

Рязанов Алексей. С17-АЭ. ЦНН-1

1. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

| Наименование параметра | Значение |
|--|-------------------------|
| Прототип насоса | ЦНН-1 |
| Подача, м ³ /ч | $Q = 650$ |
| Напор, м | $H = 92$ |
| Манометрическое давление на всасе, Па | $P = 0,03 \cdot 10^6$ |
| Атмосферное давление, Па | $P_{\text{атм}} = 10^5$ |
| Давление насыщенных паров натрия, Па | $P_{\text{нп}} = 164,4$ |
| Температура натрия на всасе, °С | $T = 450$ |
| Плотность натрия при данной температуре, кг/м ³ | $\rho = 844$ |
| Ускорение свободного падения, м/с ² | $g = 9,81$ |

Из исходных данных, а именно – избыточное давление на всасе насоса – $P = 0,03$ МПа, следовательно абсолютное давление составляет:

$$P_{\text{абс}} = P + P_{\text{атм}} = 0,03 + 0,1 = 0,13 \text{ МПа,}$$

2. Определим располагаемый кавитационный запас системы:

$$\Delta h_{\text{рас}} = \frac{P_{\text{абс}} - P_{\text{нп}}}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g}, \text{ где}$$

$P_{\text{абс}}$ – абсолютное статическое давление системы, Па

$P_{\text{нп}}$ – давление насыщенных паров, Па

v – скорость среды на входе в насос, м/с

Т.к. на начальном этапе значение скоростей неизвестно, то опустим это слагаемое, в конечном итоге это допущение только лишь увеличит располагаемый кавитационный запас. Таким образом:

$$\Delta h_{\text{рас}} = \frac{0,13 \cdot 10^6 - P_{\text{нп}}}{844 \cdot 9,81} = 15,681 \text{ м}$$

3. Выбор частоты вращения ротора

Если в качестве привода насоса используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, то синхронная частота вращения ротора составит:

$$n_{\text{син}} = 60 \frac{f}{k} = 60 \frac{50}{1} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \text{ при } f = 50 \text{ Гц, и } k = 1.$$

Таким образом, максимальная частота вращения не может превышать 3000 об/мин. Необходимо учитывать скольжение ротора двигателя, которое определяется по формуле:

$$n = n_{\text{син}} \cdot \left(1 - \frac{s}{100}\right)$$

$$\text{при } s = 3\% \text{ и } n_{\text{син}} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \rightarrow n = 3000 \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 2910 \text{ об/мин}$$

Коэффициент быстроходности рабочего колеса определяется по формуле:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{0,75}} = \frac{3,65 \cdot 2910 \cdot \sqrt{0,181/2}}{92^{0,75}} = 107$$

Кавитационный коэффициент для проходного вала

$$C_{кр} = 1,6 \cdot n_s + 600 = 772$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

| Наименование параметра | Значение | | |
|---|----------|-------------|------|
| Частота вращения ротора синхронная n_{sin} , об/мин | 3000 | 1500 | 1000 |
| Частота вращения ротора n , об/мин (скольжение 3%) | 2910 | 1455 | 970 |
| Коэффициент быстроходности n_s | 107 | 54 | 36 |
| Кавитационный коэффициент быстроходности $C_{кр}$ | 772 | 686 | 657 |
| Располагаемый кавитационный запас $\Delta h_{рас}$, м | 15,7 | 15,7 | 15,7 |
| Критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$, м | 11,8 | 5,5 | 3,4 |
| Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{доп} = 1,2 \Delta h_{кр}$, м | 14,2 | 6,6 | 4,1 |
| Отношение располагаемого запаса к критическому $\frac{\Delta h_{рас}}{\Delta h_{кр}}$ | 1,3 | 2,9 | 4,6 |

Кавитация отсутствует при условии $\Delta h_{рас} > \Delta h_{доп}$. Это условие выполняется при частоте вращения ротора 3000, 1500, 1000 об/мин. Для дальнейших расчетов принимаем частоту вращения $n_{sin} = 1500$ об/мин.

4. Определение размеров рабочего колеса с помощью диаграмм

Согласно данным диаграммы все определяемые параметры являются функцией быстроходности насоса и могут быть рассчитаны по формуле:

$$X = K_X \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}$$

Таким образом, определив коэффициент быстроходности насоса по соответствующим значениям коэффициентов диаграммы можно определить:

$$D_2 = K_{D_2} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}; \quad b_2 = K_{b_2} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}; \quad D_e = K_{D_e} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}; \quad b_1 = K_{b_1} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} \quad \text{и т.д.}$$

На основании полученных результатов проводится анализ выполнения требования заданных исходных данных. Полученные на данном этапе геометрические размеры используются в качестве предварительных данных при проведении детальных расчетов.

