

Задача

Определить основные рабочие технологические параметры центробежного насоса, откачивающего нефть из резервуара с абсолютным давлением над уровнем нефти P_0 . Давление на входе и выходе насоса равно соответственно P_1 и P_2 и измеряется манометрами в точках с геодезическими отметками Z_1 и Z_2 . Показания расходомера насоса и ваттметра двигателя насоса составляют соответственно Q и W .

Основные параметры насоса: диаметры всасывающего и нагнетательного патрубков равны между собой и равны D , частота вращения вала насоса n , номинальные параметры насоса Q_0 и H_0 , допустимый кавитационный запас насоса при перекачке нефти $h_{\text{доп}}$.

Насос перекачивает нефть плотностью ρ и с давлением насыщенных паров P_s . Потери напора во всасывающем трубопроводе принять равными $3m$.

Примечание.

К основным рабочим технологическим параметрам насоса относятся: напор, развиваемый насосом; допустимая высота всасывания; коэффициент быстроходности, полезная мощность насоса; к.п.д. насосного агрегата.

Численные значения параметров насоса и характеристика перекачиваемой насосом нефти даны в таблице.

Таблица

Рабочие параметры насоса

Параметр	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Марка насоса	ЦНС 105-245	ЦНС 105-490	ЦНС 180-170	ЦНС 180-340	ЦНС 180-500	ЦНС 300-240	ЦНС 300-360	ЦНС 300-540	ЦНС 500-160	ЦНС 500-320
P_0 , кГс/см ²	1,04	1,01	1,02	1,03	1,00	1,05	1,02	1,03	1,04	1,05
P_1 , кГс/см ²	3,50	4,62	3,25	2,25	3,24	4,52	5,32	3,33	3,40	3,15
P_2 , кГс/см ²	24,6	49,8	16,7	32,2	49,8	26,3	35,0	52,2	17,3	30,8
Z_1 , м	1,1	1,0	1,0	1,1	0,9	1,2	0,9	1,1	0,9	1,0
Z_2 , м	1,4	1,6	1,5	1,6	1,4	1,0	1,6	1,8	1,7	1,9
Q , м ³ /ч	98	110	195	200	182	293	305	315	485	520
W , кВт	70	187	98	222	302	251	320	515	243	486
D , мм	150	150	200	200	200	250	250	250	300	300
n , об/мин	3000	3000	1500	1500	3000	1500	1500	1500	1500	1500
$h_{\text{доп}}$, м	5,5	5,5	4	4	4	4,5	4,5	4,5	5	5
ρ , т/м ³	0,850	0,855	0,860	0,865	0,870	0,850	0,855	0,860	0,865	0,870
P_s , мм.рт.ст	800	920	850	1100	895	780	1200	1415	1480	1200

К основным параметрам центробежных насосов относятся величины, которые характеризуют работу насосов как гидравлических машин, а именно:

1. Производительность или подача;
2. Давление на входе и выходе насоса (напор на входе и выходе);
3. Полное давление, развиваемое насосом;
4. Полный напор, развиваемый насосом;
5. Коэффициент полезного действия;
6. Мощность;
7. Кавитационный запас насоса;
8. Критический и допустимый кавитационные запасы насоса;
9. Допустимая высота всасывания насоса;
10. Коэффициент быстроходности насоса.

Подача или производительность насоса – количество жидкости, подаваемое насосом в нагнетательный трубопровод в единицу времени. Различают производительность массовую M и объемную Q . Между собой они связаны соотношением

$$Q = \frac{M}{\rho}$$

где ρ – плотность жидкости

Полное давление, развиваемое насосом рассчитывается по формуле:

$$P = (P_2 - P_1) + \rho \frac{U_2^2 - U_1^2}{2} + \rho g(Z_2 - Z_1) \quad (1)$$

где P_1 и P_2 - давление на входе и выходе насоса, Па; U_1 и U_2 - скорость жидкости на входе и выходе, м/с; g – ускорение свободного падения; Z_1 и Z_2 - геодезические отметки манометров, которыми измеряют давления P_1 и P_2 .

Полный напор, развиваемый насосом, определяется при помощи формулы 1 и на основе известного соотношения между давлением и напором

$$P = \rho g H \quad (2)$$

где H – полный напор, развиваемый насосом.

Поскольку центробежные насосы одновременно являются механизмом и гидравлической машиной, то их работа оценивается с помощью нескольких **коэффициентов полезного действия**: η_{Γ} - гидравлический КПД; η_{O} - объемный КПД; η_{M} - механический КПД;

С помощью η_{Γ} оцениваются потери гидравлической энергии (потери напора) в проточной части насоса. С помощью η_{O} оцениваются объемные потери энергии в насосе, возникающие в результате утечек и протечек жидкости в уплотнениях. С помощью η_{M} оцениваются потери энергии в узлах трения насосов (подшипниках концевых уплотнителях).

