

**ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ОБЛИКА И
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ
НАСОСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА НЕФТИ**

*А.К. Давиденко, канд. техн. наук; В.К. Елин;
А.В. Елин, канд. техн. наук; В.В. Белов; А.Н. Перехрест
ОАО «ВНИИАЭН», г. Сумы*

ВВЕДЕНИЕ

Подпорные магистральные насосы устанавливаются в составе головных нефтеперекачивающих станций (НПС) с резервуарным парком с целью создания подпора для обеспечения бескавитационной работы основных магистральных насосов. В настоящее время на НПС, расположенных на территории стран бывшего СССР, в качестве подпорных на подачи свыше 1000 м³/ч используются горизонтальные насосы ряда НДсН, НМП и НГПН, а также вертикальные насосы типа НПВ и QLCM.

Средненапорные насосы ряда НДсН, разработанные еще 50 лет назад для обеспечения бескавитационной работы насосов типа НД, применявшихся в те годы на НПС в качестве основных магистральных, в наши дни эксплуатируются преимущественно на нефтепроводах, построенных до 1968 года [1]. На сегодня все насосы ряда НДсН за исключением модернизированных насосов 12НДс-Нм-Е и 14НДс-Н-Е, выпускаемых ОАО «Ливгидромаш», сняты с производства [2]. Ввод в эксплуатацию нефтяных магистральных насосов типа НМ потребовал увеличения напора подпорных насосов. С этой целью в 60-х годах прошлого века специалистами Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института атомного и энергетического насосостроения ВНИИАЭН (в то время Украинского филиала ВНИИГидромаш) был разработан типоразмерный ряд низкооборотных высоконапорных насосов типа НМП [3]. Многолетний опыт эксплуатации насосов НМП производства завода «Уралгидромаш» (г. Сысерть) выявил их основной недостаток, заключающийся в необходимости размещения в заглубленных зданиях подпорных НПС. В процессе строительства и эксплуатации таких объектов приходится выполнять сложную систему изоляции помещений от проникновения грунтовых вод, что приводит к значительным капитальным вложениям и эксплуатационным издержкам. Созданные в последние годы на базе НПО «Энергомаш» (г. Химки) насосы типа НГПН имеют по сравнению с насосами ряда НМП уменьшенные массогабаритные характеристики, увеличенную при подачах до 4000 м³/ч экономичность и повышенную всасывающую способность. Последнее, в ряде случаев, при увеличенных минимальных уровнях нефти в резервуарах позволяет устанавливать насосы на нулевой отметке [4].

В отличие от вышеперечисленных горизонтальных насосов вертикальные подпорные насосы предназначены для эксплуатации на открытых площадках и обычно устанавливаются непосредственно вблизи резервуаров. При этом исчезает необходимость строительства заглубленных подпорных НПС. Наибольшее распространение среди вертикальных подпорных насосов к настоящему времени получили насосы ряда НПВ, разработанные в 70-х годах прошлого века во ВНИИАЭН и до настоящего времени в больших количествах изготавливаемые ОАО «Уралгидромаш» [5]. На ряде нефтепроводов эксплуатируются вертикальные подпорные насосы типа QLCM производства фирмы Worthington, которые по конструкции подобны насосам типа НПВ [6, 7]. Основными недостатками

вертикальных подпорных насосов по сравнению с горизонтальными насосами являются сложности при проведении ремонтных работ. Кроме того, насосы ряда НПВ имеют пониженную надежность, особенно в части подшипниковых узлов.

Многолетний опыт эксплуатации нефтяных магистральных подпорных насосов свидетельствует о том, что наиболее перспективными направлениями их совершенствования следует считать:

- создание вертикальных насосов с повышенными потребительскими качествами;
- разработку горизонтальных насосов, не требующих заглубления относительно нулевой отметки и допускающих работу на открытых площадках.

Первый шаг в части горизонтальных подпорных насосов уже сделан. Развитие техники требует подобного и применительно к вертикальным подпорным насосам.

Ввиду этого целью данной статьи являются:

- формирование конструктивного облика высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения для магистрального транспорта нефти на основе анализа конструкций и опыта применения существующих насосов, очерчивания круга показателей качества для рассматриваемого типа насосного оборудования, формулировки современных требований к конструкции вновь создаваемых насосов;
- прогнозирование основных технических характеристик, достижимых в высокопроизводительных вертикальных подпорных насосах нового поколения для магистральных нефтепроводов.

В качестве аналогов для сравнения взяты насосы типа НПВ и QLCM.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Конструктивные схемы насосов типа НПВ и QLCM приведены на рис. 1а и рис. 1б соответственно.