Полученные результаты приведены в таблице 3

Таблица 3

| | | | | | |
|-----------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Значение коэффициента | $KD_0 = 28$ | $KD_1 = 26,3$ | $Kb_1 = 6,1$ | $KD_2 = 84,7$ | $Kb_2 = 2,4$ |
| Размер колеса, мм | $D_0 = 184,6$ | $D_1 = 173,2$ | $b_1 = 40,2$ | $D_2 = 558,1$ | $b_2 = 15,8$ |

5. Расчет мощности проточной части насоса

Гидравлический КПД насоса

$$\eta_{\Gamma} = \frac{0,42}{\left(\frac{1}{\ln(10)} \cdot \ln(D_{1np}) - 0,173\right)^2} = 0,9$$

Объемный КПД насоса

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot n_s^{-0,66}} = 0,954$$

КПД дискового трения (механический КПД)

$$\eta_{дт} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_s^2}} = 0,779$$

КПД проточной части

$$\eta = \eta_{об} \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{дт} = 0,669$$

Мощность проточной части насоса определяется по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta} = 205,5 \text{ кВт}$$

Мощность с учётом перегрузки

$$N_{max} = 1,2 \cdot N = 246,6 \text{ кВт}$$

Момент на валу насоса

$$M = 97500 \cdot \frac{N_{max}}{n} = 1,65 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{см}$$

Расход через колесо насоса с учетом объемного КПД насоса

$$Q_{\Gamma} = \frac{Q}{\eta_{об}} = \frac{0,181/2}{0,954} = 0,095 \text{ м}^3/\text{с}$$

----- Расчет габаритов радиального колеса одинарной кривизны /Ломакин/ -----
Область применимости метода расчета $n_s = 30 - 150$



Исходные данные:

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| Подача, м ³ /ч | Q ≡ 650 |
| Напор, м | H ≡ 92 |
| Расп. кав. запас, м | ΔH _{рас} ≡ 15.681 |
| Плотность, кг/м ³ | ρ ≡ 844 |

Принимаем:

| | |
|--|-------------------------|
| Количество ступеней | Zst ≡ 1 |
| Количество потоков | Zpot ≡ 2 |
| Скольжение, % | S ≡ 3 |
| Синхронная частота, об/мин | n _{син} ≡ 1500 |
| Козфф. Скр (= 0, при расчете f(n _s)) | Ckr ≡ 0 |

Результаты расчета

| | |
|---|--|
| Частота вращения, об/мин | n = 1455 |
| Кэффициент быстроходности одной ступени и одного потока | ns = 54 |
| КПД проточной части | η = 0.669 |
| Мощность проточной части, кВт | N = 205.4 |
| Кавитационный коэффицент Скр | Ckr = 686 |
| Критический кав. запас, м | ΔH _{кр} = 5.48 |
| Допускаемый кав. запас, м | ΔH _{доп} = 6.6 |
| Отношение | $\frac{\Delta H_{рас}}{\Delta H_{кр}} = 2.9$ |

6. Расчет размеров рабочего колеса на входе

Приведённый диаметр

$$D_{\text{пр}} = 4,25 \cdot 1000 \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^{\frac{1}{3}} = 168,253$$

Диаметр вала

$$D_{\text{в}} = 10 \cdot \left(\frac{M}{0,2 \cdot 150}\right)^{1/3} = 82 \text{ мм}$$

Диаметр втулки под рабочим колесом

$$D_{\text{вт}} = 1,25 \cdot D_{\text{в}} = 102,5 \text{ мм}$$

Критический кавитационный запас

$$h_{\text{кр}} = 10 \cdot \left(\frac{n \cdot \sqrt{Q}}{C_{\text{кр}}}\right)^{4/3} = 5,48 \text{ м}$$

Допускаемый кавитационный запас

$$h_{\text{доп}} = 1,2 \cdot h_{\text{кр}} = 6,6$$

Принимаем $Kv_0 = 0,06$ – коэффициент входной скорости

Скорость на входе

$$v_0 = Kv_0 \cdot (Q_{\text{т}} \cdot n^2)^{1/3} = 3,51 \text{ м/с}$$

Диаметр входа в рабочее колесо

$$D_0 = 1000 \cdot \sqrt{\left(4 \cdot \frac{Q_{\text{т}}}{\pi \cdot v_0}\right) + \left(\frac{D_{\text{вт}}}{1000}\right)^2} = 211,7$$

Принимаем $D_{\text{осн}} = 0,95$

Диаметр расположения входных кромок лопаток

$$D_1 = D_{\text{осн}} \cdot D_0 = 201,1 \text{ мм}$$

Принимаем $Kvm1 = 0,85$

Меридианная скорость на входе

$$Vm1p = Kvm1 \cdot v_0 = 0,85 \cdot 4,7 = 2,98 \text{ м/с}$$

Ширина лопасти на входе

$$b1 = \frac{1000 \cdot Q_{\text{т}}}{\pi D1 Vm1p \cdot 0.001} = 50,2 \text{ мм}$$

