

УДК 622. 243

А. А. Кожевников, докт. техн. наук; **В. И. Титов**, инж.;
Колесников М. А., студент

Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина

НАПОРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ И ВОДОПОДЪЕМНИКОВ

Classification of means for rise of liquids from vertical and subvertical mountain developments of various purpose is resulted on the basis of pressure head characteristics of the equation of D. Bernulli for non-stationary currents.

Попытки обобщения и систематизации всех технических средств разработанных для принудительного подъема жидкостей с больших глубин [1], весьма затруднены в связи с несовместимостью условий эксплуатации, для которых они разработаны. Наиболее удачный выход из этих затруднений был предложен И. Г. Есьманом в работе [2], и который в дальнейшем был использован В. И. Пилипцом в своей работе [3]. Сущность этой методики заключается в том, что все типы насосов и водоподъемников классифицируются по виду энергии, сообщаемой жидкости при ее прохождении через насос или водоподъемник.

Известно [2, 3, 4, 5], что энергия движущейся жидкости или ее полный напор может быть описана уравнением Даниила Бернулли, которое для элементарной струйки идеальной несжимаемой жидкости имеет вид

$$z + \frac{p}{g} + \frac{u^2}{2g} = H = const \quad (1)$$

где z – геодезический напор;

$\frac{p}{g}$ – пьезометрический напор;

$\frac{u^2}{2g}$ – скоростной напор жидкости;

H – полный напор или полная энергия движущейся жидкости.

Применение данного уравнения дало возможность В. И. Пилипцу [3] классифицировать насосы и водоподъемники различного конструктивного исполнения следующим образом:

насосы и водоподъемники, изменяющие только энергию положения жидкости;

насосы и водоподъемники, изменяющие только кинетическую энергию потока жидкости;

насосы и водоподъемники, изменяющие энергию потока жидкости за счет изменения давления.

Однако в реальном, неидеализированном виде такие четкие разграничения невозможны, так как всегда между группами существуют переходные зоны смешанных характеристик.

Целью статьи является разработка классификации, при формировании групп которой учитывалось бы доминирующее влияние всех известных в гидравлике разновидностей напоров, участвующих в движении потока жидкости, осуществляемого различными типами насосов и водоподъемников. Поэтому в этой классификации, разработанной на уже известном принципе [2, 3], в которой к этим трем группам добавлены две смешанные группы, а также особо выделена сводная группа, в которой фигурируют как доминирующие все три энергетических критерия, представленных в уравнении Бернулли (1) для стационарного течения жидкости. Таким образом, в предлагаемой классификации сформировано 7 групп.

Немаловажным дополнением к этому может быть подразделение всех классифицируемых подъемников жидкостей и насосов на две категории: *динамические* и *объемные гидромашины*. Согласно определению [4], в динамических насосах жидкостная среда перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса. В объемных насосах жидкостная среда перемещается путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса, или сама рабочая камера вместе с находящейся в ней жидкостью перемещается от входа в насос к выходу из него. В обеих категориях существуют конструктивные разновидности гидромашин, в которых рабочий орган, воздействующий на перекачиваемую жидкость, совершает вращательное или возвратно-поступательное движение. В разработанной классификации такое подразделение непосредственно не производится, однако для комплексной оценки уровня технического совершенства весьма важным обстоятельством является конструктивное исполнение основного рабочего органа гидромашин (насоса или водоподъемника).

Принципиально возможны две схемы конструктивного исполнения гидромашин: проходная и тупиковая. Проходная схема характеризует конструктивные особенности гидромашин, выражающиеся в том, что в них возможно свободное движение потока перекачиваемой среды даже после остановки рабочего органа насоса или его реверсного движения. При тупиковой схеме подобному свободному движению потока перекачиваемой жидкости препятствуют либо сам рабочий орган, либо система клапанов гидромашин.

Действие инерционного напора является одним из определяющих факторов при оценке производительности гидромашин, называемых инерционными насосами [6], и в разработанной классификации впервые предпринята попытка особо выделить эти конструкции.

