

С.А. Федоров, главный специалист по насосам, «Вило РУС», Sergey.Fedorov@wilo.ru

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ САМОВСАСЫВАЮЩИХ НАСОСОВ

Ключевые слова: центробежный насос, давление, самовсасывающий центробежный насос, напор, рабочее колесо

Центробежные насосы широко используются для откачки жидкостей, уровень которых лежит ниже насоса (рис. 1). Однако в начальный момент насос и жидкость разделены воздушной полостью. Напомним, что в центробежных насосах кинетическая энергия

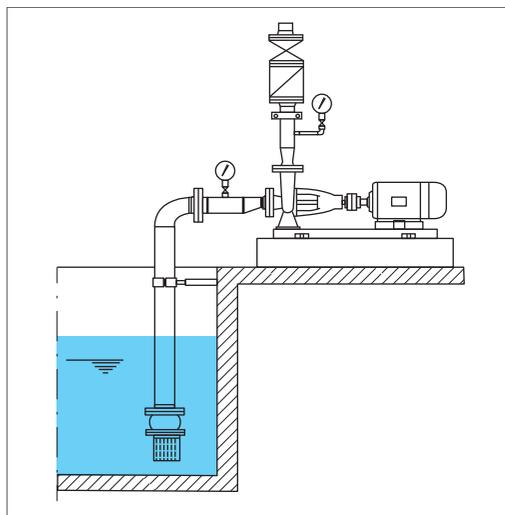


Рис. 1. Применение центробежных насосов в режиме откачки из емкости снизу

вращающейся жидкости $E_k = \rho v^2 / 2$ (ρ – плотность, v – скорость) преобразуется в потенциальную энергию сжатия E_p . Плотность воздуха при нормальных условиях примерно в 800 раз меньше, чем плотность воды. Напор насоса, величина которого пропорциональна плотности, при перекачке воздуха будет также почти на три порядка ниже. При попадании газа в центробежный насос его напор падает почти до нуля и процесс перекачки останавливается.

Поэтому использование стандартных (или нормально всасывающих) насосов требует предварительной заливки линии всасывания (или откачки воздушного столба с помощью вакуумного насоса), установки специального клапана на погруженном в воду конце трубы (foot valve), а также постоянного контроля линии всасывания. Атмосферное давление над жидкостью при этом обеспечивает достаточные условия для работы до глубин порядка 6–8 м.

Применение самовсасывающих насосов намного упрощает процесс. Самовсасывающие насосы могут откачивать небольшие объемы газа, а после завершения цикла дегазации на входе работать как обычные насосы. К классу самовсасывающих относится многочисленная

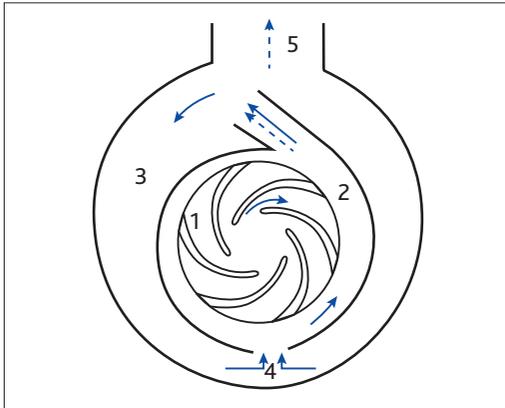


Рис. 2. Самовсасывающий центробежный насос с портом рециркуляции с напорной стороны: 1 – рабочее колесо, 2 – рабочая камера, 3 – рециркуляционная камера, 4 – порт рециркуляции, 5 – выходной патрубок

группа объемных насосов (поршневые, винтовые, мембранные, шестеренные и т. д.) [1], а также эжекторные и периферийные насосы (side channel) [2].

Центробежные насосы после небольших изменений в конструкции также могут получить заветные самовсасывающие свойства, например, если в корпус стандартного насоса устанавливается рециркуляционная камера 3 достаточного объема (рис. 2).