Окружная скорость лопасти на входе

$$u1 = 0,001 D1 \pi \frac{n}{60} = 0,001 \cdot 201,1 \cdot 3,14 \frac{1455}{60} = 15,32 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Принимаем $\beta1 = 21^\circ$ $Z=7$

$$S = \left(\frac{1,25-1}{1,25}\right) \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \frac{\sin\left(\pi \cdot \frac{\beta1}{180}\right)}{Z} = 6,47 \text{ мм}$$

Коэффициент затеснения

$$K1 = \frac{1}{1 - \frac{Z \cdot S}{\pi D1 \sin \frac{\pi \beta 1}{180}}} = \frac{1}{1 - \frac{8 \cdot 6,47}{3,14 \cdot 201,1 \sin \frac{3,14 \cdot 21}{180}}} = 1,25$$

Угол потока на входе

$$\beta 10 = \frac{180}{\pi} \arctg \frac{Vm1p \cdot K1}{u1} = \frac{180}{3,14} \arctg \frac{2,98 \cdot 1,25}{15,32} = 13,7^\circ$$

Угол атаки

$$\delta 1 = \beta 1 - \frac{180}{\pi} \arctg \frac{Vm1p \cdot K1}{u1} = 21 - \frac{180}{3,14} \arctg \frac{2,98 \cdot 1,25}{15,32} = 7,32^\circ$$

Меридианная скорость на входе с учетом затеснения

$$Vm1 = K1 \cdot Vm1p = 1,25 \cdot 2,98 = 3,73 \text{ М/с}$$

Подача на ступень с учетом объемных протечек

$$Q1 = \frac{Q_{pot}}{n_{ob}} = \frac{0,181/2}{0,954} = 0,095 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Относительная скорость на входе

$$W1 = \frac{Vm1}{\sin \frac{\pi \beta 1}{180}} = \frac{3,73}{\sin \frac{3,14 \cdot 21}{180}} = 10,41 \text{ М/с}$$

$$\Delta H_{kr} = m_o \frac{v_0^2}{2g} + n_o \frac{W1^2}{2g} = 5,83 \text{ м}$$

$$C_{kr} = \frac{n \sqrt{Q_{pot}}}{(0,1 \cdot \Delta H_{kr})^{0,75}} = 656$$

Принимаем $Kvm2 = 1$

Меридианная скорость на выходе

$$Vm2p = Kvm2 \cdot Vm1p = 1 \cdot 2,98 = 2,98 \text{ М/с}$$

Теоретический напор

$$H_T = \frac{H}{\eta_r} = \frac{92}{0,9} = 102,22 \text{ м}$$

7. Расчет размеров рабочего колеса на выходе

Окружая скорость на выходном диаметре (начальное приближение)

$$u2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_T} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 102,22} = 44,8 \text{ М/с}$$

Диаметр рабочего колеса на выходе (начальное приближение)

$$D2 = \frac{1000 \cdot 2 \cdot u2}{\frac{\pi n}{30}} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 44,8}{\frac{3,14 \cdot 1455}{30}} = 587,728 \text{ мм}$$

Принимаем $\beta 2 = 25^\circ$

$$\left\{ \begin{array}{l} P1 = \frac{2}{Z1 \cdot Z2 \cdot \text{otn}} \cdot \frac{0,6 + 0,6 \cdot \sin \frac{\pi \beta 2}{180}}{1 - \left(\frac{D1pr}{D2} \right)^2} \\ K2 = \frac{1}{1 - \frac{Z \cdot S}{\pi D2 \sin \frac{\pi \beta 2}{180}}} \\ u2 = \frac{K2 \cdot Vm2p}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi \beta 2}{180}} + \sqrt{\left(\frac{K2 \cdot Vm2p}{2 \operatorname{tg} \frac{\pi \beta 2}{180}} \right)^2 + g(1 + P1)H_T} \\ D2 = 1000 \cdot \frac{60u2}{\pi n} \end{array} \right.$$

Диаметр рабочего колеса на выходе

$$D2 = 517,3 \text{ мм}$$

Окружная скорость на наружном диаметре

$$u2 = 39,41 \text{ м/с}$$

Коэффициент затеснения

$$K2 = 1,04$$

Поправка на конечное число лопастей

$$P1 = 0,3$$

Окружная составляющая абсолютной скорости на выходе

$$Vu2 = g \cdot \frac{H_T}{u2} = 9,81 \cdot \frac{102,22}{39,4} = 25,43 \text{ м/с}$$

