

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СВОБODNOBIXPEBЫX НАСОСОВ ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА КРУПНЫХ ЛЕГКОПОВРЕЖДАЕМЫХ ПРОДУКТОВ

И. А. Ковалев, канд. техн. наук, профессор;
А. С. Мандрыка, канд. техн. наук, доцент;
С. В. Сапожников, канд. техн. наук, доцент,
Сумской государственной университет, г.Сумы

Рассмотрено несколько нетрадиционных конструктивных схем свободновихревых насосов для гидротранспорта крупных легкоповреждаемых продуктов. Отмечены характерные особенности рассмотренных схем, их преимущества и недостатки. На основании проведенного сравнительного анализа определены две наиболее перспективные схемы как с точки зрения потерь энергии, так и поврежденной транспортируемых продуктов.

Ключевые слова: свободновихревой насос, гидротранспорт, повреждение транспортируемого продукта, энергетические потери.

Розглянуто кілька нетрадиційних конструктивних схем вільновихрових насосів для гідротранспорту великих продуктів, що легко пошкоджуються. Відзначено характерні особливості розглянутих схем, їх переваги та недоліки. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено дві найбільш перспективні схеми як з точки зору втрат енергії, так і пошкодження продуктів, що транспортують.

Ключові слова: вільновихровий насос, гідротранспорт, пошкодження продукту, що транспортується, енергетичні втрати.

ВВЕДЕНИЕ

Специфические условия эксплуатации предопределили ряд особенностей свободновихревых насосов (СВН) для гидротранспорта крупных легкоповреждаемых продуктов: перерасширенные каналы проточной части, компромиссная форма лопастей рабочего колеса (р. к.) и свободной камеры, специальные защитные устройства перед р. к. для исключения контакта транспортируемого продукта с вращающимися лопастями и др.

В отечественной технической литературе отсутствуют данные об использовании СВН для подобных целей, за исключением отдельных публикаций [1, 2, 3]. Зарубежные источники информации содержат в основном теоретический и экспериментальный материал, касающийся влияния геометрии проточной части СВН на внешние характеристики [4, 5]. Публикации, посвященные исследованию поврежденной транспортируемого продукта, вообще не встречаются. Отсюда сложность задачи создания СВН, обеспечивающего минимальные повреждения транспортируемого продукта и имеющего высокие энергетические показатели.

В целях решения задачи были проанализированы несколько перспективных, на наш взгляд, конструктивных схем СВН: традиционная схема СВН со сглаженными лопастями р. к., схема с вращающимся защитным диском, двухвальный СВН с параллельным расположением валов, двухвальный свободновихревой насос с соосным расположением валов и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Свободновихревой насос со сглаженными лопастями рабочего колеса. Особенности этой конструктивной схемы СВН (рис. 1)

являются: увеличенный радиус скругления R проточной части в области входа в свободную камеру, максимальное скругление "языка" кольцевого (спирального) отвода, сглаженный профиль лопастей р. к. Отмеченные особенности призваны уменьшить повреждение транспортируемого продукта при прохождении его через насос.

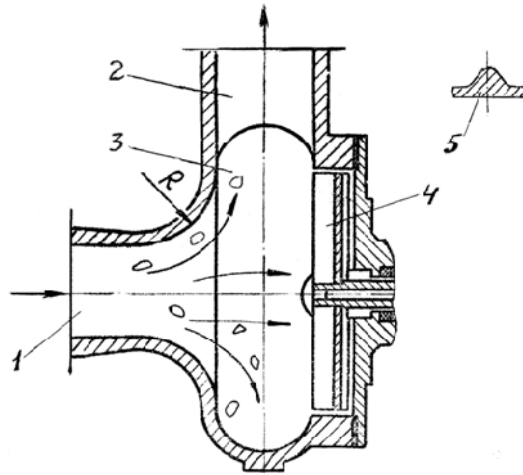


Рисунок 1 – Свободновихревой насос со сглаженными лопастями рабочего колеса: 1 - вход; 2 - выход; 3 - свободная камера; 4 - рабочее колесо; 5 - профиль лопасти рабочего колеса

Это достигается следующим образом: транспортируемый продукт (или перекачиваемая гидросмесь), перемещаясь по входному патрубку, попадает в зону скругления R , где подвергается воздействию интенсивного циркуляционного вихря, создаваемого вращающимся р. к. (интенсивность вихря нарастает с увеличением радиуса). Под действием этого вихря продукт перемещается на периферию канала и движется по его поверхности в направлении свободной камеры и далее к выходу, минуя р. к. Перемещению продукта на периферию способствует замедление осевого течения гидросмеси в зоне скругления, поскольку увеличивается площадь живого сечения потока. Таким образом, скругленный участок проточной части выполняет роль своеобразного сепаратора. В результате уменьшается вероятность попадания транспортируемого продукта на лопасти р. к. и, как следствие, уменьшается его повреждение.