Перед началом работы в самовсасывающий насос заливается жидкость. Это обязательное условие. Сразу после старта имеющаяся в насосе вода откачивается из области перед рабочим колесом: в этой зоне создается разрежение, и воздух засасывается внутрь рабочего колеса. Смесь жидкости и газа раскручивается лопатками рабочего колеса и выбрасывается из рабочей камеры 2 в рециркуляционную камеру 3 (рис. 2). После этого скорость потока резко падает, вода стекает вниз, тогда как воздушная полость остается в верхней части насоса. Поскольку в рециркуляционной камере создается некоторый напор, воздух выдавливается из насоса через выходной патрубок 5, а вода снова поступает в рабочую камеру через порт 4. Процесс продолжается вплоть до полной дегазации входного тракта и самого насоса. Далее самовсасывающий насос работает в обычном режиме стандартного насоса с минимальными потоками в камере рециркуляции.

Конструкции самовсасывающих центробежных насосов могут отличаться. Так, рециркуляционный порт может находиться как со стороны периметра рабочей камеры, т. е. с напорной

стороны (рис. 2), так и со стороны входа в рабочее колесо (рис. 3) [3].

Рециркуляционная камера может размещаться как вокруг рабочей камеры, так и наверху. Но в любом случае габариты самовсасывающих насосов заметно больше стандартных.

Рабочее колесо может быть как закрытым, так и полуоткрытым. В первом случае можно получить большой напор, но насос, как правило, предназначен для перекачки чистых или слабозагрязненных жидкостей. Во втором случае насос способен перекачивать сильнозагрязненные жидкости с крупными частицами.

На рис. 4 представлено поперечное сечение самовсасывающего центробежного насоса. В насосе используется полуоткрытое рабочее колесо со сменной накладной пластиной. Насос позволяет перекачивать сильно загрязненные жидкости с диаметром твердых включений до 75 мм в широком интервале подач и температур.

Входной патрубок самовсасывающих насосов располагается в верхней части насоса и оснащен обратным клапаном. Такая конструкция позволяет оставлять в насосе достаточный для следующего включения объем воды.

Кроме обычных для стандартных насосов характеристик (зависимости напора, эффективности, мощности и NPSH_r от подачи) важным и обязательным для самовсасывающих насосов параметром является время дегазации $t_{\text{дег}}$ (режим priming). Это важный параметр,

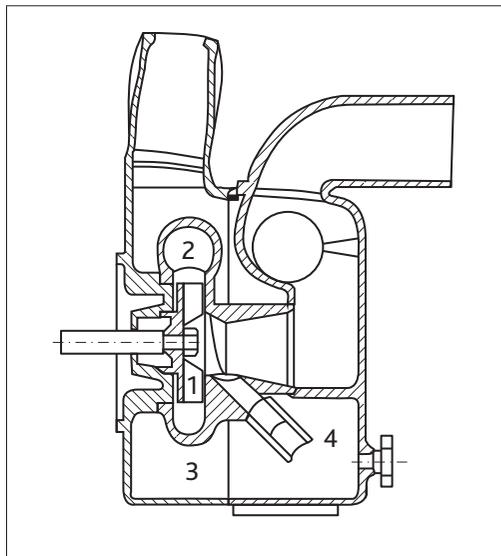


Рис. 3. Самовсасывающий центробежный насос с портом рециркуляции на входе в рабочее колесо: 1 – рабочее колесо, 2 – рабочая камера, 3 – камера рециркуляции, 4 – порт рециркуляции

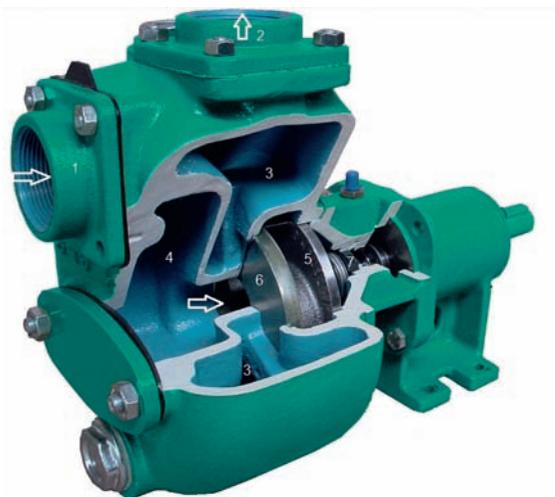


Рис. 4. Самовсасывающий насос: 1 – входной патрубок с обратным клапаном, 2 – выходной патрубок, 3 – камера рециркуляции, 4 – входная камера, 5 – рабочее колесо, 6 – накладная пластина, 7 – торцевое уплотнение