Меридианная скорость на выходе с учетом затеснения

$$Vm2 = K2 \cdot Vm2p = 1 \cdot 2,98 = 3,11 \text{ м/с}$$

Относительная скорость на выходе

$$W2 = \frac{Vm2p}{\sin \frac{\pi \beta 2}{180}} = \frac{3,11}{\sin \frac{3,14 \cdot 25}{180}} = 7,36 \text{ м/с}$$

Коэффициент торможения относительной скорости в колесе

$$Kw = \frac{W1}{W2} = \frac{10,41}{7,36} = 1,41$$

Ширина колеса на выходе

$$b2 = \frac{Q_T}{\pi \cdot D2 \cdot Vm2p} = \frac{0,095}{3,14 \cdot 517,3 \cdot 2,98} = 19,5 \text{ мм.}$$

Угол абсолютной скорости на выходе

$$\alpha 2 = \frac{180}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \frac{Vm2p}{Vu2} = 6,7^\circ$$

Абсолютная скорость на выходе из колеса

$$V2p = \sqrt{Vu2^2 + Vm2p^2} = \sqrt{25,4^2 + 2,98^2} = 25,4 \text{ М/с}$$

Варьируемые параметры

Рекомендуемый диапазон, либо значение

$\eta_g = 0.9$
 $\eta_{ob} = 0.954$
 $\eta_{dt} = 0.779$
 $/Kvo=0.06 - 0.08/$
 $/Kvm1=0.5 - 1.1/$
 $/Kvm2=0.5 - 1 /$
 $/D1osn_{otn}=D1/Do=0.8 - 1/$
 $/D1prom_{otn}=D1_{pr}/D1/$
 $dval_{1st} = 82$ $dval_{Zst} = 82$
 $/ \text{консольное ПК } dvt = 0/$ $_{dvt_{Zst}} = 102.5$
 $_{S1} = 6.47$
 $_{S2} = 5.32$
 $_{Z2} = 9$
 $/ W1D1/W2 < 1.4 ; \text{ для } ns < 60 \text{ до } 2.5 /$
 $/ \beta_1 = 20-25. \quad \delta_1 = 3 - 8 \text{ гр ; для } ns < 60 \text{ до } 15 - 18 /$
 $/ \text{Оптим. по опасн. возникн. кавитации } \beta_{1p} \sim 18 \text{ гр}$
 $mo=1-1.2; no=0.3-0.4 \text{ рек.принять } mo=1.2 \text{ } no=0.4 /$

Принимае

$\eta_g \equiv 0.9$
 $\eta_{ob} \equiv 0.954$
 $\eta_{dt} \equiv 0.779$
 $Kvo \equiv 0.06$
 $Kvm1 \equiv 0.85$
 $Kvm2 \equiv 1$
 $D1osn_{otn} \equiv 0.95$
 $D1prom_{otn} \equiv 1$
 $dvt \equiv 102.5$
 $S1 \equiv 6.47$
 $S2 \equiv 4$
 $Z1 \equiv 7$ $Z2 = 7$
 $Z2otn \equiv 1$
 $\beta_2 \equiv 25$
 $\beta_1 \equiv 21$
 $mo \equiv 1.2$ $no \equiv 0.4$

Результаты расчета

$\Delta H_{kr} = 5.83$
 $\Delta H_{ras} = 2.69$
 $\Delta H_{kr} = 2.69$
 $C_{kr} = 656$
 $Do = 211.7$
 $D1 = 201.1$
 $D1_{pr} = 201.1$
 $b1 = 50.2$
 $K1 = 1.25$
 $Vo = 3.51$
 $Vm1p = 2.98$
 $Vm1 = 3.73$
 $W1D1 = 10.41$
 $W1oD1 = 15.77$
 $u1D1 = 15.32$
 $u1Do = 16.13$
 $\delta_1 = 7.32$
 $\beta_{1o} = 13.7$
 $\beta_{1p} = 11$
 $H = 92$
 $Ht = 102.22$
 $\frac{H}{Zst} = 92$
 $\eta = 0.669$
 $N = 205.5$
 $Nmax = 246.6$
 $P = 0.287$
 $D2 = 517.3$
 $b2 = 19.5$
 $K2 = 1.04$
 $Vu2 = 25.43$
 $Vm2p = 2.98$
 $Vm2 = 3.11$
 $W2 = 7.36$
 $u2 = 39.41$
 $\alpha_2 = 6.69$
 $\frac{W1D1}{W2} = 1.41$

Диаграмма Айзенштейн (ns = 30 - 250)

$D0ekv = 158.2$ $D1 = 173.2$ $D1oc = 0$ $D0 = 184.6$ $D2 = 558.1$
 $dvt = 95.1$ $b1 = 40.2$ $b2 = 15.8$