Но все же часть продукта достигает р. к., и поэтому, чтобы избежать его повреждения вращающимися лопастями, применен специальный, сглаженный профиль лопасти колеса [6] (см. рис.1).

Немалую роль в повреждении продукта при прохождении через насос играет скругление проточного канала в области так называемого "языка" отвода. Причем, чем меньше радиус скругления r "языка", тем больше повреждение продукта. Поэтому в данной схеме "язык" выполнен максимально скругленным, т. е. с возможно большим r .

Следует отметить, что указанные выше особенности конструктивной схемы отрицательно сказываются на энергетических качествах СВН. Сказанное частично подтверждают промышленные испытания опытных образцов свеклонасосов [2].

Свободновихревой насос с защитным устройством (рис. 2). Защитный диск и обтекатель жестко закреплены на роторе насоса и вращаются

синхронно с ним. Обтекатель и защитный диск смещены друг относительно друга на расстояние S (см. рис. 2).

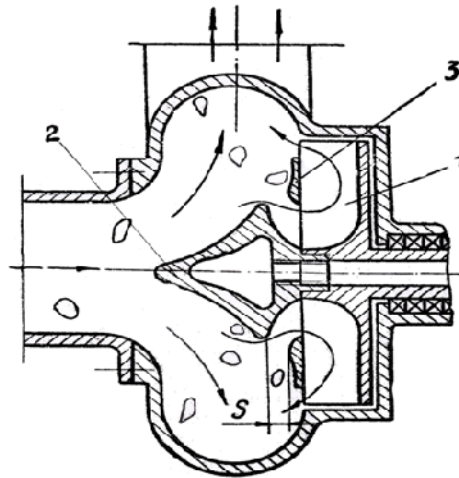


Рисунок 2 - Свободновихревой насос с защитным устройством:
1 – рабочее колесо; 2 – обтекатель; 3 – защитный диск

При работающем СВН перекачиваемая гидросмесь, поступающая из входного патрубка, попадает на поверхность обтекателя и движется по ней к периферии. При этом она совершает вращательное движение вокруг оси насоса. Вследствие действия центробежных сил транспортируемый продукт проходит зону между обтекателем и защитным диском, не меняя своего направления движения, т. е. по инерции. Далее транспортируемый продукт подхватывается циркуляционным вихрем и выносится в выходной патрубок. Рабочая жидкость, отделяясь от общего потока гидросмеси, поступает в р. к. Следовательно, продукт не попадает на лопасти р. к., а значит, повреждение его будет намного меньше.

Повреждение транспортируемого продукта о поверхности обтекателя и защитного диска практически отсутствует, т. к. они выполнены гладкими и без щелей.

Казалось бы, существует опасность повреждения транспортируемого продукта вращающимися лопастями на периферии колеса, где они не защищены диском. Однако этому препятствует поток жидкости, выходящий из р. к. и направленный в сторону свободной камеры. Такое утверждение согласуется с выводами работы [5].

Важно подчеркнуть следующее. Геометрические размеры обтекателя и защитного диска, их конфигурация, а также величина осевого расстояния S выбираются экспериментально, исходя из предъявляемых к конкретному СВН по к.п.д. и степени повреждения транспортируемого продукта.

Вместе с тем, еще до эксперимента можно руководствоваться некоторыми соображениями, вытекающими из анализа рабочего процесса СВН. Так, форма обтекателя должна быть таковой, чтобы меридианный поток, его обтекающий, не слишком отклонялся от осевого направления. В противном случае будет затруднен подвод жидкости р.к. И еще, защитный диск необходимо располагать в центральной части меридианного вихря, образованного лопастной системой р. к. [5].

Недостатком описанной конструктивной схемы является сравнительно невысокий к.п.д., обусловленный присутствием защитных устройств.

Свободновихревой насос с вращающейся жидкостной "подушкой". Для этой конструктивной схемы (рис. 3) характерны полые лопасти, снабженные системой отверстий. Отверстия выполнены в торцах лопастей, обращенных к свободной камере.