определяющий нормальную работу насоса на стадии дегазации. В этот период большая часть механической энергии передается жидкости внутри насоса, и она быстро нагревается. Часть жидкости может при этом испариться, а условия нормальной работы уплотнения могут нарушиться. Поэтому при значительном превышении указанного производителем времени дегазации насос следует выключить и разобраться с причинами задержки. Для подобных насосов время работы в режиме дегазации, как правило, не должно превышать нескольких минут. Время дегазации на заводе измеряется при диаметре трубы на входе, равном диаметру входного патрубка. При использовании других диаметров и значительных

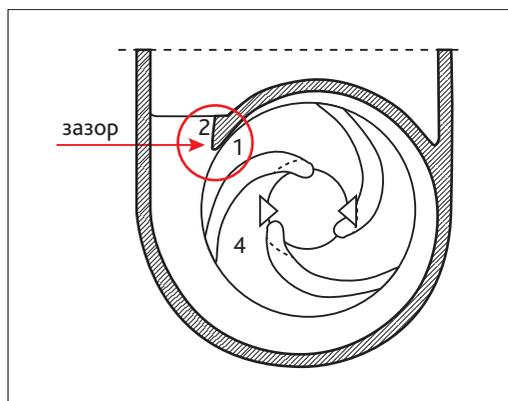


Рис. 5. Величина зазора между краем рабочего колеса 1 и языком рабочей камеры 2 – важный параметр эффективной работы насоса

горизонтальных участков труб на входе время дегазации пересчитывается с помощью формул, обычно содержащихся в инструкции.

Для диагностики работы желательно установить вакуумметры на входной линии. Обычные диапазоны давлений в режиме дегазации для этих насосов – минус 500–600 мм рт. ст.

Критическим параметром для работы самовсасывающего насоса является величина зазора между краями лопаток рабочего колеса и языком рабочей камеры (рис. 5). Эффективность работы насоса с открытым рабочим колесом также во многом определяется зазором между плоскостью лопаток рабочего колеса, прилегающей к накладной пластине, и плоскостью пластины (рис. 4). При увеличении зазоров выше оптимальных значений эффективность насоса падает, а время дегазации растет. В некоторых насосах конструкция позволяет регулировать величину данных зазоров.

На процесс дегазации сильно влияет наличие даже небольших отверстий и щелей в линии всасывания. Например, работу насоса, выполняющего за 30 секунд дегазацию трубы диаметром DN 65 и глубиной 3 м, может свести на нет отверстие площадью порядка 0,1 см² [4].

По этой же причине в самовсасывающих насосах, как правило, не используются сальниковые уплотнения, так как проникновение воздуха через сальники при работе в режиме дегазации снижает эффективность процесса.

Необходимым условием бескавитационной работы самовсасывающих насосов (как и для стандартных насосов) является соотношение (1):

$$NPSHa > NPSHr, \quad (1)$$

где
NPSHa – напор жидкости на входе в насос,
NPSHr – заводская характеристика порога кавитации (определяется с запасом по отношению к NPSHr 3%).

Величина NPSHa в данном случае вычисляется по формуле (2):

$$NPSHa = H_{атм} - H_{пар} - H_{тр} - H_{ст}, \quad (2)$$

где
 $H_{атм}$ – напор атмосферы,
 $H_{пар}$ – напор паров жидкости,
 $H_{тр}$ – потери напора на трение,
 $H_{ст}$ – статический перепад высот на входе.

Все слагаемые имеют значение напора или потери напора при движении жидкости от входа в трубу до входа в насос (рис. 6).