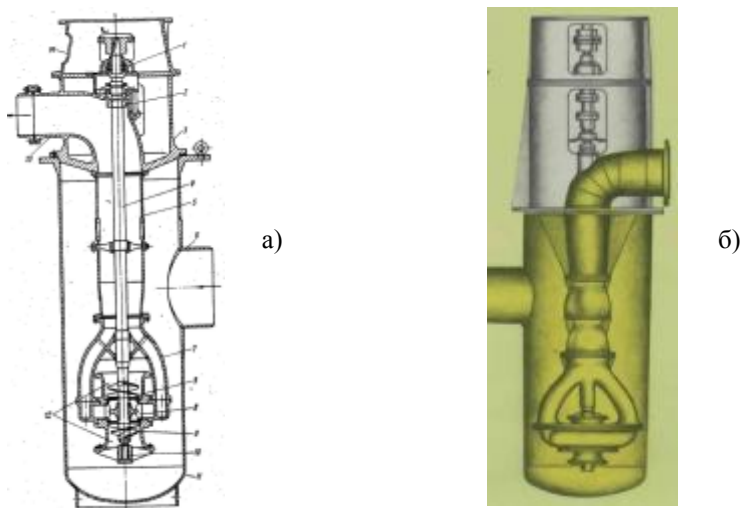


Рисунок 1 - Конструктивные схемы существующих высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов для транспорта нефти: а) типа НПВ [5]; б) типа QLCM [6]

Несмотря на внешнее конструктивное сходство, технико-экономические характеристики двух рассматриваемых типов насосов имеют ряд существенных отличий, которые продиктованы выбором различных частот вращения в качестве номинальной. Для примера в табл. 1 приведены основные технико-экономические характеристики насосов типа НПВ и QLСМ с подачей 5000 м³/ч.

Таблица 1 – Технико-экономические характеристики насосов типа НПВ и QLСМ с подачей 5000 м³/ч

Порядковый номер	Наименование характеристики	НПВ 5000-120	20QLСМ/2 [3]
1	Частота вращения, об/мин	1500	1000
2	Тип первой ступени	Шнеко-центробежная двухпоточная	Центробежная двухпоточная
3	Допускаемый кавитационный запас на номинальной подаче, м	5 (на оси всасывающего патрубка)	5 (на оси первого рабочего колеса)
4	Количество ступеней	1	2
5	Напор на номинальной подаче, м	120	115
6	КПД на номинальной подаче, %	85	84
7	Масса, кг	16700	26000
8	Высота, м	6960	8600

Как видно из табл. 1, при практически одинаковом уровне КПД расплатой за уменьшение в насосе НПВ 5000-120 по сравнению с насосом 20QLСМ/2 массы на 55% и длины на 25% является увеличение допускаемого кавитационного запаса на величину заглубления оси рабочего колеса под ось всасывающего патрубка, составляющую 1,5 м. Для насосов с номинальной подачей менее 5000 м³/ч картина идентичная, за исключением заметного проигрыша насосов НПВ с подачей 1250 и 2500 м³/ч своим аналогам в экономичности.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

Основные конструктивные недостатки насосов типа НПВ, выявленные при эксплуатации первой установочной серии, были устранены еще в 80-х годах прошлого века с привлечением специалистов ВНИИАЭН. При этом была повышена ремонтпригодность насосов путем обеспечения возможности замены торцового уплотнения без отсоединения электродвигателя, а также оптимизированы конструкции узлов подшипников качения и скольжения. Дальнейшее совершенствование насосов, заключавшееся в повышении ресурса работы подшипниковых и уплотнительных узлов, выполнялось в основном силами эксплуатирующих организаций с привлечением специализированных региональных научно-производственных предприятий. Малые модернизации насосов типа НПВ, выполненные конструкторскими службами ОАО «Уралгидромаш», ограничились лишь появлением варианта исполнения насосов с уменьшенной величиной заглубления рабочего колеса для оснащения НПС, имеющих повышенный минимальный уровень нефти в резервуарах [8]. В то же время

задекларированное в ТУ 26-06-1211-79 «Агрегаты электронасосные нефтяные подпорные вертикальные типа «НПВ» и ГОСТ 12124-87 «Насосы центробежные нефтяные для магистральных нефтепроводов» повышение с 1990 года экономичности насосов НПВ 1250-60 с 76 до 80% и НПВ 2500-80 с 82 до 84% на практике не реализовано, что приводит к повышенному энергопотреблению при эксплуатации насосов указанного типоразмера. Использование возможности 10-процентной обточки рабочего колеса по наружному диаметру зачастую оказывается недостаточным для удовлетворения сезонно возникающих потребностей изменения напора насосов.

