

УДК 621.671

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-364

Надточий Андрей Сергеевич¹

nadtochiy@hms.ru

Твердохлеб Игорь Борисович²

tib@hms.ru

¹*Филиал АО «ГМС Ливгидромаш», Россия, г. Москва*

²*ООО «УК «Группа ГМС», Москва, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СТУПЕНИ В МНОГООРУПЕНЧАТЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ ТИПА ВВЗ

Аннотация. В данной статье приведены результаты расчётных исследований различных вариантов подводящих элементов в промежуточной ступени в насосах типа ВВЗ, предназначенных для транспортирования нефти и др. жидкостей. Выполнено сравнение потерь в элементах проточной части с тремя различными вариантами подводящих лопаток в обратных каналах промступени.

Ключевые слова: ВВЗ, подвод, отвод, моделирование, гидравлика, потери.

Nadtochiy Andrey¹

nadtochiy@hms.ru

Tverdokhleby Igor²

tib@hms.ru

¹*Moscow Branch JSC HMS Livgidromash, Russia, Moscow*

²*MS Group Management Company LCC, Russia, Moscow*

RESEARCH OF INFLUENCE OF THE INLET ELEMENTS DESIGN ON A HYDRAULIC EFFICIENCY OF AN INTERMEDIATE STAGE IN THE BB3-TYPE MULTI-STAGE CENTRIFUGAL PUMPS

Abstract. This article presents results of computational studies for different variants of inlet design in an intermediate stage of a BB3 type multi-stage pump

intended for transportation of crude oil and other similar liquids. Hydraulic losses in the flow part elements are compared for three different variants of the inlet vanes in the return channels of an intermediate stage.

Keywords: BB3, pump, impeller, blade, numerical, experiment, losses.

Введение

Данная работа проводилась в рамках программы по созданию насосов конструктивного типа BB3. При этом речь идёт о спиральных насосах с переводными каналами, соответствующих требованиям ГОСТ 32601-2013 [1].

Данные насосы нашли широкое применение в нефте- и газопереработке, нефтехимии, химической промышленности, нефтедобыче, магистральном транспорте нефти и нефтепродуктов, в качестве насосов питательной группы.

С 2016 года предприятиями Группы ГМС – АО «Сумский завод «Насосэнергомаш» и APOLLO изготавливаются и поставляются типоразмеры насосов BB3 (рисунок 1).



Рис. 1. Агрегат AMG 150L.5x350 и AMG 100L.13x290

Насос типа BB3 с переводными каналами между группами ступеней (рисунок 2) – многоступенчатый, центробежный, с горизонтальным разбóром, расположение рабочих колёс двух отдельных групп ступеней по схеме «спина-к-спине», что позволяет исключить из конструкции насоса устройство разгрузки ротора от осевой силы, рассчитанное на полный напор.

Обратные каналы в насосе BB3 формируются за счёт сменного элемента, который легко заменить в насосе. Обзор литера-

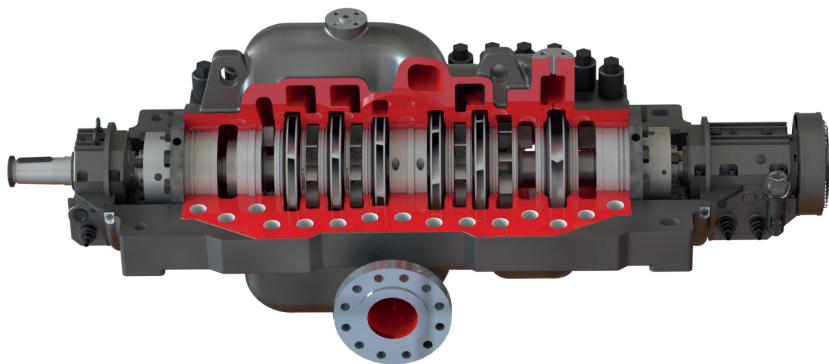


Рис. 2. Насос типа BB3

туры [2, 3] показал, что однозначных рекомендаций по проектированию лопаток в обратных каналах нет.

В данной статье приводится часть результатов исследования течения жидкости в промступени и показаны результаты с тремя вариантами лопаток в обратных каналах.