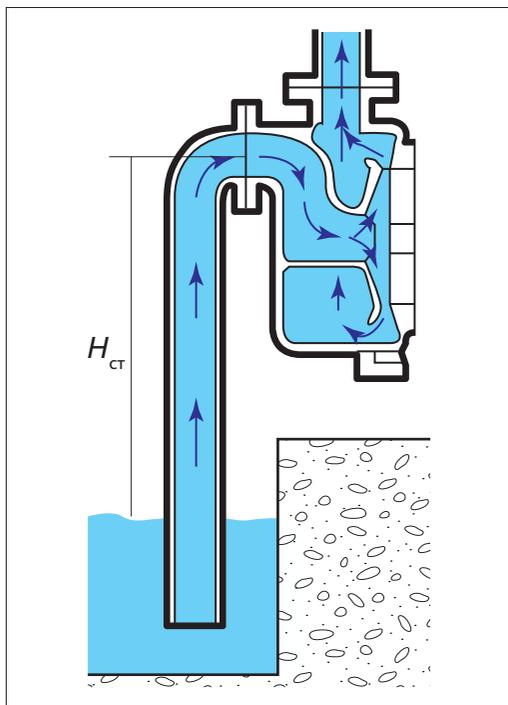


Рис. 6. Работа самовсасывающего насоса

Соотношение (1) должно соблюдаться в течение всего процесса откачки, при этом уровень жидкости, температура, атмосферное давление, подача и, следовательно, потери на трение могут меняться. При работе вблизи максимальных глубин откачки такое изменение параметров может привести к кавитации и срыву кривой напора насоса $H(Q)$ (рис. 9).

При расчете самовсасывающего насоса для требуемой подачи Q_n вычисляется общий динамический напор H_d , включающий в себя общий перепад высот и общие потери. На рис. 7 представлена схема подъема жидкости насосом 2 из емкости 1 (максимальная глубина откачки H_1) через насыпь высотой H_2 в точку 3.

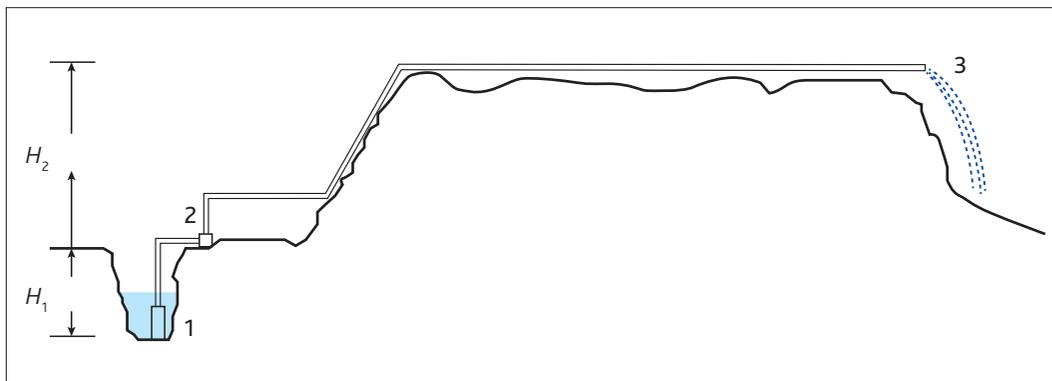


Рис. 7. Применение самовсасывающего насоса

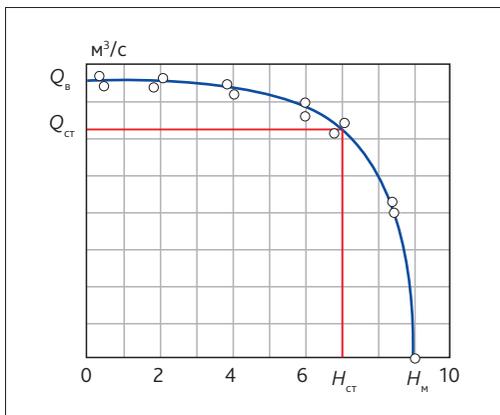


Рис. 8. Зависимость скорости откачки воздуха от глубины $H_{ст}$

Необходимый напор насоса должен быть не меньше, чем:

$$H = H_1 + H_2 + H_{тр}, \quad (3)$$

где

$H_{тр}$ – сумма всех потерь напора на элементах системы от точки 1 до точки 3.

В случае, если в точке 3 жидкость должна иметь некоторую энергию (например, для смыва или разрушения породы), в правой части уравнения (3) нужно добавить необходимую величину H_3 .

На рис. 8 представлена кривая зависимости $Q_в$ потока откачиваемого воздуха при дегазации в зависимости от глубины откачки $H_{ст}$ некоторого самовсасывающего насоса. Максимальная глубина откачки $H_м$ насоса – теоретическая величина, которая определяется как точка пересечения кривой $Q_в$ с горизонтальной осью. На практике $H_м$ зависит не только от степени разрежения, но также от атмосферного давления, плотности жидкости, концентрации

