

3 . Насосы, насосные и насосно-счетные установки

Основные характеристики насосов

Насосы применяются в сливо-наливных операциях при перевалке СУГ, а также для выкачивания СУГ из емкости при его подаче потребителю.

Насосы устанавливаются как в системах обвязки стационарных емкостей и резервуаров хранения, ГНС, систем слива/налива ж/д цистерн, так и непосредственно на емкостях газовозов.

Основными характеристиками насосов являются:

- напор;
- производительность (подача);
- допускаемый кавитационный запас.

Повышение давления насосом называется напором. Под напором насоса (H) понимается удельная механическая энергия, передаваемая насосом перекачиваемой жидкости.

Общая формула расчета напора (диаметры всасывающего и нагнетающего патрубком приняты одинаковыми) выглядит следующим образом:

$$H = (p_2 - p_1) / (\rho \times g) + H_r + h_n,$$

где

H — напор, м;

p_1 — давление в заборной емкости, Па;

p_2 — давление в приемной емкости, Па;

ρ — плотность перекачиваемой среды, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

H_r — геометрическая высота подъема перекачиваемой среды, м;

h_n — суммарные потери напора, м.

Первое из слагаемых формулы расчета напора представляет собой перепад давлений, который должен быть преодолен в процессе перекачивания жидкости. Возможны случаи, когда давления p_1 и p_2 совпадают, при этом создаваемый насосом напор будет уходить на поднятие жидкости на определенную высоту и преодоление сопротивления.

Второе слагаемое отражает геометрическую высоту, на которую необходимо поднять перекачиваемую жидкость. Важно отметить, что при определении этой величины не учитывается геометрия напорного трубопровода, который может иметь несколько подъемов и спусков.

Третье слагаемое характеризует снижение создаваемого напора, зависящее от характеристик трубопровода, по которому перекачивается среда. Реальные трубопроводы неизбежно будут оказывать сопротивление току жидкости, на преодоление которого необходимо иметь запас величины напора.

Общее сопротивление складывается из потерь на трение в трубопроводе и потерь в местных сопротивлениях, таких как повороты и отводы трубы, краны (клапаны), расширения и сужения прохода и т.д. Суммарные потери напора в трубопроводе рассчитываются по формуле:

$$H_{ob} = H_T + H_{MC} = (\lambda \times l) / d_e \times [w^2 / (2g)] + \sum \zeta_{MC} \times [w^2 / (2g)] = ((\lambda \times l) / d_e + \sum \zeta_{MC}) \times [w^2 / (2g)],$$

где

H_{ob} — суммарные потери напора, складывающиеся из потерь на трение в трубах H_T и потерь в местных сопротивлениях H_{MC} ;

λ — коэффициент трения;

l — длина трубопровода, м;

d_e — эквивалентный диаметр трубопровода, м;

w — скорость потока, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$w^2 / (2g)$ — скоростной напор, м;

$\sum \zeta_{MC}$ — сумма всех коэффициентов местных сопротивлений.

При этом напор, создаваемый насосом, и расход перекачиваемой жидкости (подача) зависят друг от друга. Эта зависимость отображается графически в виде характеристики насоса. Вертикальная ось (ось ординат) отражает напор насоса (H), выраженный в метрах (м). Возможны также другие масштабы шкалы напора.

На горизонтальной оси (ось абсцисс) нанесена шкала подачи насоса (Q), выраженная в кубометрах в час (m^3/h). Возможны также другие масштабы шкалы подачи, например литров в минуту (l/min). Форма характеристики показывает следующие виды зависимости: энергия электропривода (с учетом общего КПД) преобразуется в насосе в такие формы гидравлической энергии, как давление и скорость. Если насос работает при закрытом клапане, он создает максимальное давление. В этом случае говорят о напоре насоса H_0 при нулевой подаче.

При открывании клапана перекачиваемая среда приходит в движение. За счет этого часть энергии привода преобразуется в кинетическую энергию жидкости. Поддержание первоначального давления становится невозможным.