Методы исследования

Отработка рабочих органов центробежных насосов с целью повышения экономичности обычно на универсальном экспериментальном стенде процесс слишком затратный и не позволяет оценить взаимное влияние конструктивных элементов насоса. Поэтому в данном случае наиболее эффективным способом исследования является численный эксперимент (ЧЭ). В данной работе использовался программный продукт PumpLinx компании Simerics.

Модель для ЧЭ представлена на рисунке 3 – это 6-ти ступенчатый насос, элементы для исследования приведены на рисунке 4. При этом для всего насоса моделируются пазухи рабочих колёс (РК), щелевые уплотнения, задаётся шероховатости поверхностей. Таким образом данная модель позволяет получить достаточно точные результаты без дополнительных расчётов объёмных и механических потерь. В данной статье приведены результаты только для 5-ой промступени.

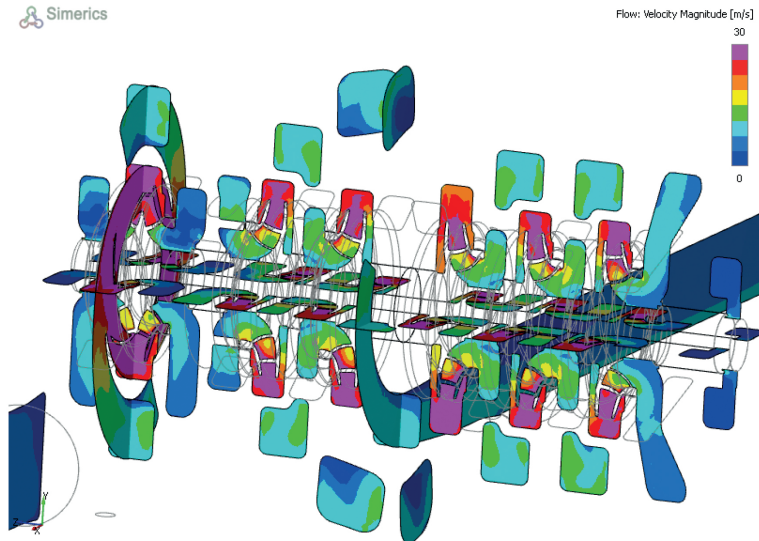


Рис. 3. Расчётная схема 6-ти ступенчатого насоса BB3

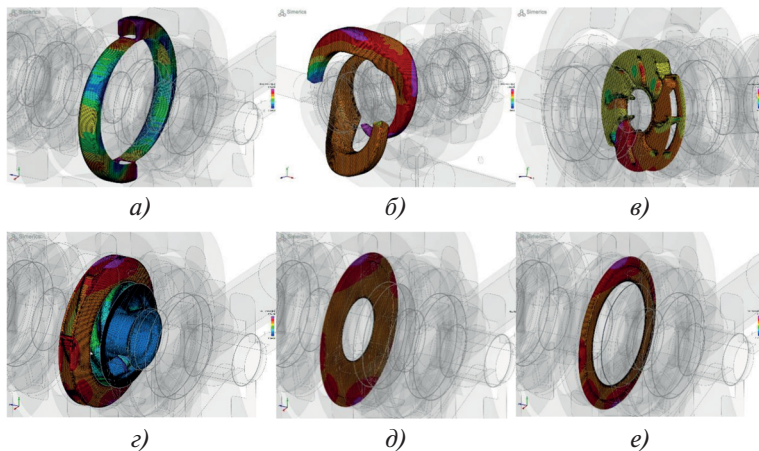


Рис. 4. Элементы проточной части:

- а) спиральные части отвода; б) переводные каналы промступени;
- в) обратные лопатки промступени; з) лопасти и внутренние диски РК;
- д) основной диск; е) покрывной диск

На входе задавалось давление 0 МПА, на выходе задавался расход. Расчёты проводились в нестационарной постановке при угловом шаге поворота 5° , т. к. эти результаты являются более корректными, исходя из опыта предыдущих работ и в сравнении с результатами, полученными на стендовых испытаниях. Были заданы следующие граничные условия: $n = 2950$ об/мин, $t = 20^\circ\text{C}$, $\rho = 998$ кг/м³. Число узлов в сетке для всей модели – 7,8 млн. Результаты ЧЭ приведён для 5-и подач: $0.75Q_{\text{ном}}$, $0.88Q_{\text{ном}}$, $Q_{\text{ном}}$, $1.13Q_{\text{ном}}$, $1.25Q_{\text{ном}}$.