В отличие от насосов ряда НПВ работа насосов типа QLCM с меньшими номинальными оборотами ротора определяет более высокую наработку на отказ, что подтверждается опытом эксплуатации.

КОМПЛЕКС ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Учитывая современные тенденции развития магистральных нефтепроводов как физико-технических систем, дальнейшее ужесточение нормативных требований в сфере энергосбережения и охраны окружающей среды, а также усиливающуюся нацеленность потребителей на минимизацию издержек, связанных с приобретением и эксплуатацией насосного оборудования на протяжении всего его жизненного цикла, можно сформулировать нижеследующий перечень показателей качества вертикальных подпорных насосов для магистральных нефтепроводов.

1 Энергоэффективность (ЭЭ). Для высокопроизводительных нефтяных подпорных насосов, работающих в постоянном режиме и потребляющих мощность более 400 кВт, критерии энергоэффективности в виде значения КПД на номинальном режиме и на границах рабочего диапазона являются одними из основных, определяющих качество насоса.

2 Надежность и долговечность (НД). Повышенные требования к надежности и долговечности работы узлов подпорных насосов магистральных нефтепроводов вызваны высокой стоимостью ремонтных работ, необходимостью эксплуатации по «безлюдной» технологии, а также значительными издержками в случае остановки нефтепровода при выходе из строя подпорных насосов.

3 Ремонтопригодность (Р). Зачастую жесткие климатические условия требуют сокращения времени на проведение технического обслуживания и плановых ремонтов вертикальных подпорных насосов, эксплуатируемых на открытых площадках. Кроме того, на НПС отсутствуют постоянные подъемно-транспортные механизмы требуемой при ремонтах вертикальных подпорных насосов грузоподъемности.

4 Всасывающая способность (ВС). Уменьшение всасывающей способности подпорных насосов позволяет повысить режимную эффективность функционирования всего нефтепровода.

5 Универсальность (У). Данный показатель подразумевает возможность эффективной эксплуатации насоса в широком диапазоне выходных характеристик по подаче, напору и всасывающей способности.

6 Взаимозаменяемость (ВЗ). Возможность использования уже имеющихся на НПС прямков и трубопроводной обвязки, а также установки выемных частей новых насосов в наружные корпуса наиболее распространенного типа насосов прошлого поколения позволяет эксплуатирующим предприятиям снизить капитальные издержки на обновление парка подпорных насосов.

7 Экологическая безопасность (ЭБ). Загрязнение почвы нефтью с последующим попаданием в грунтовые воды может быть причиной экологической катастрофы большого масштаба.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Многолетний опыт эксплуатации насосов типа НПВ и QJCM в составе магистральных нефтепроводов на территории стран СНГ указывает на то, что для максимального соответствия сформулированным выше показателям качества конструкция высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения должна удовлетворять следующим требованиям.

1 Применение проточных частей с высоким уровнем гидродинамического совершенства (требование ЭЭ).

2 Выбор в качестве номинальной частоты вращения ротора ее минимального значения, которое еще обеспечивает конкурентоспособность насоса по массогабаритным характеристикам (требование НД, ВС).

3 Использование многоступенчатой конструкции для возможности варьирования напором насоса в широких пределах как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, без существенного снижения экономичности (требование У).

4 Обеспечение возможности быстрого извлечения ротора насоса из наружного корпуса с минимальными потерями перекачиваемого продукта без отсоединения крышки от напорного трубопровода (требование Р, ЭБ).

5 Применение различных типов первых шнекоцентробежных ступеней в зависимости от величины требуемого кавитационного запаса при сохранении максимальной унификации (требование У, ВС, ЭЭ).

6 Минимизация массы насоса (требование Р).

7 Отказ от использования в качестве отводящего устройства спирального отвода, в котором имеет место несимметричность эпюр давления за рабочим колесом (требование НД).

Как известно, применение отвода с двухзавитковой спиралью должно обеспечить существенное снижение радиальной нагрузки на ротор по сравнению с однозавитковым исполнением. Однако расчеты для насосов типа НПВ свидетельствуют, что на режиме закрытой задвижки величина остаточной радиальной силы, действующей на ротор из-за несимметричности в распределении давления за рабочим колесом, может превышать 10000 Н.

8 Применение торцового уплотнения, конструкция которого в соответствии с требованиями стандарта API682 исключает возможность залпового выброса нефти при возникновении аварийной ситуации (требование ЭБ).