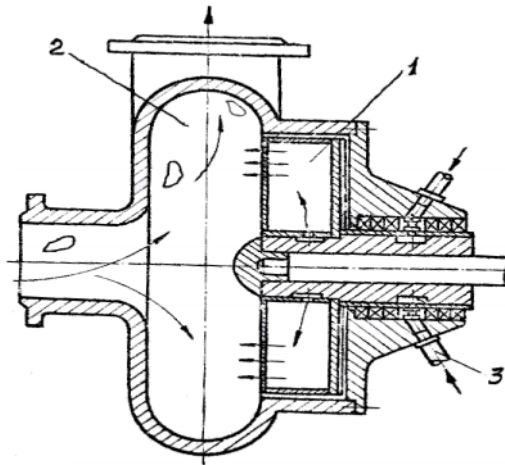


Рисунок 3 – Свободновихревой насос с вращающейся жидкостной подушкой: 1 – рабочее колесо; 2 – свободная камера; 3 – подвод жидкости от постороннего источника

В процессе работы СВН струи высокого давления, выходящие из отверстий, противодействуют движению транспортируемого продукта в направлении р. к. Образуется как бы вращающаяся жидкостная "подушка", смягчающая либо полностью исключающая контакт продукта с лопастями р. к.

Энергия струй создается за счет центробежного эффекта вращающихся объемов жидкости в полых лопастях, вращения винтовых каналов во втулке (выполнены навстречу вращению р. к. и работают как винтовой насос) и энергии, получаемой от постороннего источника.

В некоторых случаях в зависимости от количества и расположения отверстий энергии вытекающих струй может быть достаточно для повышения напора насоса. Что касается к.п.д., то он, видимо, будет несколько ниже в сравнении с СВН обычного исполнения (из-за неудобообтекаемой формы лопастей). Последнее следует отнести к недостаткам рассматриваемой конструктивной схемы. К недостаткам также причислить ее сравнительную сложность и необходимость иметь посторонний источник среды высокого давления.

Насос с полым обтекателем на входе. Особенностью данной конструктивной схемы (рис. 4) является наличие перед р. к. неподвижного полого обтекателя, простирающегося во входной патрубке насоса. Обтекатель в своей цилиндрической части выполнен со сквозными продольными отверстиями для подвода рабочей жидкости (без транспортируемого продукта) к р. к. и расположен на расстоянии L от р. к.

При работе СВН рабочая жидкость по внутреннему каналу обтекателя поступает в р. к., где получает приращение энергии. Затем попадает в вихревую свободную камеру и смешивается с основным потоком перекачиваемой гидросмеси. В процессе смешивания рабочая жидкость передает часть энергии потоку гидросмеси, обеспечивая его движение в выходной патрубке и далее напорный трубопровод. Таким образом, обтекатель своей наружной поверхностью предохраняет

транспортируемый продукт от контакта с вращающимися лопастями р. к., тем самым исключая и уменьшая его повреждение.

Величина L устанавливается экспериментально в результате компромисса между гидравлическими качествами СВН и степенью повреждения транспортируемого продукта. Малое L ведет к снижению интенсивности вихря в свободной камере, а следовательно, падению напора и к.п.д. насоса. При большом L транспортируемый продукт попадает на лопасти р.к. и там повреждается.

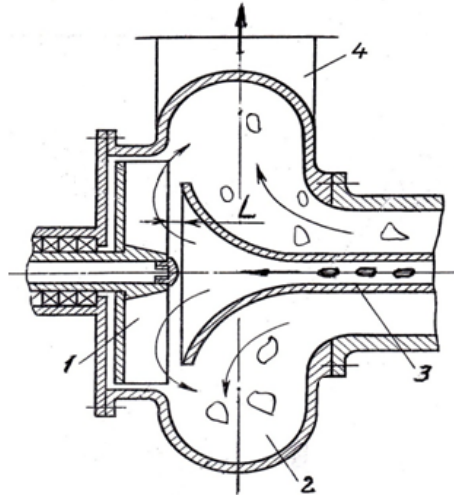


Рисунок 4 – Свободновихревой насос с полым обтекателем на входе:
1 – рабочее колесо; 2 – свободная камера; 3 – полый обтекатель;
4 – выходной патрубок

Конструктивная схема вертикального СВН с тангенсальным подводом гидросмеси в свободную камеру. В рассматриваемой схеме (рис. 5) входной патрубок насоса расположен под углом к плоскости симметрии А-А свободной камеры (в этом – особенность конструктивной схемы). Рабочее колесо – обычного исполнения. Такая схема СВН имеет два преимущества.

