

Лекция 5 Гидродинамические машины. Основные технические характеристики

5.1 Основные сведения о гидродинамических машинах

Гидромашины, у которых преобразуемый напор (гидравлическая энергия) главным образом состоит из приращения скоростного и пьезометрического напоров, называют гидродинамическими. Если в процессе работы гидромашин механическая энергия вращения преобразуется в гидравлическую энергию потока жидкости, то такие машины называют насосами, если же наоборот, то гидродвигателями (турбинами) (рисунок 5.1).

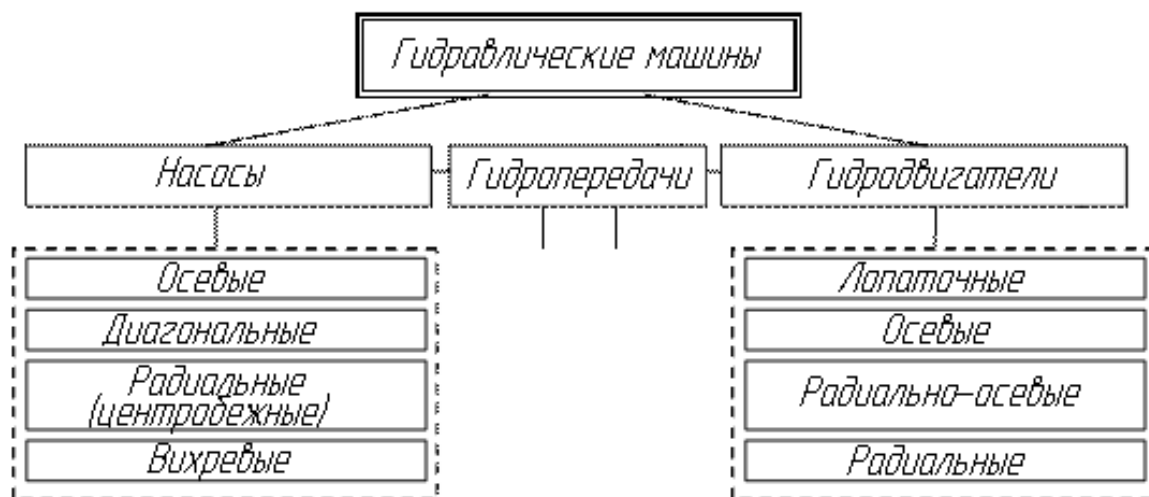


Рисунок 5.1 – Виды гидродинамических машин

Центробежный насос был предложен Дени Папеном в 1689 году, затем независимо от него изобретен выдающимся русским инженером А.А.Саблуковым. Центробежные насосы применяются в водоснабжении, в энергетике, в системах топливоподачи, в различных технологических процессах. Они перекачивают различные жидкие среды: от жидкого водорода до расплавленного металла. Диапазон подач колеблется от $10 \text{ см}^3/\text{с}$ до $10 \text{ м}^3/\text{с}$, давление – от 0.104 кПа до 5.107 кПа , частота вращения достигает 100000 об/мин и более. Самый мощный насос в мире построен в штате Виргиния (США). Его наружный диаметр равен $6,5 \text{ метрам}$, частота вращения – всего $257 \text{ оборотов в минуту}$, напор – 393 метра , а мощность – 457 МВт [1].

5.2 Устройство центробежного насоса

Центробежный насос является разновидностью динамического лопастного насоса. Схема одноступенчатого центробежного насоса приведена на рисунке 1.2. Основным рабочим органом центробежного насоса является рабочее колесо, которое состоит из двух дисков: переднего и заднего [2].

Между дисками расположены лопасти 3, которые имеют вид изогнутых цилиндрических поверхностей, а в некоторых конструкциях насосов — поверхностей двойной кривизны. Лопасти рабочего колеса образуют каналы,

по которым движется жидкость при вращении рабочего колеса. Рабочее колесо помещено в спиральную камеру 2 (корпус), которая служит для плавного отвода жидкости, поступающей в напорный трубопровод 4. Корпус изготавливается из металла или ударопрочного пластика, на внешней поверхности которого предусмотрены ушки для крепления на раме и/или проушины для перемещения изделия. Вал электродвигателя соединен с валом насоса с помощью муфты с демпфирующими элементами. Для пуска центробежного насоса корпус насоса и всасывающая труба 5 предварительно заливаются водой.