9 Взаимозаменяемость с насосами типа НПВ по присоединительным размерам в части внешних корпусов, трубопроводной обвязки и фундамента (требование ВЗ).

10 Использование предварительной очистки нефти, подаваемой в камеру торцового уплотнения и на подшипник скольжения (требование НД).

11 Минимизация влияния возможных несоосностей валов насоса и электродвигателя на вибрационное состояние системы валопровода, повышение ресурса работы соединительной муфты (требование НД, Р).

12 Использование в составе пар трения подшипника скольжения и торцового уплотнения новых износостойких антифрикционных материалов, имеющих приемлемые стоимостные показатели (требование НД).

13 Расширение диапазона работы по температуре окружающей среды в сторону низких температур для обеспечения работоспособности насосов в экстремальных климатических условиях Восточной Сибири и крайнего Севера (требование НД).

14 Варианты исполнения насоса (опции) по применяемым материалам в зависимости от нижнего предела температуры окружающей среды (требование У, НД).

Бытующий в последнее время тезис о «неприемлемости ведущими мировыми производителями насосного оборудования использования для повышения всасывающей способности насосов предвключенных осевых рабочих колес ввиду подверженности эрозии и узкого диапазона эффективной работы последних» представляется значительно преувеличенным, особенно в случае перекачивания нефти. Для подтверждения этого на рис. 2 приведены зависимости изменения от подачи критического кавитационного запаса шнекоцентробежной однопоточной ступени и центробежной ступени с рабочим колесом двустороннего входа, спроектированных на аналогичные параметры.

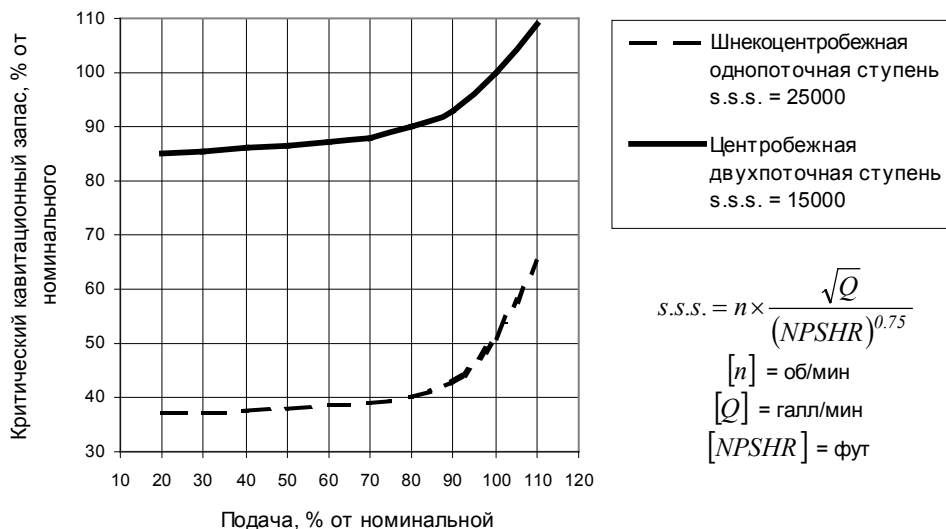


Рисунок 2 – Зависимость от подачи критического кавитационного запаса шнекоцентробежной однопоточной ступени и центробежной ступени с рабочим колесом двустороннего входа, спроектированных на аналогичные параметры [9]

Данные зависимости заимствованы из каталога фирмы Worthington, которая на протяжении многих лет наряду с насосами типа QLCM с успехом производит горизонтальные насосы марки HNI (HNI-DS) на базе однопоточной (двухпоточной) шнеко-центробежной ступени на подачу до 2500 м³/ч при частоте вращения до 3550 об/мин [9].

КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТА НЕФТИ

В соответствии с вышеприведенными требованиями специалистами ОАО «ВНИИАЭН» при участии специалистов ОАО «Сумский завод «Насосэнергомаш» и ООО «Управляющая компания «Гидравлические машины и системы» синтезировали конструкцию высокопроизводительного вертикального подпорного насоса нового поколения для магистральных нефтепроводов с целью реализации в рамках продуктовой программы «Нефтяные насосы». Полученный конструктивный облик насоса представлен на рис. 3.

Использование в составе первой ступени осевого предвключенного колеса обеспечивает высокую всасывающую способность насоса. Применение в качестве опции оригинальной шнекоцентробежной ступени с бустерным шнеком, разработанной и запатентованной ОАО «ВНИИАЭН», допускает максимальное повышение всасывающей способности насоса без дополнительного заглубления первой ступени [10].

