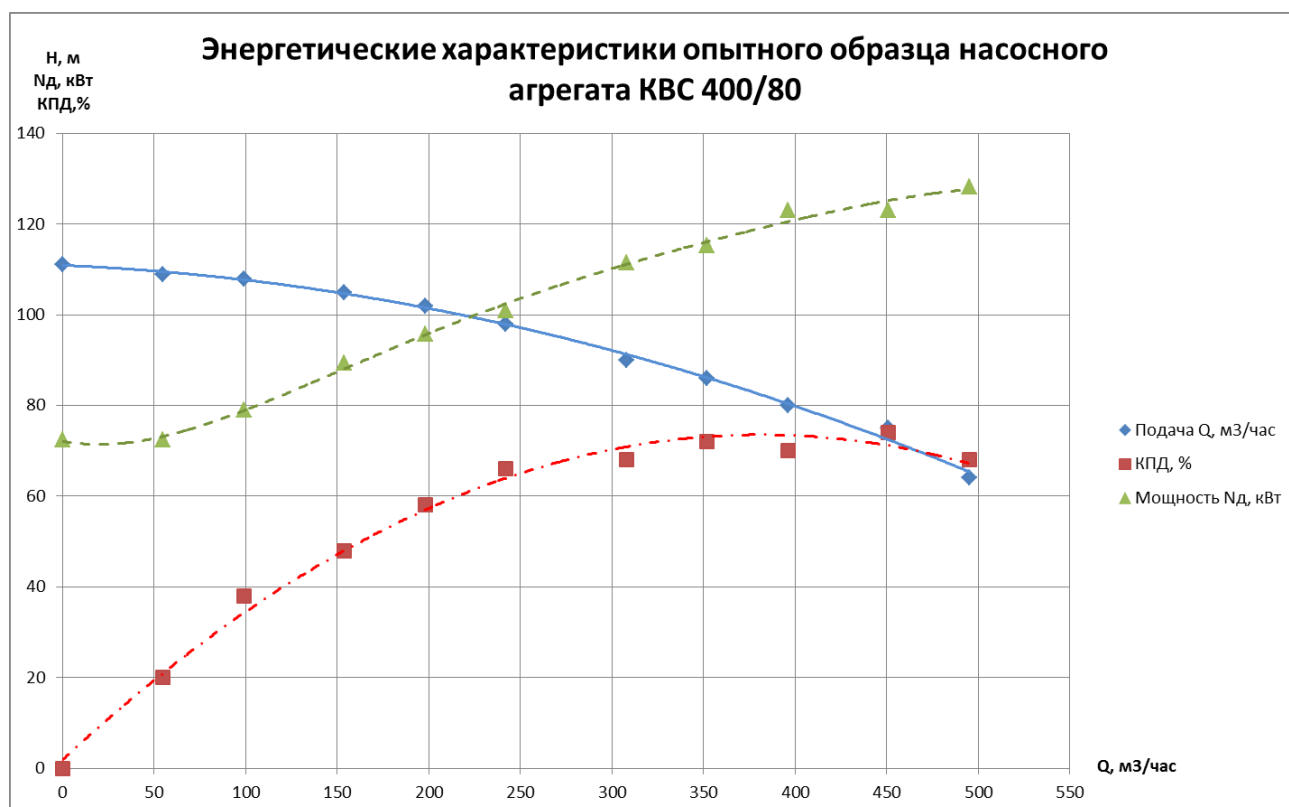


Рис. 4. Характеристики опытного образца насосного агрегата КВС

В насосе с подачей 400 м³/час благодаря применению запатентованной конструкции осецентрибежной ступени [3,4,5] удалось достигнуть критической величины кавитационного запаса 2,2 м, что соответствует расчетному значению с точностью до 5% (расчетное значение по данным гидродинамического моделирования составляло примерно 2,1 м).

Заключение

В результате сравнительного анализа результатов гидродинамического моделирования, испытаний макета насоса и натурного образца (для насоса с подачей 400 м³/час) получена хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных в области оптимального режима работы насоса, а также кавитационных качеств насоса. Также можно отметить необходимость обращать большее внимание на течения во вспомогательных трактах насоса, которые не моделировались ни расчетным путем, ни в макете, и в итоге дали некоторое снижение КПД опытного образца. Однако в целом созданный насос соответствует как требованиям ТЗ, так и мировому уровню насосостроения, имея при этом улучшенные кавитационные качества.

В настоящее время изучаются перспективы серийного производства разработанных насосов данной линейки на ОАО «ЭНА» для нужд гражданского судоходства.

Список литературы

- [1]. Петров А.И., Ломакин В.О. Численное моделирование проточных частей макетов насосов и верификация результатов моделирования путем сравнения экспериментально полученных величин с расчетными. // Наука и Образование: электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. №5. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/356070.html> (Дата обращения: 24.09.2012) DOI: [10.7463/0512.0356070](https://doi.org/10.7463/0512.0356070)
- [2]. Ломакин В.О., Щербачев П.В., Тарасов О.И., Покровский П.А., Семёнов С.Е., Петров А.И. Создание параметризованных 3D-моделей проточной части центробежных насосов // Наука и Образование: электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. №4. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/354657.html> (Дата обращения: 24.09.2012)
- [3]. Ломакин В.О., Петров А.И., Кулешова М.С. Исследование двухфазного течения в осецентрированном колесе методами гидродинамического моделирования // Наука и Образование: электронное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №9. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/725724.html> (Дата обращения: 29.09.2014) DOI: [10.7463/0914.0725724](https://doi.org/10.7463/0914.0725724)
- [4]. Ломакин В.О., Петров А.И. Применение пакета гидродинамического моделирования STAR CCM+ для повышения энергоэффективности осецентрированной ступени насоса горячего теплоносителя. // Сборник трудов Международной научно-технической конференции ECOMPUMP.RU'2013 «Эффективность и экологичность насосного оборудования». (Москва, МВЦ "Крокус Экспо", 29.10.2013 - 01.11.2013 [в рамках Международной выставки PCVEXPO'2013 "Насосы. Компрессоры. Арматура. Приводы и двигатели"]). М.: Линтекс. 2013. С. 35-36.
- [5]. Петров А.И., Полуэктов Д.А. Разработка осецентрированного насоса для горячего теплоносителя на основе современных методов проектирования лопастных гидромашин. // Сборник трудов Международной научно-технической конференции ECOMPUMP.RU'2014 «Эффективность и экологичность насосного оборудования», (Москва, МВЦ "Крокус Экспо", с 28 по 31 октября 2014 г. [в рамках Международной выставки PCVEXPO'2014 "Насосы. Компрессоры. Арматура. Приводы и двигатели"]). М.: Линтекс. 2014. С. 71-72.