Результаты исследования и обсуждение

Одним из элементов проточной части (ПЧ) насоса ВВЗ, влияющим на параметры и экономичность, является подводящий канал промежуточной ступени. Подводящие каналы в насосе ВВЗ формируются за счёт сменного элемента, который легко заменяется при ремонте насоса. Было разработано три варианта сменных элементов:

- 1-й – элемент с 6-ю длинными лопатками (рисунок 5, а);
- 2-й – элемент с 4-ми длинными лопатками (рисунок 5, б);
- 3-й – элемент с 2-ми длинными и 4-мя короткими лопатками (рисунок 5, в).

При анализе был рассмотрен поток в каналах подвода (рисунок 6) и перед НР (рисунок 7) и было выявлено оптимальное направление потока на лопатки в обратных каналах для 3-х вариантов подвода.

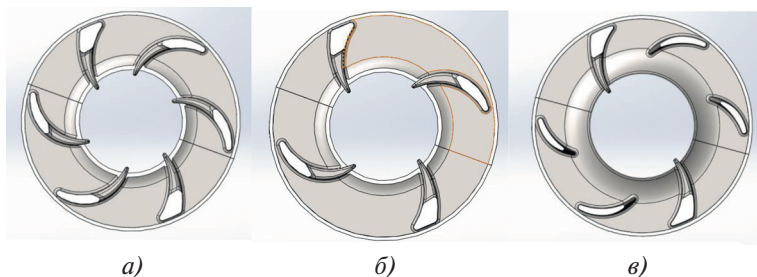


Рис. 5. Сменные элементы подводящих каналов

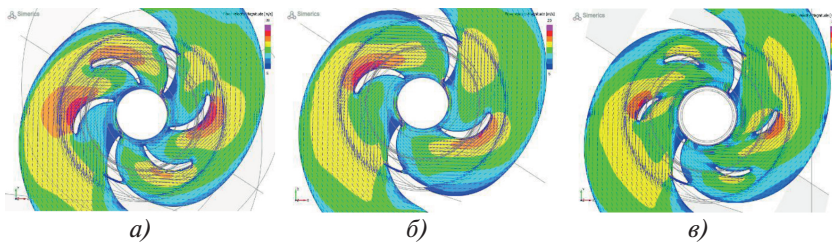


Рис. 6. Картины течения и распределения скоростей
подводящих каналах для $Q_{\text{НОМ}}$:
а) 1-й вариан; б) 2-й вариант; в) 3-й вариант

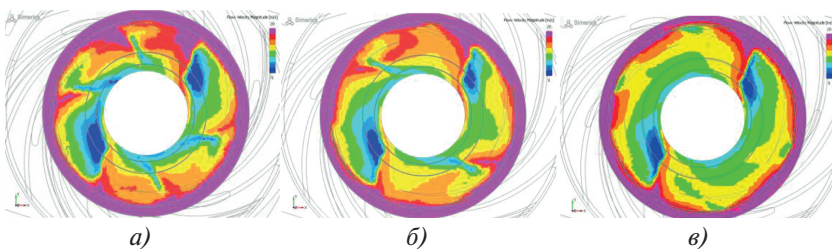


Рис. 7. Картины распределения скоростей перед РК для $Q_{\text{НОМ}}$:
а) 1-й вариан; б) 2-й вариант; в) 3-й вариант



Рис. 8. Углы потока от радиуса для 1-го варианта
($0.75 Q_{\text{НОМ}}$ – красная штриховая, $Q_{\text{НОМ}}$ – зелёная штрихпунктирная,
 $1.25 Q_{\text{НОМ}}$ – жёлтая точечная;
углы установки лопасти РК – черная сплошная)

Для оценки потока перед РК были построены углы потока течения жидкости от основного до покрывного диска (рисунок 8–10) для подач $0.75 Q_{\text{ном}}$, $Q_{\text{ном}}$, $1.25 Q_{\text{ном}}$, а также рассмотрен картина распределения скоростей перед РК.