Инерционный напор по определению [6] – это удельная энергия, которая при ускоренном во времени движении передается проходящими частицами массе жидкости, заключенной в трубопроводе между двумя его сечениями, а при замедленном движении происходит обратный процесс. При замедленном во времени неустановившемся движении линия энергии и пьезометрическая линия могут располагаться выше линии начального напора, что невозможно при установившемся движении жидкости.

Действие инерционного напора проявляется лишь в случае неустановившегося (нестационарного) движения потока реальной жидкости, для которого уравнение Бернулли, описывающее энергетический баланс, согласно [5], имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w + h_i \quad (2)$$

где в соответствующих сечениях потока жидкости $1-1$ и $2-2$ в определенный момент времени:

z_1 и z_2 – геодезические напоры;

$\frac{p_1}{\rho}$ и $\frac{p_2}{\rho}$ – пьезометрические напоры;

$\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$ – скоростные напоры;

h_w – потери напора по длине;

h_i – инерционный напор.

Конструкции устройств, в которых возможна реализация инерционного напора, как дополнительного энергетического источника, отмечены в классификации значком (+и).

С учетом всего вышеизложенного напорная классификация подъемников жидкостей и насосов любого конструктивного исполнения может быть представлена в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1.

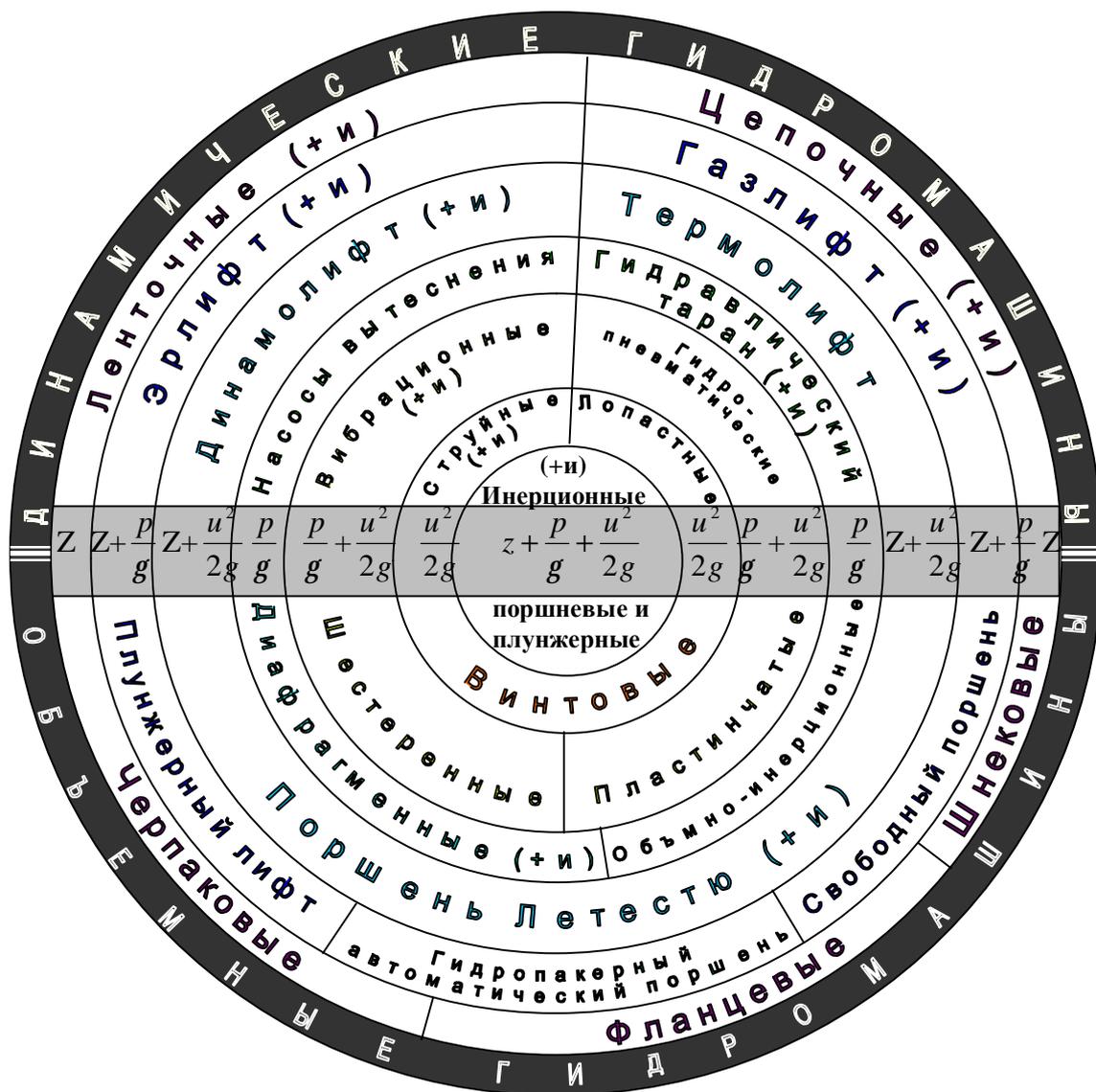


Рис. 1. Напорная классификация скважинных насосов и водоподъемников.

1. Насосы и водоподъемники, изменяющие только энергию положения жидкости, геодезический напор (Z)

К этой группе отнесены простейшие в техническом отношении устройства: черпаковые, фланцевые, шнековые, ленточные и цепочные водоподъемники.

При этом черпаковые, фланцевые, шнековые водоподъемники имеют характерно выраженные признаки объемных гидромашин, а ленточные и цепочные водоподъемники – признаки динамических гидромашин.