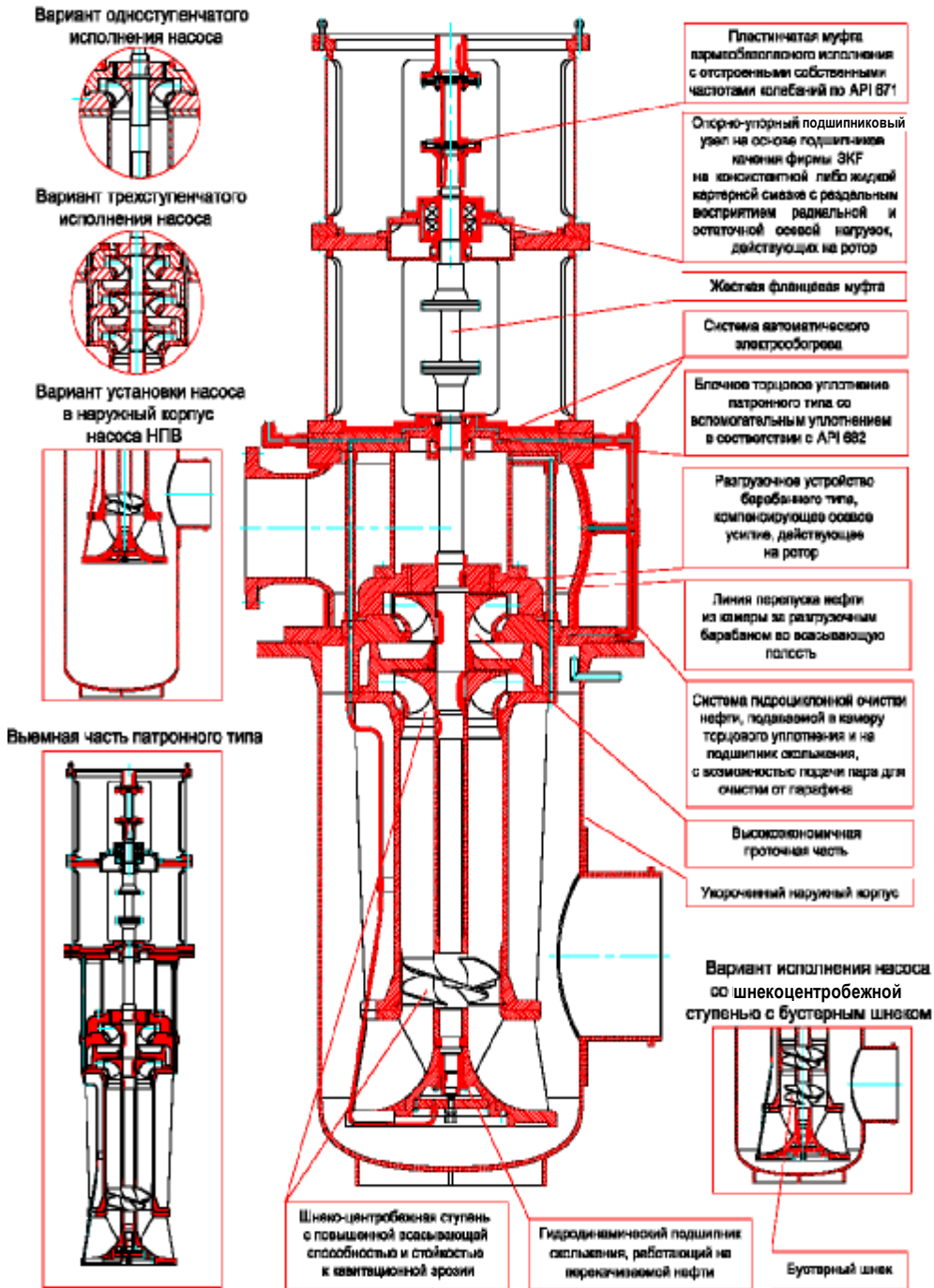


Рисунок 3 – Конструктивная схема высокопроизводительного вертикального подпорного насоса нового поколения для транспорта нефти

Применение упругой пластинчатой муфты, не требующей технического обслуживания и смазки, имеющей повышенные компенсирующие свойства и обладающей низкой виброактивностью, взамен втулочно-пальцевой либо зубчатой муфты, недостатком которых является неравномерный износ соответственно пальцев и зубьев, улучшает вибрационное состояние валопровода.

Удлиненная проставка муфты позволяет производить замену подшипников качения без демонтажа электродвигателя.