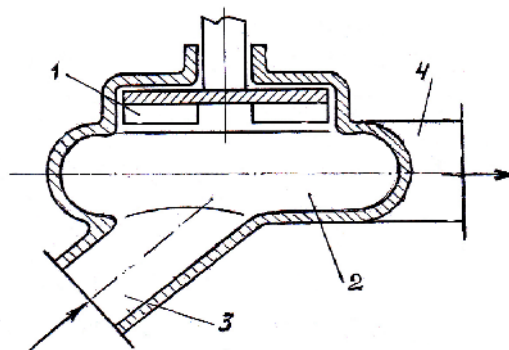


Рисунок 5 – Свободновихревой насос с тангенсальным подводом:
1 – рабочее колесо; 2 – свободная камера; 3 – подвод; 4 – отвод

Во-первых, она заставляет работать в положительную сторону силы тяжести, действующие на транспортируемый продукт. Под действием этих сил компоненты продукта в основном сосредотачиваются в нижней

части свободной камеры, откуда подхватываются циркуляционным вихрем и уносятся в выходной патрубок, не соприкасаясь с р. к.

Во-вторых, для компонентов, достигших р. к., имеет место косое соударение с вращающимися лопастями, что также благоприятно влияет на повреждение транспортируемого продукта (по сравнению с прямым соударением, характерным для СВН обычного исполнения).

К преимуществам данной конструктивной схемы СВН следует отнести также то, что по своим энергетическим показателям она не уступает свободновихревым насосам обычного исполнения.

Схема двухвального СВН с соосным расположением валов. В данной конструктивной схеме (рис. 6) два рабочих колеса выполнены одинаковыми и вращаются в одну сторону вокруг общей оси (оси насоса). Подводящий и отводящий патрубки расположены перпендикулярно оси насоса. Причем подводящий патрубок простирается далеко, вглубь свободной камеры, так что выходное сечение совпадает с осью вращения СВН.

При таком расположении подводящего патрубка рабочая жидкость на выходе из него отделяется от общего потока гидросмеси и поступает в зону пониженного давления в центральной части р.к. Формирующиеся рабочими колесами осесимметричные циркуляционные вихри смешиваются в свободной камере с основным потоком гидросмеси, передают ему часть своей энергии и увлекают в отводящий патрубок.

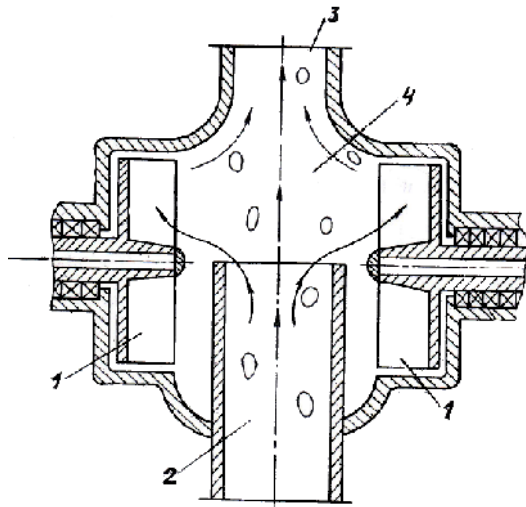


Рисунок 6 – Двухвальный свободновихревой насос с соосным расположением валов: 1 – рабочее колесо; 2 – подвод; 3 – отвод; 4 – свободная камера

Твердые компоненты гидросмеси, обладающие большим удельным весом, чем рабочая жидкость, а следовательно, и большей инерцией, не отклоняются в сторону р. к. на выходе из подводящего патрубка, а движутся в направлении его оси к отводящему патрубку. Таким образом, легкоповреждаемые компоненты попадают в отводящий патрубок, пройдя через свободную камеру, не совершая в ней вращательного движения и не контактируя с р. к. Это приводит к существенному снижению повреждения транспортируемого продукта и износу лопастей.

Идентичность рабочих колес позволяет создать в свободной полости два циркуляционных вихря равной интенсивности и тем самым избежать

отклонения частиц продукта в сторону того либо другого р. к. и попадания их на вращающиеся лопасти.

Анализ рабочего процесса СВН показывает, что смещение выходного сечения подводящего патрубка в сторону выхода или входа насоса может привести к тому, что она окажется в зоне повышенного давления, и поступление гидросмеси в СВН прекратится. Наиболее благоприятное местонахождение выходного сечения подводящего патрубка определяется экспериментально, исходя из скорости потока в подводящем патрубке, интенсивности вращательного движения в свободной камере, веса транспортируемого продукта, размеров проточной части насоса и др.

Недостатком конструктивной схемы являются увеличенные гидравлические потери, вызванные торможением потока сильно выдвинутым в свободную камеру подводящим патрубком.

Схема двухвального СВН с параллельным расположением валов.