При всех конструктивных отличиях этих гидромашин общим классификационным признаком для них является то, что транспортируемая жидкость в них перемещается от исходного к конечному уровню преимущественно за счет изменения энергии положения перемещаемого объема. Данный объем формируется либо конструктивными элементами гидромашин, либо использованием сил вязкого трения и поверхностного натяжения.

2. Насосы и водоподъемники, изменяющие геодезический и пьезометрический напоры жидкости $\left(Z + \frac{P}{g} \right)$

К этой классификационной группе отнесены следующие типы гидромашин: эрлифт, газлифт, плунжерный лифт, свободный поршень и гидропакерный автоматический пор-

шень. Принцип действия подъемников жидкостей, в которых функцию рабочего органа выполняет газовый агент, основан на том, что в двух сообщающихся сосудах соотношение уровней жидкостей обратно пропорционально их плотностям. Характерными представителями этого класса гидромашин являются *эрлифт* и *газлифт*, отличающиеся конструкциями смесителей и непосредственно рабочим агентом.

3. Насосы и водоподъемники, изменяющие геодезический и скоростной напоры жидкости $\left(z + \frac{V^2}{2g} \right)$

К этой классификационной группе отнесены следующие типы гидромашин: *динамолифт*, *термолифт* и *поршень Летестю*.

Динамолифт представляет собой воздушоструйный подъемник жидкостей, в котором используется кинетическая энергия воздушного потока, благодаря чему можно откачивать жидкости с малым заглублением воздушного смесителя под динамический уровень.

4. Насосы и водоподъемники, изменяющие только энергию потока жидкости за счет изменения давления, пьезометрический напор $\left(\frac{P}{g} \right)$

Преобразование энергии потока жидкости в таких устройствах происходит за счет непосредственного изменения ее давления. Жидкость может вытесняться давлением поршня, вращающимся телом, сжатым воздухом, газом или паром. К этой группе можно также отнести водоподъемные механизмы, передающие жидкости импульс давления посредством гидравлического удара.