Исполнение опорно-упорного подшипникового узла состоящим из радиально-упорного шарикоподшипника для восприятия остаточной осевой силы, направленной вниз, и радиального шарикоподшипника, воспринимающего радиальную нагрузку и возникающую при опрессовке насоса осевую силу, направленную вверх, обеспечивает высокую долговечность.

Введение в состав валопровода жесткой фланцевой муфты допускает контроль работы и замену торцового уплотнения без снятия опорно-упорного подшипникового узла и демонтажа электродвигателя.

Использование разгрузочного устройства барабанного типа гарантирует высокую надежность. При этом, по предварительным расчетам, прогнозируемые объемные утечки через барабан составят не более 1% от номинальной подачи насоса.

Применение блочного торцового уплотнения со вспомогательным уплотнением исключает возможность залпового выброса нефти при выходе из строя основного уплотнения на время аварийной остановки насоса и его отсечения от магистрали. Патронный тип торцового уплотнения позволяет при необходимости легко и быстро произвести его замену.

Обеспечение высокого ресурса работы подшипника скольжения, работающего на перекачиваемой нефти, имеющей хорошие смазывающие свойства, возможно как за счет применения в составе пар трения твердосплавных вольфрамоникелевых и карбидосодержащих материалов (при решении вопросов, связанных с исключением возможности повреждения хрупких деталей пар трения при транспортировке), так и антифрикционных графитофторопластовых композиций. В то же время оценочные расчеты показывают, что при использовании гидроциклонной очистки нефти, подаваемой на подшипник скольжения, применение хорошо зарекомендовавшей себя в составе нижних подшипников скольжения крупных вертикальных конденсатных насосов пары трения «металлофторопластовый композиционный материал С-1-У по закаленной стали» гарантирует требуемую долговечность узла.

Предварительные расчеты валов насосов рассматриваемой конструкции на критику позволяют отказаться от применения в них промежуточных опор в виде подшипников скольжения. Наличие промежуточных опор затрудняет использование гидродинамического эффекта, развиваемого в щелях уплотнений рабочих колес, вводя неопределенность при перераспределении радиальной нагрузки по несущим элементам ротора. Прогобы длинных валов и неизбежные технологические погрешности, возникающие в процессе выполнения требований по обеспечению соосности расточек под подшипниковые опоры при изготовлении и проведении сборочно-монтажных работ, приводят к отрицательному влиянию промежуточных опор на динамику роторов существующих насосов. Указанное влияние может усугубляться при выполнении зазоров в нижнем и промежуточных подшипниках скольжения, одинаковых по величине.

Возможные материалы основных деталей насосов в зависимости от температуры окружающего воздуха приведены в табл. 2.

Дополнительно необходимо отметить, что при использовании двойного торцового уплотнения и подшипника скольжения гидростатического типа насос рассматриваемой конструкции может быть использован для перекачивания автомобильных бензинов, керосина и дизельного топлива.

Таблица 2 – Возможные материалы основных деталей высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения для магистральных нефтепроводов

Наименование	Материалы		
	Минимально возможная температура окружающего воздуха при эксплуатации насосов, °С		
	-40	-50	-60
Корпус наружный (сварной)	16ГС, 17ГС	14Г2АФ, 14Г2САФ	Лист 09Г2С, 10Г2С1
Крышка напорная (сварно-литая)	Отливка 20Л (нормализация с последующим отпуском)	20ГСЛ, 20ХНЗЛ	Отливка 20ХНЗЛ
Вал	35ХМ	38ХНЗМА	18Х2Н4МА, 20Х2Н2М
Колесо рабочее	20Х13	20Х13НЗЛ	20Х13НЗЛ
Аппарат направляющий	20Х13	20Х13	20Х13

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДОСТИЖИМЫЕ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОДПОРНЫХ НАСОСАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ
 Возможность одно-, двух- и трехступенчатого исполнения насоса нового поколения позволяет существенно расширить поле «напор-подача» по сравнению с насосами ряда НПВ (рис. 4).