Расчеты показали, что наилучшим подводящим элементом оказался вариант 3, имеющий две длинные и четыре короткие лопатки. Для него характерно минимальные потери в обратных лопатках (рисунок 11), а также кпд РК максимальное (94 %) за счёт

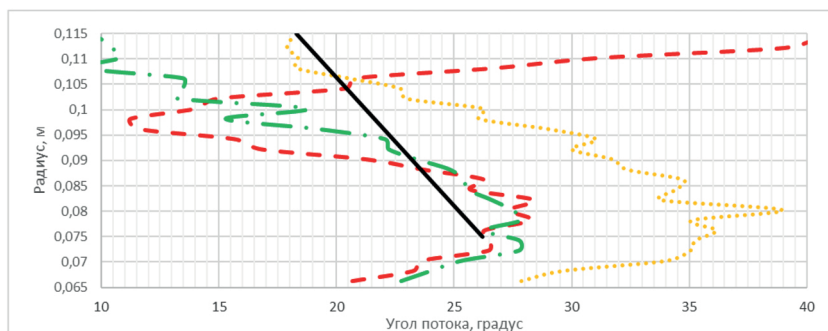


Рис. 9. Углы потока для 2-го варианта ($0.75 Q_{\text{ном}}$ – красная штриховая, $Q_{\text{ном}}$ – зелёная штрихпунктирная, $1.25 Q_{\text{ном}}$ – жёлтая точечная; углы установки лопасти РК – черная сплошная)

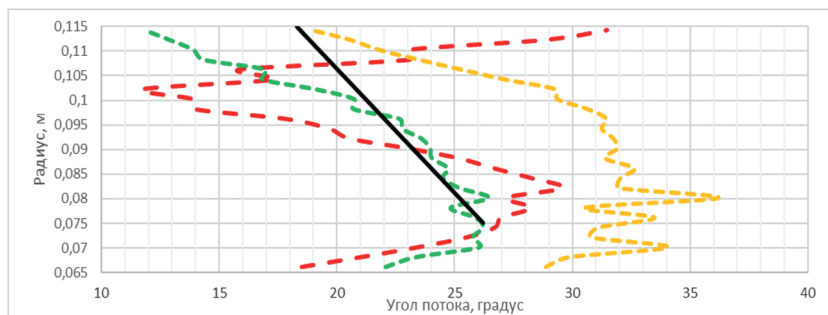


Рис. 10. Углы потока для 1-го варианта ($0.75 Q_{\text{ном}}$ – красная штриховая, $Q_{\text{ном}}$ – зелёная штрихпунктирная, $1.25 Q_{\text{ном}}$ – жёлтая точечная; углы установки лопасти РК – черная сплошная)

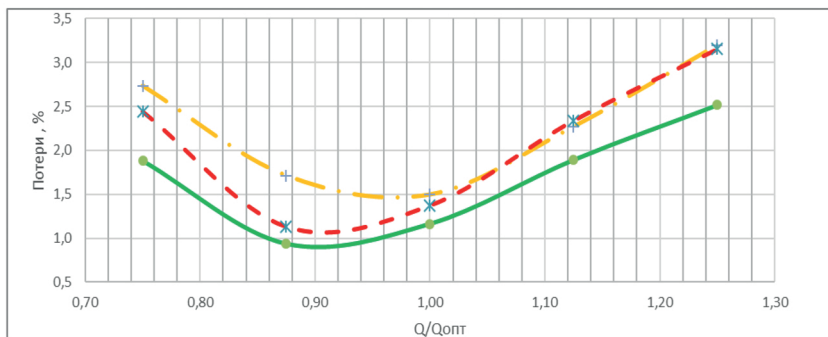


Рис. 11. Относительные гидравлические потери на лопатках подвода
 (1-й вариант – жёлтая штрихпунктирная,
 2-й вариант – красная штриховая,
 3-й вариант – зелёная сплошная)