При вращении рабочего колеса жидкость поступает из всасывающей трубы в межлопастные 1 пространства колеса, увлекается колесом во вращение, вследствие чего каждая частица жидкости массой m , находящаяся на расстоянии R от оси вращения колеса, подвергается действию центробежной силы

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 R,$$

где ω - угловая скорость вращения колеса.

Действием этой центробежной силы и создается подача жидкости центробежным насосом.

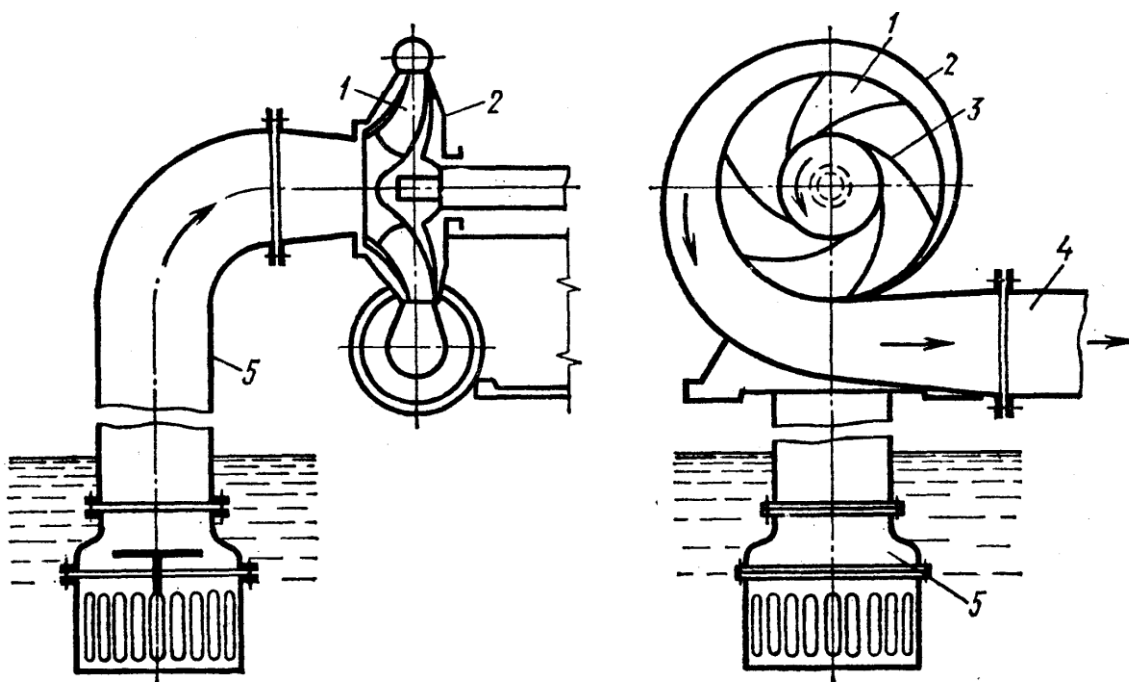


Рисунок 5.2 – Устройство центробежного насоса

После рабочего колеса жидкость поступает в спиральную камеру, где с увеличением сечения камеры (расходящийся конический насадок) создаются значительный вакуум, большая пропускная способность и дополнительный напор [2].

Довольно часто на таких агрегатах устанавливаются и другие конструктивные приспособления, которые конструкцию насосов делают универсальной (рисунок 5.2). Обратный приёмный клапан служит для

устранения возможности залива корпуса насоса водой перед запуском системы. Здесь же установлена фильтрующая сетка. Задвижка, которая открывает и закрывает водяной поток. Вакуумметр служит для определения разряжения воздуха в системе. Этот прибор устанавливается между задвижкой и насосом и показывает наличие воздуха в системе, который удаляется с помощью специального крана, смонтированного в трубопроводе. Для измерения давления, которое создаёт агрегат, на напорном патрубке монтируется манометр. Предохранительный клапан является защитным приспособлением от гидравлического удара [3].