Рассматриваемая конструкция (рис. 7) содержит два одинаковых р. к., синхронно вращающихся на двух параллельно расположенных валах. Колеса вращаются в противоположные стороны. Подводящий и отводящий патрубки имеют общую ось. Расстояние h от выходного сечения подводящего патрубка до оси расположения рабочих колес $I-I$ примерно равно половине радиуса R кольцевой свободной камеры.

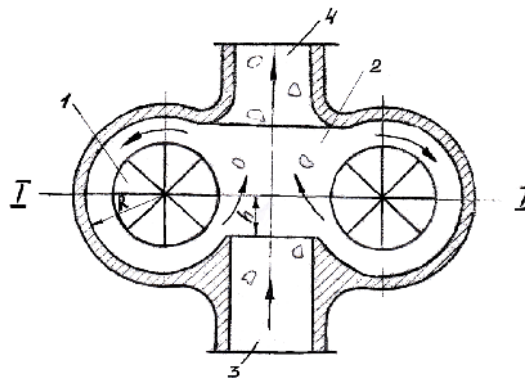


Рисунок 7 – Двухвальный свободновихревой насос с параллельным расположением валов: 1 – рабочее колесо; 2 – свободная камера; 3 – подвод; 4 – отвод

В рассматриваемом насосе перемещение гидросмеси происходит под воздействием двух циркуляционных вихрей одинаковой интенсивности, которые образуются двумя рабочими колесами. Компоненты транспортируемого легкоповреждаемого продукта под воздействием этих вихрей и в силу инерции (если они обладают большим удельным весом в сравнении с рабочей жидкостью) преимущественно движутся к выходному патрубку, минуя р. к. Тем самым исключается возможность их вращения в свободной камере и контакт с лопастями р. к., а, следовательно, уменьшается повреждение.

Данная конструкция обеспечивает высокие гидравлические показатели по к.п.д., напору. Она обладает также повышенной всасывающей способностью. Последняя объясняется наличием эжекционного эффекта в зоне слияния (на выходе из подводящего патрубка) вращающихся навстречу друг другу циркуляционных потоков.

К недостаткам конструкции можно отнести некоторое ее усложнение в сравнении с традиционными схемами СВН с одним вращающимся валом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа конструктивных схем свободновихревых насосов можно заключить, что наиболее предпочтительным с точки зрения к.п.д. и степени повреждения транспортируемых легкоповреждаемых продуктов являются:

1) схема двухвального исполнения СВН с соосным расположением валов;

2) схема СВН с вращающейся жидкостной "подушкой".

В то же время следует подчеркнуть, что окончательный ответ на вопрос выбора оптимальной конструктивной схемы может дать только специально поставленный физический эксперимент на полноразмерных моделях либо натуральных образцах СВН (т. к. степень повреждения транспортируемого продукта не поддается модельному пересчету).

SUMMARY

ANALYSIS OF STRUCTURAL CHARTS OF VORTICAL PUMPS FOR HUDRAULIC CONVEYING OF LARGE BREAKABLE PRODUCTS

*Kovalev I. A., Mandrika A. S., Sapojnikov S.V.,
Sumy State University, Sumy*

A few unconventional structural charts of vortex pumps for hydraulic conveying of large breakable products are considered. The characteristic features of the considered charts, their advantages and disadvantages are marked. On the basis of the conducted comparative analysis two most perspective charts were detected (from the point of view of losses of energy and damages of the transported products).

Key words: free-vortex pump, hydraulic transport, damage of the delivered product, energy loss.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандрыка А. С. Влияние профиля лопаток рабочего колеса свободновихревого насоса на его характеристики / А. С. Мандрыка, В. А. Новак и др. // Респуб. межвед. научно-технич. сб. "Гидравлические машины". – Харьков: Изд-во "Висш. школа", 1989. - Вып. 23.
2. Мандрыка А. С. Повышение энергетических качеств свободновихревого насоса для гидротранспорта крупногабаритных легкоповреждаемых включений / А. С. Мандрыка // Тезисы докладов научн.-технич. конференции. – Сумы: СФТИ, 1991.
3. Ковалев И. А., Мандрыка А. С. и др. Свободновихревой насос. А.с. СССР, № 1551824, кл. F04D 7/04, 1989.
4. Скивли Г. П., Дюссер Я. Л. Теоретическое и экспериментальное исследование вихревого насоса. Труды АОИМ, Серия Д, № 4, 1970.
5. Корбутовский А. А. Исследование влияния предохраняющих устройств на параметры свободновихревого насоса / А. А. Корбутовский // Экспресс-информация. Серия ХМ-4. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1977. - № 8.
6. А.с. № 1435846 СССР, кл. F04D 29/18, 1988. Рабочее колесо свободновихревого насоса.

Поступила в редакцию 25 ноября 2011 г.