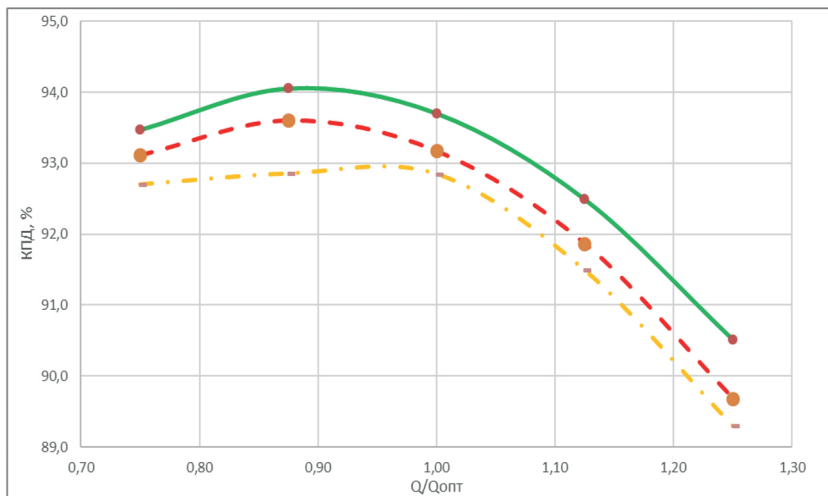


Рис. 12. КПД РК
 (1-й вариант – жёлтая штрихпунктирная,
 2-й вариант – красная штриховая,
 3-й вариант – зелёная сплошная)

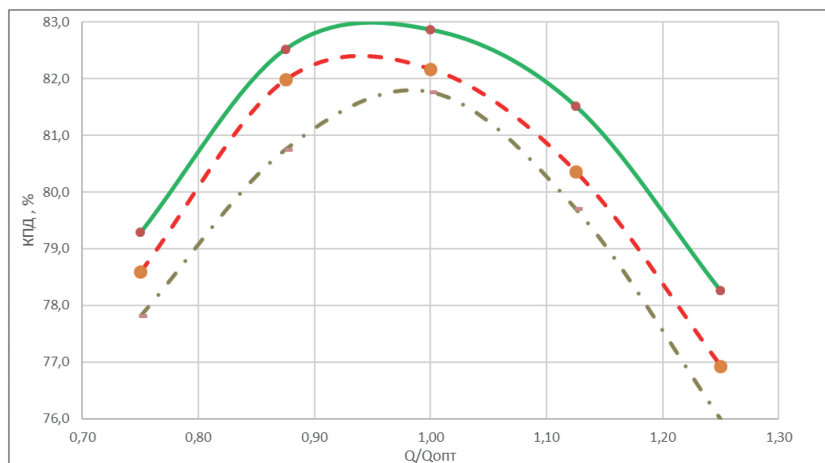


Рис. 13. КПД ступени
 (1-й вариант – жёлтая штрихпунктирная,
 2-й вариант – красная штриховая,
 3-й вариант – зелёная сплошная)

малых углов атаки на лопасти (рисунок 10). На рисунке 13 видно, что максимальный кпд ступени для 3-го варианта – 82,9 %, для варианта 1 – 81,8 %, для варианта 2 – 82,3 %. Таким образом разница между 2-м и 3-м вариантом составила 0,5 %. А между 1-м и 3-м вариантом – 1,2 %, что является хорошим показателем для сменного подводящего элемента

Заключение

Проведено сравнение 3-х вариантов подводящих элементов с различной геометрией лопаток. Показано, что предпочтительнее с точки зрения минимизации потерь в промступени насоса ВВЗ является сменный элемент 3-ий, за счёт следующего:

1. Минимальные гидравлические потери в подводящем элементе.
2. Минимальные углы атаки на лопасти РК.
3. Наиболее равномерное распределение скоростей на входе в РК.

4. Результаты показали, что КПД ступени для 3-го варианта выше от 1,2 до 1,8 % в сравнение с другими вариантами конструкции подводящих элементов, а максимальный КПД составил 82,9 %. Таким образом, гидравлическая эффективность разработанной ступени с 2-мя длинными и 4-мя короткими лопатками в обратных каналах сопоставимо с мировыми стандартами в насосостроении [2].

Список литературы

1. ГОСТ 32601-2013 «Насосы центробежные для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности. Общие технические требования» (модифицированный ISO 13709:2009). — М. : Стандартинформ, 2014. — 299 с.
2. **Gulich J. F.** Centrifugal Pumps. — Springer, 2010. — 964 с.
3. **Lobanoff V. S., Ross R. R.** Centrifugal Pumps. Design&Application. — Second Edition. — 1992. — 577 с.
4. **Руднев С. С.** Основы теории лопастных решеток. — М., 1976. — 78 с.