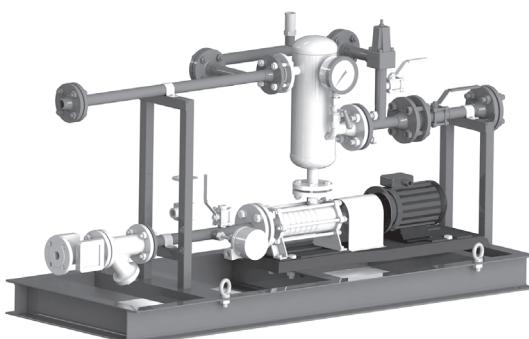


Рис. 3.1. Насосная самовсасывающая установка Vortex производства завода «Газ-Сервис»

Характеристика насоса приобретает форму падающей кривой. Теоретически характеристика насоса пересекается с осью подачи. Тогда перекачиваемая среда обладает только кинетической энергией, то есть давление уже не создается. Однако, так как в системе трубопроводов всегда имеет место внутреннее сопротивление, в реальности характеристики насосов обрываются до того, как будет достигнута ось подачи.

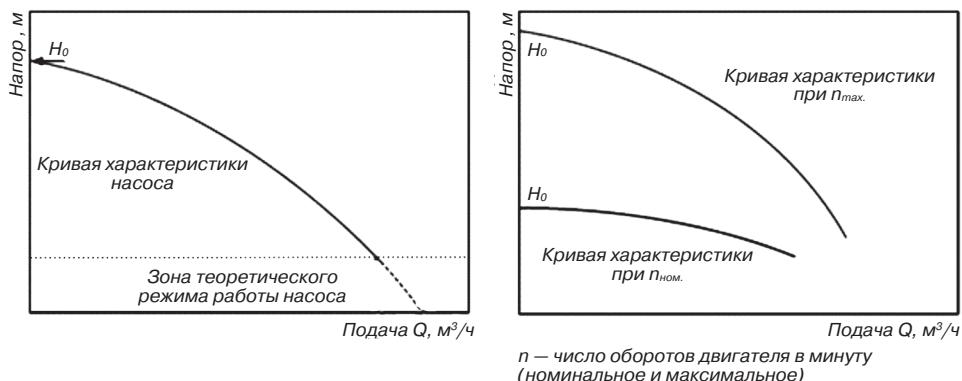


Рис. 3.2. Характеристики насосов

На рисунках видно, что кривая характеристики насоса зависит от скорости вращения двигателя, поэтому конструктивно идентичные насосы могут иметь отличные друг от друга характеристики.

Допускаемый кавитационный запас (сокр. — ДКЗ, аналог англ. понятию — NPSH) — это разница между давлением на впуске и минимальным уровнем давления внутри насоса. Таким образом, ДКЗ (NPSH) представляет собой выражение потери давления, происходящей внутри передней части корпуса насоса.

Давление внутри насоса меняется от впускного отверстия на стороне всасывания до выпускного отверстия со стороны разгрузки. В передней части насоса происходит снижение давления перед последующим его увеличением на разгрузочной стороне до уровня, превышающего давление на входе.

При слишком низком давлении на входе, ДКЗ (NPSH) приведет к снижению минимального давления внутри насоса ниже давления испарения перекачиваемой жидкости. Это обуславливает возникновение в насосе кавитации, вызывающей шум и приводящей к поломкам. Требуемое значение ДКЗ (NPSH) указано в технических данных насоса и показывает минимальное давление на стороне всасывания, необходимое для предотвращения кавитации в конкретном насосе при конкретном уровне расхода.

Расчет потребляемой мощности насоса

Выделяют несколько мощностей в зависимости от потерь при ее передаче, которые учитываются различными коэффициентами полезного действия. Мощность, идущая непосредственно на передачу энергии перекачиваемой жидкости, рассчитывается по формуле:

$$N_p = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H,$$

где

N_p — полезная мощность, Вт;

ρ — плотность перекачиваемой среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

Q — расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

H — общий напор, м.

Глава 3. Насосы, насосные и насосно-счетные установки

Мощность, развиваемая на валу насоса, больше полезной, и ее избыток идет на компенсацию потерь мощности в насосе. Взаимосвязь между полезной мощностью и мощностью на валу устанавливается коэффициентом полезного действия насоса. КПД насоса учитывает утечки через уплотнения и зазоры (объемный КПД), потери напора при движении перекачиваемой среды внутри насоса (гидравлический КПД) и потери на трение между подвижными частями насоса, такими как подшипники и сальники (механический КПД):

$$N_B = N_{\text{п}}/\eta_H,$$

где

N_B — мощность на валу насоса, Вт;

$N_{\text{п}}$ — полезная мощность, Вт;

η_H — коэффициент полезного действия насоса.