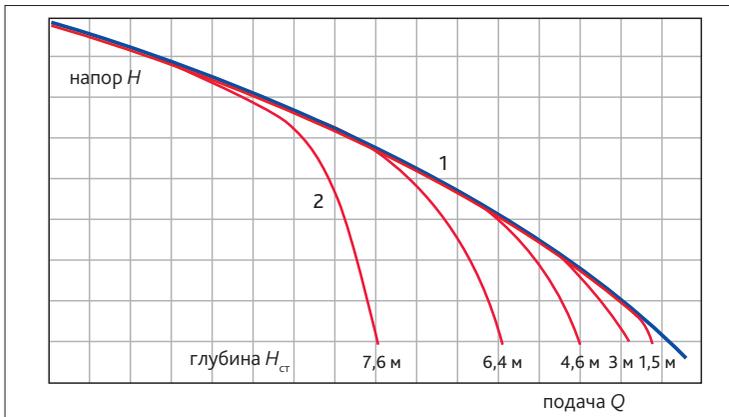


Рис. 9. Характеристические кривые насоса при увеличении глубины $H_{ст}$

растворенных в ней газов, характера течения жидкости в емкости (например, появление воронок) и т. д.

Поскольку насос может включаться при одном и отключаться при другом уровне жидкости, очевидно, что рабочие величины $H_{ст}$ должны быть заведомо меньше $H_{м}$. Кроме того, нужно учитывать, что при увеличении $H_{ст}$ и подачи Q величина NPSHa снижается (см. уравнение 2). Это может привести к кавитации и срыву характеристики насоса $H(Q)$ в правой части кривой (рис. 9).

На рис. 9 представлена характеристическая кривая некоторого самовсасывающего насоса (синяя кривая 1) и набор кривых $H(Q)$ (красные кривые 2) того же насоса при увеличении глубины откачки $H_{ст}$. Срыв характеристик (падающие участки кривых 2) происходит из-за кавитации при нарушении условия (1) [5].

При эксплуатации самовсасывающих насосов необходимо учитывать низкий напор на

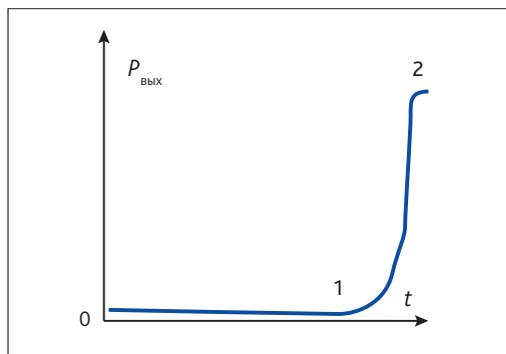


Рис. 10. Зависимость давления $P_{вых}$ самовсасывающего насоса от времени работы t после старта

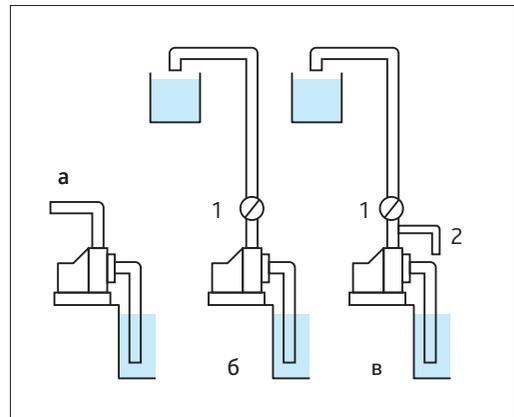


Рис. 11. Схемы работы самовсасывающих насосов

выходе насоса в течение периода дегазации. На рис. 10 представлен график зависимости давления самовсасывающего насоса от времени. Период дегазации (отрезок от точки 0 до точки 1) сменяется периодом роста давления (от точки 1 до точки 2), когда жидкость начинает заполнять объем насоса. Далее, после точки 2, напор насоса стабилизируется.

В схемах без запорных элементов (рис. 11, а – схема со свободным сливом) воздух на стадии дегазации может свободно выходить из напорного патрубка, и никаких проблем не возникает. На схеме 11, б на выходе установлен обратный клапан 1, для открытия которого давления насоса в режиме дегазации, как правило, не хватает. Проблема решается установкой байпасной линии 2 (рис. 11, в). В этом случае воздух свободно стравливается через байпас при закрытом обратном клапане. После выхода на нормальный режим работы обратный клапан открывается, но часть потока продолжает через байпас сливаться обратно в исходную емкость.