Общий КПД насоса равен:

$$\eta = \eta_{\Gamma} \times \eta_{\text{O}} \times \eta_{\text{M}} \quad (3)$$

Применительно к насосам различают несколько видов **мощности**:

- полезная мощность:

$$N_{\text{пол}} = P \times Q = \rho g H Q; \quad (4)$$

- мощность, потребляемая насосом:

$$N = \frac{N_{пол}}{\eta}; \quad (5)$$

- мощность насосно-силового агрегата:

$$N_{НСА} = \frac{N_{пол}}{\eta_{дв} \eta_{пер} \eta}, \quad (6)$$

где $\eta_{дв}$ – КПД двигателя; $\eta_{пер}$ – КПД механической передачи между двигателем и насосом.

Кавитационный запас насоса – это избыток удельной энергии жидкости на входе в насос над удельной энергией насыщенных паров жидкости:

$$h = \frac{\left(P_1 + \rho \frac{U_1^2}{2} \right) - P_s}{\rho g}, \quad (7)$$

где P_s – давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости

В процессе эксплуатации насосов давление, в какой либо точке их всасывающего тракта может оказаться равным или меньшим давлению насыщенных паров жидкости. В этой точке жидкость практически мгновенно переходит в газообразное состояние, образуя пузырьки с паром. Данные пузыри потоком жидкости переносятся в область повышенного давления в проточной части насоса, где за счет повышения давления пар в пузырьках конденсируется и пузыри схлапываются. Рассмотренный процесс называется кавитацией. При схлапывании пузырьков в объем, ранее занимаемый ими, со всех сторон устремляется жидкость, и в точках схлапывания происходит сильный гидроудар со скачком давления в несколько сот атмосфер. Если в момент схлапывания пузырек находился на поверхности детали, отмеченный удар приходится по этой детали. Несмотря на значительный скачек давления мощность удара сравнительно невелика, ввиду небольших размеров пузырьков и деталь не разрушается. Однако в результате множественности ударов происходит интенсивное старение металла детали. Он теряет пластичность и становится хрупким. При очередной кавитации металл на поверхности детали выкрашивается - прочность детали снижается, ее поверхность становится шероховатой, что приводит к повышению потерь энергии внутри насоса и к снижению гидравлического и общего КПД насоса.

Отмеченные достаточно тяжелые последствия от кавитации являются весьма отдаленными по времени. Но существуют негативные последствия, возникающие сразу же при кавитации:

1. Резкое повышение вибрации насоса.
2. Резкое падение напора и КПД, а так же подачи.
3. При сильно развитой кавитации полный срыв подачи.

Все перечисленное не допускает эксплуатацию насосов в кавитационном режиме. Наиболее кардинальное предотвращение кавитации - поддержание во всех точках всасывающего тракта давление выше давления насыщения паров жидкости.

Критический кавитационный запас насоса – это минимальный избыток удельной энергии жидкости на входе в насос над удельной энергией насыщенных паров жидкости, при котором в насосе не возникает кавитации.

Допустимый кавитационный запас насоса:

$$\Delta h_{\text{дон}} = \kappa \cdot \Delta h_{\text{кр}} \quad (8)$$

где κ – коэффициент запаса, принимаемый в размере 1,1-1,35; $\Delta h_{\text{кр}}$ – критический кавитационный запас.

Допустимая высота всасывания насоса - это максимальная высота, на которую насос может поднять жидкость во всасывающем трубопроводе над уровнем жидкости в резервуаре откачки, при которой в насосе не будет кавитации:

$$H_s = \frac{P_0 - P_s}{\rho g} - \frac{U_1^2}{2g} - \Delta h_{\text{дон}} - h_{\text{вс}}, \quad (9)$$

где P_0 - давление над уровнем жидкости в резервуаре откачки; $h_{\text{вс}}$ - потери напора во всасывающем трубопроводе.

Рассчитанное по формуле 9 значение H_s может быть как положительным, так и отрицательным. Положительное значение свидетельствует о том, что насос в данной ситуации обладает самовсасывающей способностью и может поднять жидкость во всасывающем трубопроводе над уровнем её в резервуаре откачки, но на высоту не более рассчитанного. Отрицательное значение H_s свидетельствуют об отсутствии у насоса самовсасывающей способности. Для придания насосу работоспособности в данном случае на его входе необходимо поддерживать напор не менее рассчитанного отрицательного значения H_s взятого по абсолютной величине (подпор).

Коэффициент быстроходности насоса определяется формулой:

$$n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}, \quad (10)$$

где n – номинальные обороты ротора, мин⁻¹; Q – номинальная подача м³/с; H – номинальный напор, м.

Коэффициент быстроходности насосов – это своеобразный критерий в зависимости от численного значения, которого насосы подразделяются на:

1. Тихоходные $n_s = 40-80$
2. нормальной быстроходности $n_s = 80-150$
3. быстроходные $n_s = 150-300$