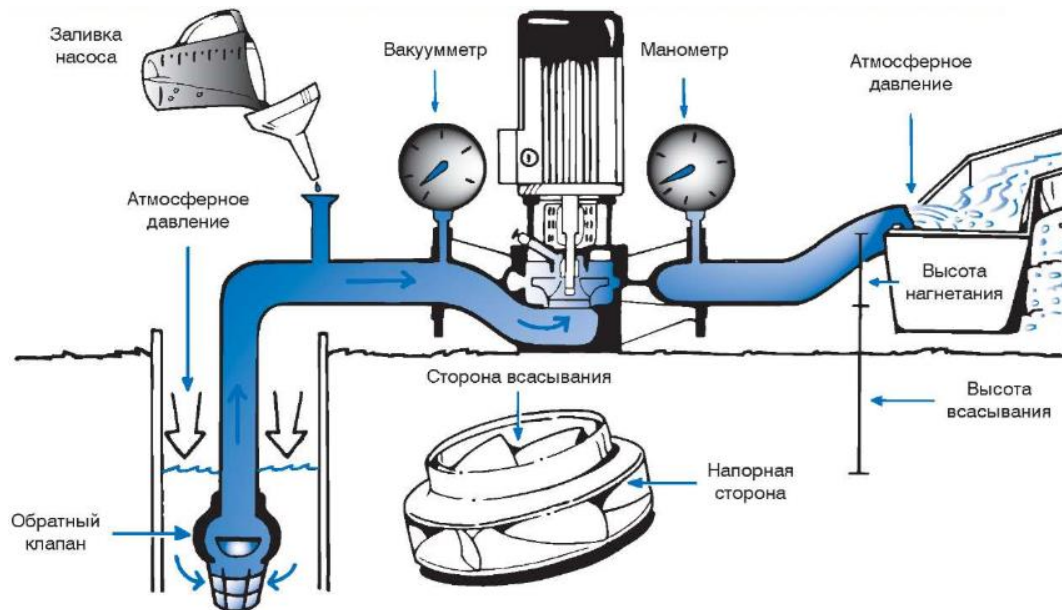
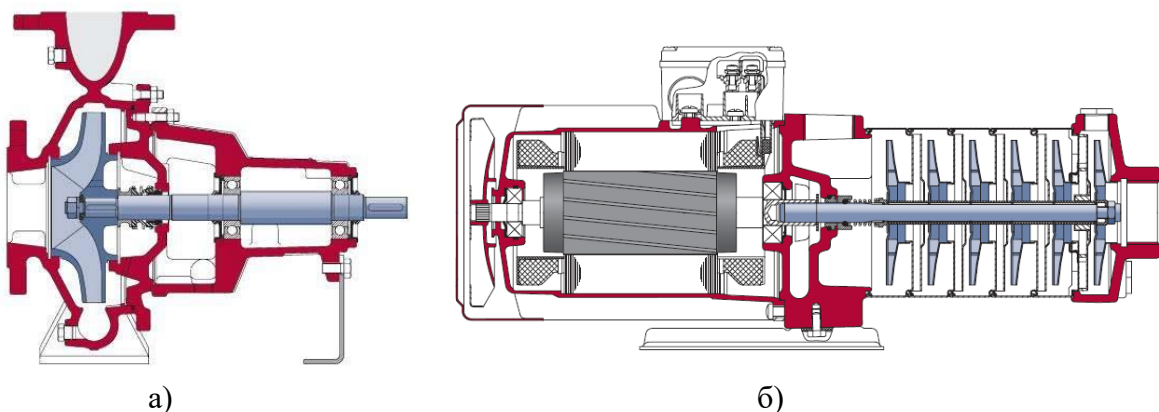