Наиболее характерными представителями этой обширной группы насосов и водоподъемников являются *насосы вытеснения (замещения)*, *объемно-инерционные* и *диафрагменные насосы*, а также *гидравлический таран*. В *насосах вытеснения* рабочий цикл осуществляется следующим образом: откачиваемая жидкость после заполнения объема рабочей камеры вытесняется из неё в нагнетательную магистраль другой жидкостью, сжатым воздухом, газом или паром.

В *объемно-инерционном насосе* для обеспечения реверса потока жидкости рабочий орган выполнен в виде гибкой ленты, установленной в корпусе насоса с предварительным прогибом, при этом концы рабочего органа закреплены на осях. При включении приводного реверсивного устройства рабочий орган совершает волнообразные движения, аналогичные движению рыбьего плавника, вытесняя перекачиваемую жидкость из полости корпуса насоса в нагнетательную магистраль за счет инерционных сил и изменения объема камер, образованных внутренними стенками корпуса и рабочего органа.

Диафрагменные насосные агрегаты состоят из насосной части, включающей рабочую камеру с всасывающим и нагнетательным клапанами и диафрагму, а также гидропривод, состоящий из поршневого или плунжерного насоса с очень малой длиной хода и замкнутого объема жидкости, воздействующей на диафрагму.

Гидравлическим тараном называется устройство, в котором подъем откачиваемой жидкости осуществляется энергией гидравлического удара.

5. Насосы и водоподъемники, изменяющие пьезометрический и скоростной напоры жидкости $\left(\frac{P}{g} + \frac{V^2}{2g} \right)$

В технических устройствах, отнесенных к этой классификационной группе, консолидированные энергетические преобразования осуществляются как за счет непосредственного силового воздействия рабочего органа на перекачиваемую жидкость, так и за счет ее скоростного напора. Наиболее характерными представителями этой группы насосов и водоподъ-

емников являются *вибрационные, шестеренные, пластинчатые (шиберные) насосы и гидропневматические водоподъемники.*

Работа *вибрационных насосов* основана на сообщении столбу жидкости, заполняющего нагнетательную магистраль, ускорения, превышающего ускорение силы тяжести. В работе насосов участвуют энергия отраженной волны и упругая деформация жидкости и колонны водоподъемных труб. Передача упругих деформаций от вибратора к рабочему органу насоса может осуществляться посредством металлической связи или через столб жидкости. Движение столба жидкости в колонне подъемных труб является следствием взаимодействия силы тяжести жидкости и сил инерции, обусловленных движением колонны подъемных труб по заданному периодическому закону.

Шестеренные насосы наиболее распространенного типа представляют собой пару с наружным зацеплением одинаковых шестерен, находящихся в зацеплении и помещенных в камеру, стенки которой охватывают шестерни со всех сторон с малыми зазорами. По обе стороны области зацепления имеются полости, одна из которых является всасывающей, а другая – нагнетательной. При вращении шестерен перекачиваемая жидкость из всасывающей полости попадает во впадины между зубьями, стенками и корпусом насоса, а затем перемещается в нагнетательную полость.

Пластинчатые или шиберные насосы в корпусе неподвижного статора имеют цилиндрический ротор с эксцентриситетом вращения, по образующей поверхности которого продольно, с определенным шагом, выполнены пазы, в которых устанавливаются пластины, способные при вращении перемещаться радиально. В корпусе, на торцевой поверхности статора, прорезаны окна, сообщающиеся соответственно с всасывающей и нагнетательной магистралью. Рабочий объем определяется пространством, образованным поверхностью статора ограниченной двумя соседними пластинами и поверхностью ротора, установленного с эксцентриситетом. Этот объем между двумя противоположными по эксцентриситету положениями изменяется от максимального до минимального значения.

Гидропневматический водоподъемник сочетает в себе эрлифт и гидроэлеватор или струйный насос.