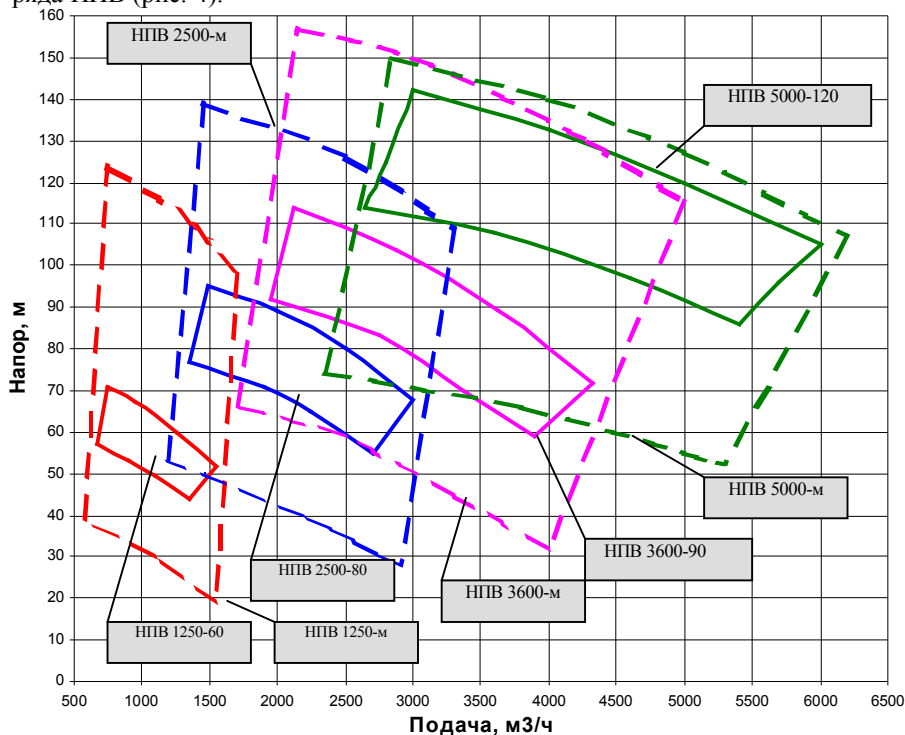
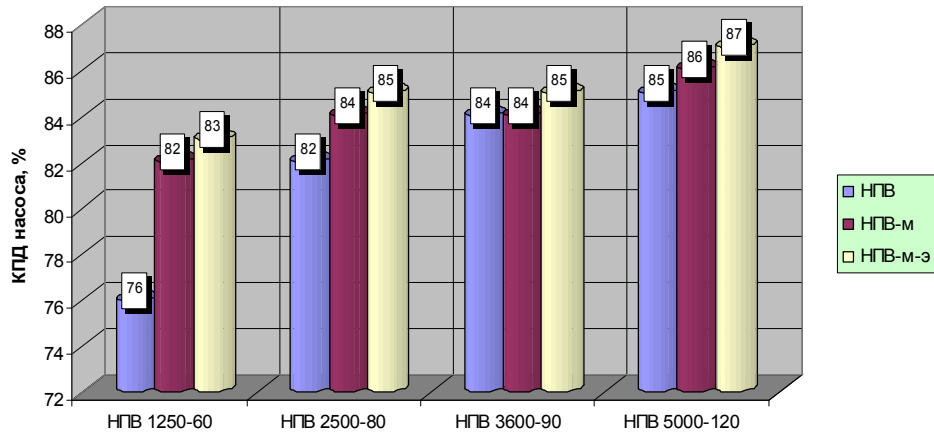
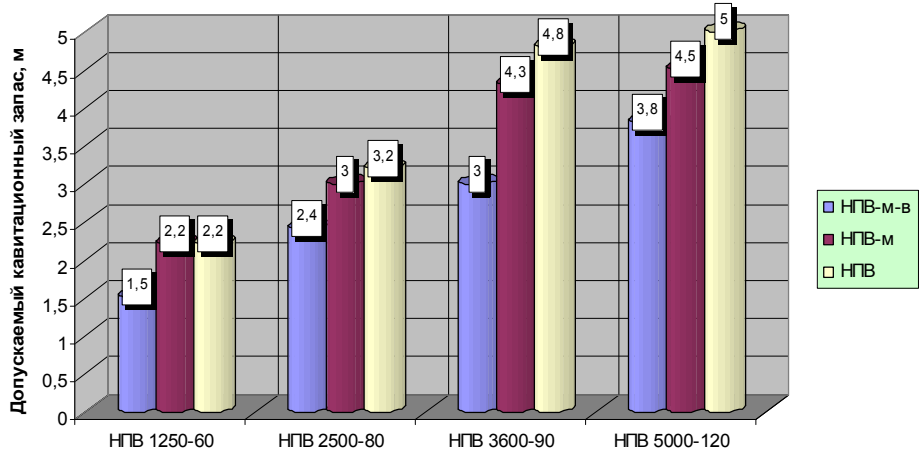


Рисунок 4 – Совмещенные поля «напор-подача» для высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов типа НПВ (ТУ 26-06-1211-79 «Агрегаты электронасосные нефтяные подпорные вертикальные типа «НПВ», сплошной линией) и насосов нового поколения (прогноз, пунктирной линией)