Рисунок 5.3 – Центробежный насос с дополнительными устройствами

5.3 Классификация центробежных насосов

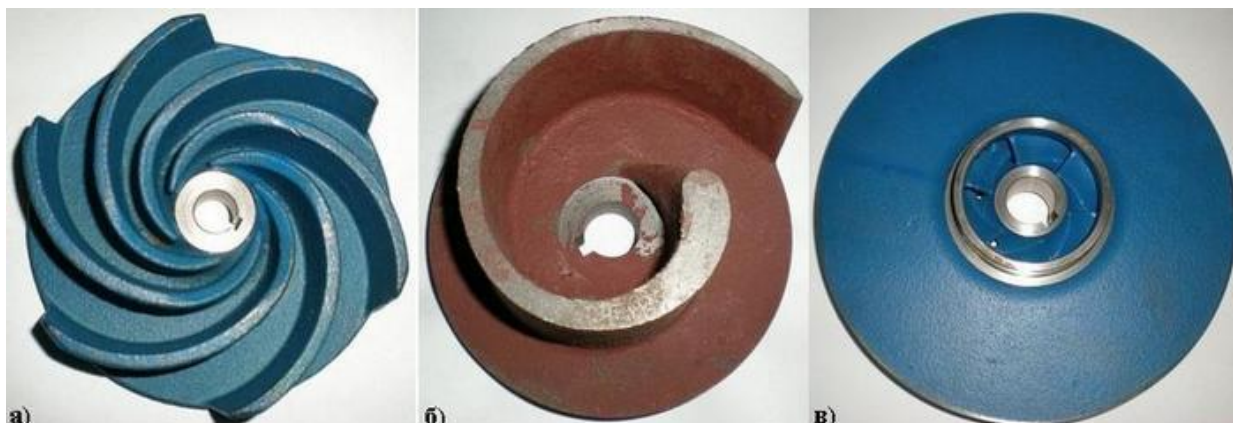
Центробежные насосы в зависимости от рода перекачиваемой жидкости, напора, подачи и конструктивных особенностей подразделяются по следующим признакам [3-7]:

- по числу рабочих колес: одноколесные (одноступенчатые) и многоколесные (многоступенчатые) (рисунок 5.3);



а) одноступенчатый; б) многоступенчатый
Рисунок 5.3 – Центробежные насосы

- по конструкции одной из важных частей центробежного насоса - рабочего колеса [4]: с закрытым и открытым рабочим колесом (рисунок 5.4).



а) открытого типа; б) полужакрытого типа; в) закрытого типа

Рисунок 5.4 – Рабочее колесо центробежного насоса

Насосы с закрытым рабочим колесом (полости колес для прохода воды постоянны) применяют для перекачки чистой воды; с открытым колесом (полости непостоянны) — для перекачки воды, содержащей взвешенные в ней вещества. Для подъема воды из шахтных и трубчатых колодцев применяют специальные центробежные насосы с погруженным в перекачиваемую жидкость насосом или насосом-моноблоком.

В зависимости от мощности агрегата и места его работы колеса различаются [5]: 1) по материалу: чугун, сталь, медь применяется для изготовления колес, работающих в неагрессивных средах; керамика и подобные материалы – при работе насоса в химически активных средах; 2) по способу изготовления: клепаные (используются для маломощных насосов); литые; штампованные; 3) по форме лопастей: с прямыми лопастями; загнутые в сторону, противоположную направлению вращению рабочего колеса; загнутые в сторону вращения рабочего колеса.

- по создаваемому напору [6]: низконапорные (напор до 20 м), средненапорные (напор от 20 до 60 м), высоконапорные (напор более 60 м);

- по способу подвода воды к колесу [7,8]: с односторонним и с двусторонним подводом;

- по расположению вала: горизонтальные и вертикальные.

- по конструкции корпуса: с вертикальным и с горизонтальным разъемом корпуса;

- по способу отвода воды из рабочего колеса [8]: спиральным и кольцевым, двухзавитковым, направляющим аппаратом.

Подвод и отвод жидкости осуществляются по-разному в зависимости от конструкции насоса и имеют следующие виды: прямоосный конфузор, кольцевой подвод или отвод, полуспиральный подвод и спиральный.

Прямоосный конфузор показан на рисунке 5.5, рабочее колесо закреплено консольно на конце вала. Конфузор (сходящийся конус),

выравнивая скорости потока на входе в колесо, имеет малое сопротивление.