Типичными ошибками являются примеры, представленные ниже. На рис. 12, а вода, попавшая в напорный трубопровод (в области эллипса), не даст насосу при следующем включении завершить период дегазации. На рис. 12, б представлена схема откачки жидкости из цистерны. Жидкость, попавшая в ловушку перед насосом (область эллипса), при первом включении блокирует процесс дегазации в дальнейшем.

Поток через байпасную линию даже небольшого диаметра при больших напорах может быть достаточно большим, что снижает эффективность и меняет характеристики насоса. Решением может быть установка запорного вентиля как можно с меньшим

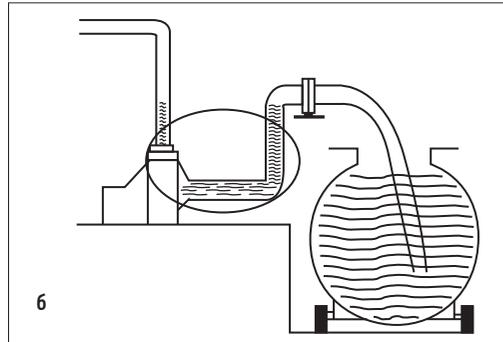
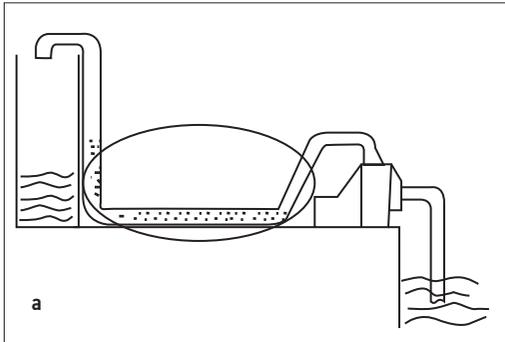


Рис. 12. Блокировка процессов дегазации и откачки

гидравлическим сопротивлением (например, шаровой вентиль). Но более оптимальным выглядит установка автоматического вентиля дегазации 5 (рис. 13), открытого в нормальном состоянии и закрывающегося при попадании внутрь воды под напором.

При перекачке сильнозагрязненной жидкости ее скорость должна быть достаточна для подъема и перемещения частиц, а диаметр байпаса (рис. 13) достаточно большим, чтобы обеспечить дегазацию и не быть заблокированным грязью. Слив байпаса 6 нужно размещать как можно дальше от всасывающей трубы 1, чтобы жидкость в емкости не насыщалась воздухом.

Мобильные самовсасывающие центробежные насосы с приводом от дизельных и бензиновых двигателей широко используются в полевых условиях (рис. 14). Стандартные фитинги и шланги позволяют оперативно включиться в работу.



Рис. 14. Самовсасывающий насос на тележке

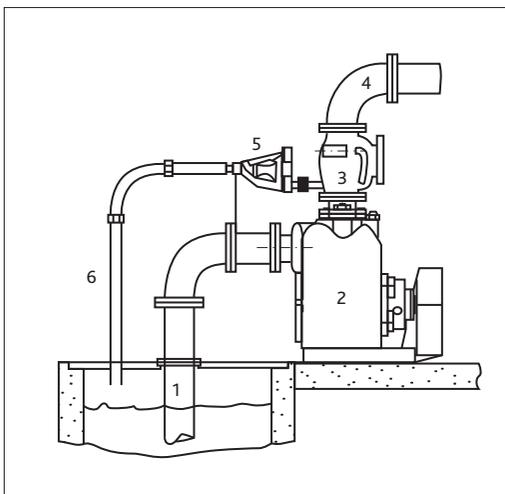


Рис. 13. Схема с установкой автоматического вентиля дегазации: 1 – линия всасывания, 2 – насос, 3 – обратный клапан, 4 – напорный патрубок, 5 – автоматический вентиль, 6 – байпас

В целом самовсасывающие насосы, имея большие габариты и меньшую эффективность по сравнению с нормально всасывающими насосами, обеспечивают надежную работу при откачке даже сильнозагрязненных жидкостей с глубины до 8 м и незаменимы в экстренных случаях.

Литература

1. Volk M. Pump characteristics and applications, 2005.
2. Sterling Fluid Systems B. V., Basic principles for the design of centrifugal pump installations, 2003.
3. Karassik I. J., McGuire T. Centrifugal pumps, 1998.
4. Petersen R. Self-priming pumps: it's the system // Pump Handbook Series. – V. 1 – P. 205–208.
5. The Gorman-Rupp company, Pump application manual, 2003.