Повышение КПД



Повышение всасывающей способности



Повышение показателей надежности

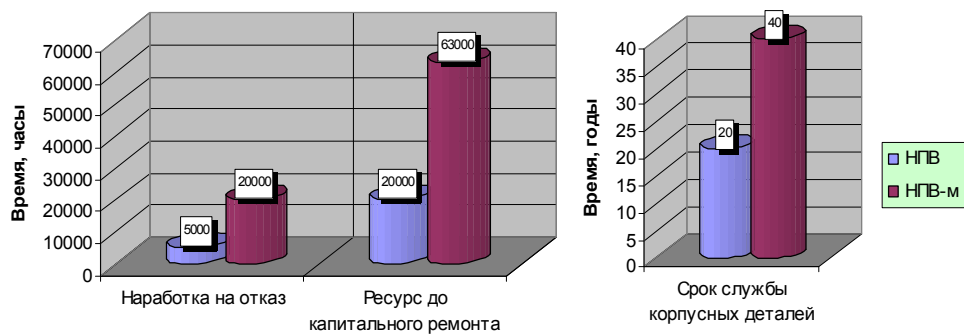


Рисунок 5 – Технические характеристики, достижимые в высокопроизводительных вертикальных подпорных насосах нового поколения

для транспорта нефти: НПВ-м - насос с кольцевым отводом; НПВ-м-э - насос со спиральным отводом; НПВ - м-в - насос с первой ступенью по [10]

Прогнозируемые показатели технической и энергетической эффективности, а также показатели надежности высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения, реально достижимые при использовании теоретических и экспериментальных наработок оао «внииаэн», приведены на рис. 5.

ВЫВОДЫ

1 Высокопроизводительные вертикальные подпорные насосы, применяемые в настоящее время на магистральных нефтепроводах стран бывшего СССР, морально устарели и не отвечают современным требованиям, предъявляемым эксплуатационниками.

2 На основе анализа конструкции и опыта применения на НПС существующих подпорных насосов определены основные показатели качества и сформулированы первоочередные требования, которым должна удовлетворять конструкция высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения.

3 Сформирован конструктивный облик высокопроизводительного вертикального подпорного насоса нового поколения.

4 Спрогнозированы основные технические характеристики нефтяных вертикальных подпорных насосов нового поколения на подачу 1250 – 5000 м³/ч.

5 Показано, что создание типоразмерного ряда высокопроизводительных вертикальных подпорных насосов нового поколения для магистральных нефтепроводов является целесообразным и практически осуществимым в короткий срок с использованием многолетних наработок ОАО «ВНИИАЭН».

SUMMARY

Problems concerning development of new generation standard size series of vertical booster pumps with high efficiency for main oil pipelines were considered in the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учебник для вузов / А.М. Шаммазов, В.Н. Александров, А.И. Гольянов и др. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2003. – 404 с.
2. ОАО «Ливгидромаш»: Каталог насосов для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей. – 2005. – 60 с.
3. Харламенко В.И., Голуб М.В. Эксплуатация насосов магистральных нефтепродуктопроводов. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
4. Квасов Г.Г. Состояние и перспективы производства нефтяного подпорного насоса нового поколения // Труды III Международной научно-технической конференции СИНТ'05 (19-23 сентября 2005г., г. Воронеж). – Воронеж, 2005. – С. 211 – 215.
5. Колпаков Л.Г., Рахматуллин Ш.И. Кавитация в центробежных насосах при перекачке нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1980. – 143 с.
6. Worthington vertical centrifugal, double suction pumps. – Worthington. – 1984. – 8 pp.
7. FLOWSERVE: Каталог насосного оборудования / Bulletin FPD-100 (R) - Flowsolve Corporation – 2005. – 85 с.
8. ОАО «Уралгидромаш»: Насосы и гидротурбины (каталог продукции). – 2005. – 32 с.
9. Centrifugal pumps HNI-DS, inducer type / WM-2149-B1(E). - Worthington. - 1988. – 6 pp.
10. Заявка 2005105670/22 (007073) Российская Федерация, МПК⁷ F04D/29/66. Шнеко-центробежный насос и шнеко-центробежная ступень этого насоса / В.П. Авдеенко, Г.В. Визенков, В.М. Жуков, В.А. Куценко, Ю.Н. Скрынник; заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИИАЭН»; Заявл. 01.03.2005; Приоритет 25.01.2005, №200500655(UA).

Поступила в редакцию 27 июля 2006 г.