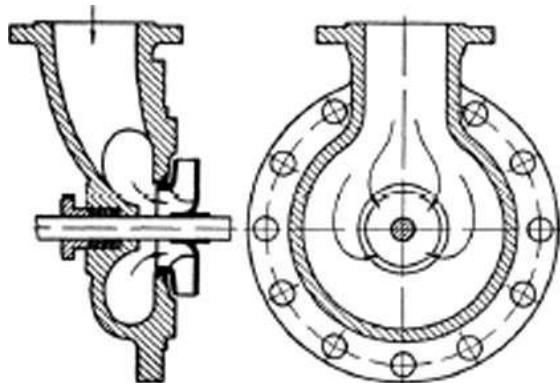


Рисунок 5.5 – Кольцевой подвод

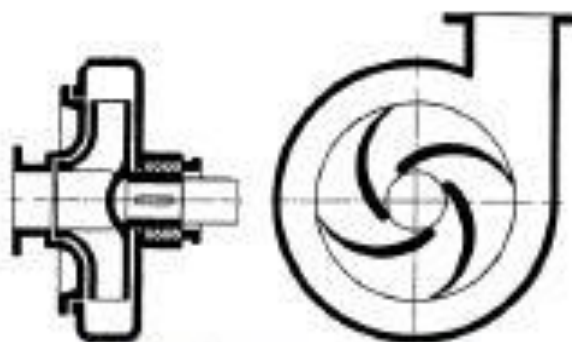


Рисунок 5.6 – Кольцевой отвод

У кольцевого подвода (рисунок 5.5) всасывающий патрубок соединен с кольцевым каналом постоянного сечения, расположенным у входа в рабочее колесо. При таком подводе, поскольку струйки жидкости закручиваются навстречу друг другу, образуется неравномерность скоростей у входа в рабочее колесо, за валом же образуется мертвая зона.

Для загрязненных жидкостей часто используют кольцевой отвод, показанный на рисунке 5.6. В этом случае напорный патрубок примыкает к каналу постоянного сечения, расположенному вокруг рабочего колеса.

При полуспиральном подводе (рисунок 5.7) осевые сечения на входе в рабочее колесо не одинаковые. Закрутка жидкости, протекающей по подводу, обеспечивает ликвидацию мертвой зоны и выравнивание скоростей на входе в рабочее колесо.

Спиральным часто делают отвод жидкости из насоса. Спиральный канал переходит в прямоосный диффузор, через который жидкость вытекает в напорный патрубок.

- по способу соединения с двигателем: приводные со шкивом или с редуктором, соединенные с двигателем при помощи муфты и имеющие общий вал с электродвигателем (насосы-моноблоки);