В свою очередь мощность, развиваемая двигателем, превышает мощность на валу, что необходимо для компенсации потерь энергии при ее передаче от двигателя к насосу. Мощность электродвигателя и мощность на валу связаны коэффициентами полезного действия передачи и двигателя:

$$N_d = N_B / (\eta_p \times \eta_d),$$

где

N_d — потребляемая мощность двигателя, Вт;

N_B — мощность на валу, Вт;

η_p — коэффициент полезного действия передачи;

η_d — коэффициент полезного действия двигателя.

Окончательная установочная мощность двигателя высчитывается из мощности двигателя с учетом возможной перегрузки в момент запуска.

$$N_y = \beta \cdot N_d,$$

где

N_y — установочная мощность двигателя, Вт;

N_d — потребляемая мощность двигателя, Вт;

β — коэффициент запаса мощности.

Коэффициент запаса мощности может быть приближенно выбран из таблицы.

N, kBt	Менее 1	От 1 до 5	От 5 до 50	Более 50
β	2 – 1,5	1,5 – 1,2	1,2 – 1,15	1,1

Классификация насосов, насосных и насосно-счетных установок

Насосы делятся на две основные группы: динамические и объемные.

В свою очередь динамические насосы подразделяются на лопастные и насосы трения.

В динамических насосах жидкость перемещается при воздействии сил на незамкнутый объем жидкости, который непрерывно сообщается со входом в насос и выходом из него.

К лопастным насосам относятся центробежные, а к насосам трения — вихревые. В лопастных насосах энергия передается жидкости при обтекании лопастей вращающегося рабочего колеса насоса.

В насосах трения жидкость перемещается под воздействием сил трения.

К объемным можно отнести шиберные насосы. В объемных насосах жидкость перемещается (вытесняется) при периодическом изменении замкнутого объема жидкости, который также периодически сообщается со входом в насос и выходом из него.

По способу размещения насосы подразделяются на наружные (т.н. сухие), погружные, а также емкостные вертикальные.

По принципу действия насосы бывают самовсасывающие и несамовсасывающие. К первым относятся вихревые и центробежные насосы, создающие вакuum в рабочей камере (ступени) в процессе своей работы. В центробежных насосах жидкость движется от его центра к периферии. Самовсасывающие насосы могут иметь как одну, так и несколько ступеней всасывания. Однако количество ступеней не влияет на общий принцип работы данного оборудования. В любом случае жидкость перемещается под действием центробежной силы, образуемой их вращающимися рабочими колесами.

Под насосными установками подразумевают компактные блоки в составе насоса, электродвигателя (или редуктора, или иного устройства, передающего крутящий момент с двигателя), а также ресивера, фильтра и запорной арматуры, смонтированных на единой раме.

В состав насосно-счетной установки помимо вышеперечисленного оборудования входит также счетчик либо массовый расходомер.

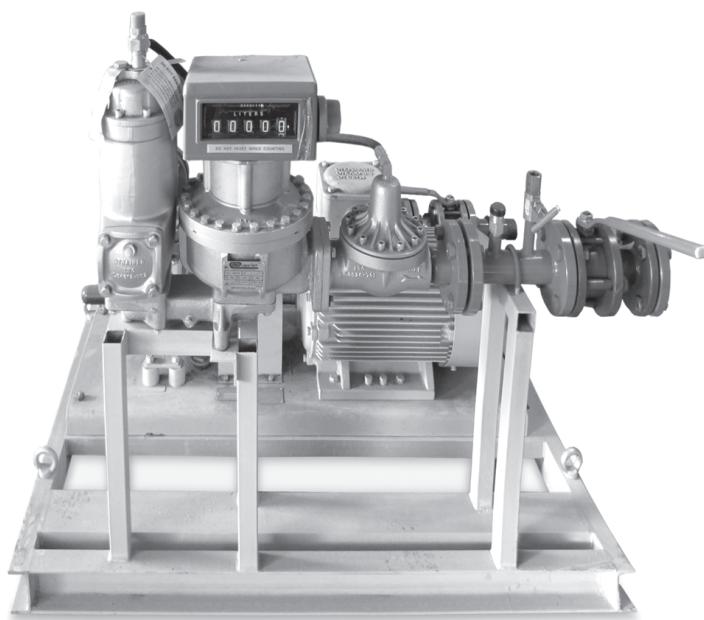


Рис. 3.3. Насосно-счетная установка Vortex производства завода «Газ-Сервис»