6. Насосы и водоподъемники, изменяющие только кинетическую энергию пото-

ка жидкости (скоростной напор) $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$

Наиболее характерными представителями этой группы насосов и водоподъемников являются *винтовые, лопастные и струйные.*

Винтовые насосы состоят из неподвижного статора, подвижного рабочего винта-ротора и системы клапанов. Во время работы насоса винтовой ротор совершает сложные движения: он вращается вокруг собственной оси и одновременно его ось совершает планетарное вращение по окружности диаметром, равным двум эксцентриситетам. В процессе работы насоса перекачиваемая жидкость заполняет свободные объемы между винтом и обоймой, герметически изолированные один от другого, чем и обеспечивается непрерывное перемещение жидкости.

Лопастные насосы (центробежные, пропеллерные и вихревые) – это технические устройства, в которых рабочим органом является рабочее колесо, снабженное лопастями. Энергия от рабочего колеса жидкости передается путем динамического взаимодействия лопастей колеса с обтекающей их жидкостью.

Струйные насосы, называемые также водоструйными, гидроэлеваторами или эжекторами, включают в себя приводной насос, насадок (сопло), диффузор, камеру смешения, всасывающую и нагнетательную трубы. Трубы могут располагаться параллельно или коаксиально.

Работа струйного насоса основана на принципе вовлечения в движение частиц транспортируемой жидкости частицами рабочей струи, движущейся с большой скоростью или, другими словами, на выравнивании удельных энергий потоков при их смешении.

7. Насосы и водоподъемники, изменяющие геодезический пьезометрический и скоростной напоры жидкости $\left(Z + \frac{P}{g} + \frac{V^2}{2g} \right)$

К этой группе относятся *погружные поршневые и плунжерные насосы с вертикальной компоновкой их конструктивных элементов*. Согласно классическому определению, эти водоподъемные устройства относятся к категории объемных гидромашин. Рабочий процесс в этих гидромашинах основан на попеременном заполнении рабочей камеры откачиваемой жидкостью и ее вытеснении из камеры в нагнетательную магистраль. Изменение объема рабочей камеры происходит в этих насосах за счет возвратно-поступательного движения вытеснителя (поршня или плунжера).

Фактическая производительность такого рода объемной гидромашин за один полный цикл определяется разностью между объемом ее рабочей камеры и суммарными гидравлическими потерями перекачиваемой жидкости в процессе этого цикла. Этот показатель характеризуется величиной объемного коэффициента полезного действия, который у идеальной объемной гидромашин не может быть большим 1. Однако в инерционных насосах при проходной схеме конструктивного исполнения рабочего органа коэффициент объемного наполнения может значительно превышать 1, и практически достигнуть, согласно данным [3, 6, 7], уровня 2,04 для поршневого насоса одинарного действия конструкции В. Г. Шухова.

Во всех отмеченных в классификации инерционных насосах дополнительным ресурсным энергетическим источником является инертная масса нестационарно движущейся жидкости.

Выводы

1. Уравнение Д. Бернулли для неустановившегося движения потока жидкости (2) позволяет более точно классифицировать все известные технические устройства для подъема жидкостей из вертикальных и субвертикальных горных выработок.

2. На основании проведенной классификации можно аналитически сравнить уровень технического совершенства водоподъемного устройства и определить перспективные направления его повышения.

Литература

1. Кожевников А. А., Титов В. И. Классификация скважинных поршневых насосных установок //Наук. вісник Національного гірничого університету.–Днепропетровск, 2004.– № 11.
2. Есьман И. Г. Насосы.–Изд. 3-е. М.: Гостоптехиздат, 1954. –285 с.
3. Пилипец В. И. Насосы для подъема жидкости//Учебное пособие. –Донецк, 2000. – 244 с.
4. Башта Т. М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем//Учебник для вузов.–М.:Машиностроение, 1974.–606 с.
5. Чугаев Р. Р. Гидравлика. (Техническая механика жидкости). Изд. 3-е. –Л., Энергия, 1975. –600 с.
6. Усаковский В. М. Инерционные насосы.–М.:Машиностроение, 1973. –200 с.
7. Суреньянец Я. С. Водяные скважины.–М.:Минкоммунхоз РСФСР,1961. –318 с.

Поступила 03.07.07.