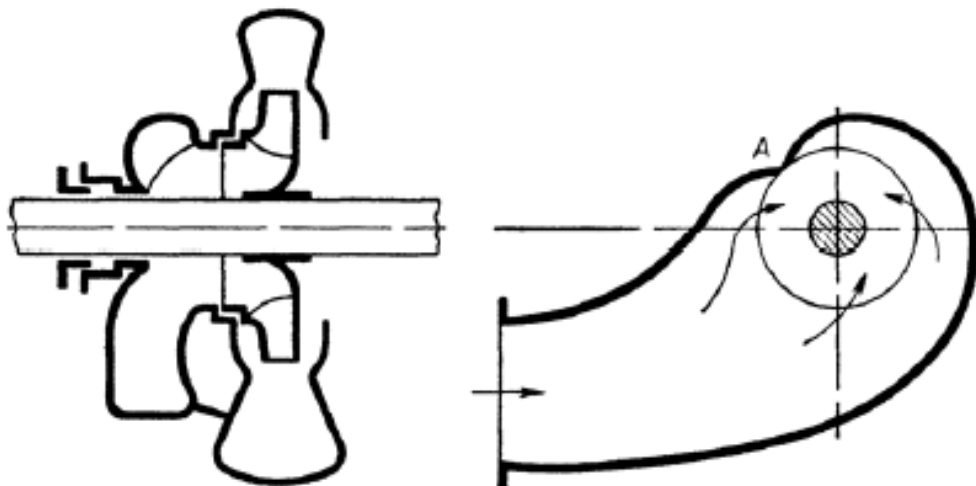


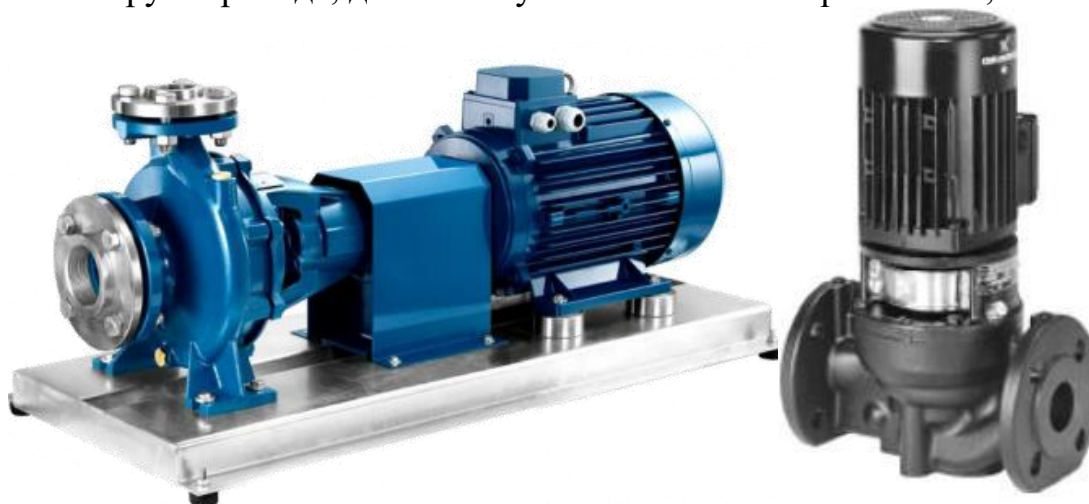
Рисунок 5.7 - Полуспиральный подвод

- по способу установки: а) погружные. Устанавливаются в скважинах и глубоких колодцах. Их подвешивают на цепи или тросе в полностью погруженном в воду состоянии; б) полупогружные. В этом случае чаще применяются насосы с валом вертикального расположения. Монтируются они таким образом, чтобы нижняя часть корпуса погружалась в жидкость. Применяются такие насосы в основном для удаления воды из приямков; в) поверхностные. Располагаются такие агрегаты на небольшом удалении или непосредственно возле источника воды [3].

- по способу забора воды: а) самовсасывающие. Такие насосы способны поднимать воду с глубины около 8 метров на практике, теоретически считается 10,34 метра. Неудобством эксплуатации насосного агрегата является необходимость в заполнении системы водой перед запуском, включая всасывающий трубопровод. Важнейшим элементом системы является обратный клапан, который удерживает воду при кратковременных паузах в работе; б) насосы нормального всасывания. Этот тип насосов включает в себя погружные и поверхностные агрегаты, в которые жидкость поступает самотёком.

- по скорости вращения [3]: тихоходные; нормального хода; высокоскоростные (быстроходные) – крыльчатка в таких агрегатах находится на втулке;

- по расположению патрубков насосов [7]: а) классический или консольный тип, компоновочная схема которого предусматривает расположение входной магистрали по центру оси ротора. Выходной патрубок размещается на верхней части корпуса, угол между каналами составляет 90° (рисунок 5.8). В конструкции такого типа используется силовой привод с горизонтальным расположением вала; б) тип с расположением всасывающего и напорного каналов на одной горизонтальной или вертикальной оси («In-Line»). Оборудование предназначено для размещения на прямолинейных участках трубопровода, двигатель устанавливается вертикально;



а) консольный насос; б) тип с расположением патрубков на одной оси

Рисунок 5.8 – Классификация насосов по расположению патрубков насосов

- по роду перекачиваемой жидкости: водяные, канализационные, кислотные, землесосные и др.

5.3 Материальное исполнение насосов

Универсальность конструкции центробежных насосов предопределяет их широкое распространение. Оборудование используется для перекачки очищенной воды, нефтепродуктов и жидкостей, смешанных с агрессивными или абразивными веществами. Для изготовления корпусов и роторов используются материалы, устойчивые к воздействию тех реагентов, для перекачки которых создана помпа. Дополнительно учитываются условия работы и длительность непрерывных рабочих циклов.