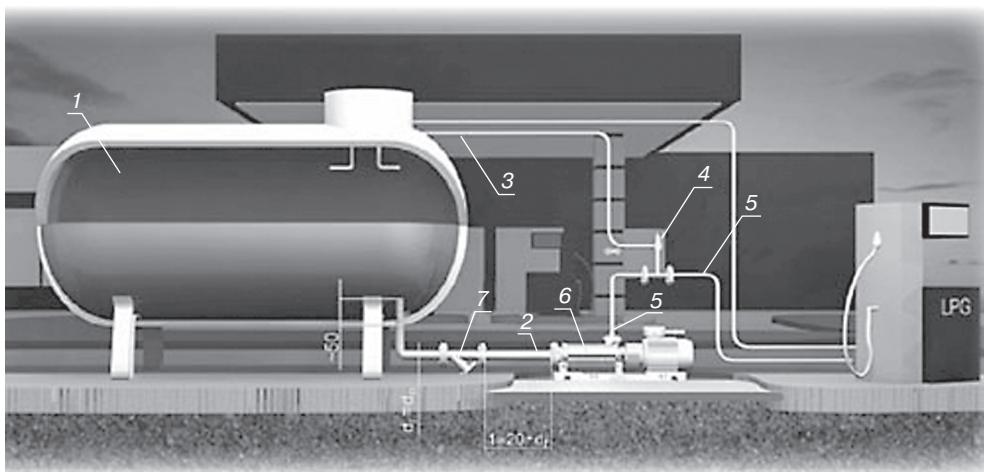


Рис. 3. 4. Примерная схема установки и обвязки лопастного центробежного насоса в совместной работе с наземным резервуаром:
1 — резервуар-хранилище; 2 — трубопровод подачи жидкой фазы СУГ; 3 — трубопровод паровой фазы; 4 — байпасный клапан; 5 — выход жидкой фазы СУГ после насоса; 6 — насос; 7 — фильтр

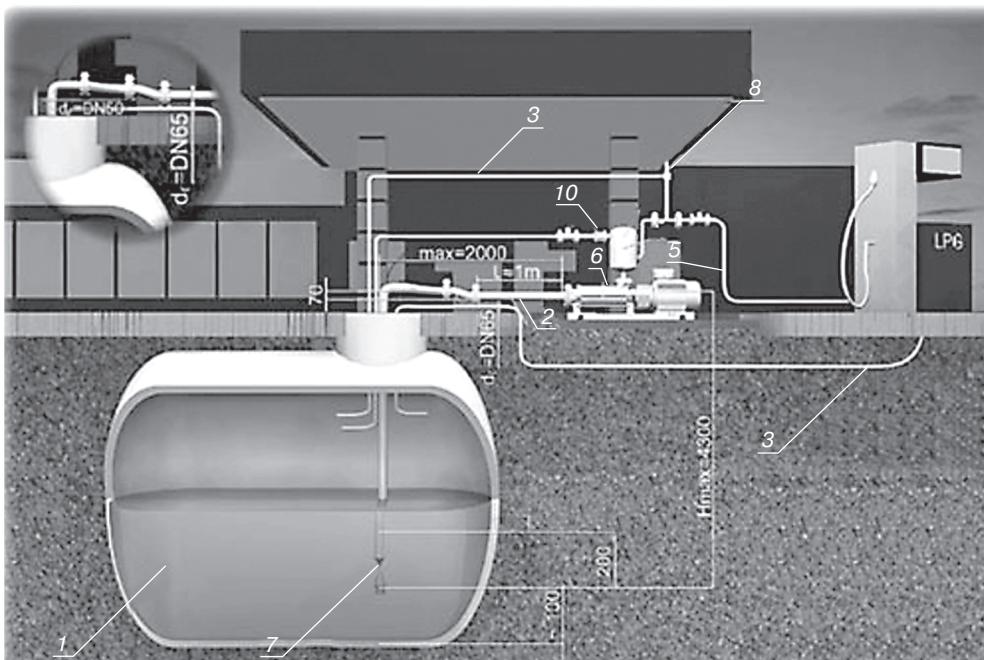


Рис. 3. 5. Примерная схема установки и обвязки лопастного центробежного насоса в совместной работе с подземным резервуаром:
1 — резервуар-хранилище; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — трубопровод газовой фазы; 4 — сепаратор; 5 — выход жидкой фазы СУГ после насоса; 6 — насос; 7 — обратный клапан; 8 — байпасный клапан