Стандартные устройства, используемые для перекачки воды и водных растворов, оснащаются корпусами из серого чугуна. В конструкции узлов применяются нержавеющая сталь и цветные металлы (для подшипниковых опор), роторы изготовлены из чугуна или углеродистой стали.

Если насос используется для перекачки агрессивных веществ (например, кислот или щелочей), то металлические компоненты разрушаются в результате коррозии. В таких случаях применяют нержавеющие или специальные стали, например, титановые сплавы, компоненты, изготовленные из пластика или композитов (футерованные или пластиковые) [7].

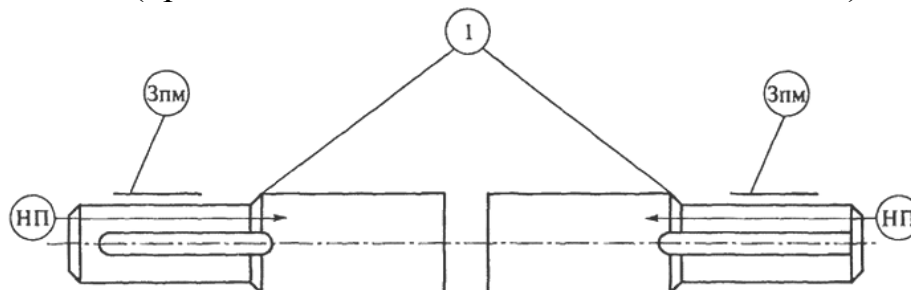
Футеровка - это процесс нанесения пластикового покрытия на металлический корпус насоса. Все элементы, контактирующие с перекачиваемой средой покрыты слоем полимера, что значительно увеличивает коррозионную устойчивость всей проточной части. Материалы для футерованных и пластиковых насосов: PP – полипропилен; PVDF – поливинилденефлуорид; PE – полиэтилен; PVC – поливинилхлорид; PFA – перфторалкоксил; PTFE – политетрафторэтилен; ETFE – этилентетрафторэтилен; FEP – фторэтиленпропилен.

Встречается оборудование с корпусами из пластика, который проходит дополнительную механическую обработку. Но из-за сниженной механической прочности подобная конструкция используется для малогабаритных установок. При изготовлении деталей важно обеспечить адгезию разнородных веществ и избежать трещин, через которые агрессивные растворы проникнут под слой пластика.

В зависимости от того, для чего планируется применение помпы, используются различные материалы для уплотнительных элементов. Наиболее часто применяются уплотнения, изготовленные из каучука на этилен-пропиленовой основе (код EPDM) и бутадиен-нитрильного типа (NBR). Каучук с фтором (Viton или FPM) или материал перфторированного типа используется в нагруженных установках для перекачки жидкостей с абразивной взвесью [7].

Наиболее восприимчивым к повреждениям во время работы является рабочий вал установки. Он нуждается в точной балансировке и центровке.

Материалы, из которых изготавливается вал: кованая сталь; легированная сталь (для установок, работающих с повышенными нагрузками); нержавеющая сталь (для использования в агрессивных средах). Применяются следующие виды валов: жесткие (для нормальных режимов работы); гибкие (для повышенных оборотов); соединенные с валом приводящего электродвигателя (применяются для бытовых моделей насосов) [4].



НП – направление прозвучивания; Зпм – зубчатая полумуфта; 1 – контролируемые зоны

Рисунок 5.9 – Рабочий вал

Рекомендуемая литература

1. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / Под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
2. Основы гидравлики и гидропривод: Учебник для строительных техникумов. — М.: Высш. школа, 1978. — 222 с., ил.
3. Савин И.Ф., Сафонов П.В. Основы гидравлики и гидропривод. М.: Высшая школа, 1978. – 225 с.
4. Трифонова Г.О., Трифонова О.И. Гидродинамические машины и передачи: Учебное пособие/ МАДИ (ГТУ). – М., 2009.- 72с.
5. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 331 с.

Контрольные задания для СРС

1. Отличие гидродинамических машин от объемных.
2. Классификация гидродинамических машин.
3. Основные элементы, принцип действия центробежного насоса.
4. Конструктивные схемы центробежных насосов. Отличительные особенности. Достоинства и недостатки.
5. Осевые насосы. Основные элементы. Принцип работы.
6. Основные неисправности центробежных машин.