

## 1. Исходные данные

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Наименование параметра	Значение
Подача Q,	650
Напор Н, м	92
Давление на входе в насос P, МПа	0,03
Температура натрия на входе в насос T, °С	450
Плотность натрия при данной температуре 450 °С $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	844
Давление насыщенных паров натрия $P_{нп}$ , Па	164,4

## 2. Определим располагаемый кавитационный запас:

Располагаемый кавитационный запас определяется по формуле

$$\Delta h_{рас} = \frac{P_c}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} - \frac{P_{нп}}{\rho \cdot g}$$

где:  $P_c = P + P_a$  – абсолютное статическое давление на входе в насос, Па

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

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

$$\frac{P_c}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} - \text{полная удельная энергия потока } (E_{вх}) \text{ на входе в насос.}$$

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:

$$\Delta h_{рас} = \frac{P_c - P_{нп}}{\rho \cdot g} = \frac{0,13 \cdot 10^6 - 164,4}{844 \cdot 9,81} = 15,7 \text{ м}$$

Тогда  $\Delta h_{рас} = 15,7$  м. Расчет уточненного значения располагаемого кавитационного запаса будет проведен после расчета геометрии рабочего колеса насоса.

## 3. Выбор частоты вращения ротора

Расчет выполняется следующим образом.

## 3.1 Задаемся частотой вращения ротора.

$$n = n_{\sin} \cdot \left(1 - \frac{s}{100}\right) = 3000 \cdot \left(1 - \frac{3,33}{100}\right) = 2900 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \text{ где } s = 3,33\% - \text{скольжение.}$$

## 3.2 Определяем коэффициент быстроходности.

**Прошу обратить Ваше внимание на следующее:** 0,181 это величина подачи Q переведенная из м<sup>3</sup>/ч в м<sup>3</sup>/с, что требуется для расчета. Деление на 2 в следствии того, что я использую двухпоточное рабочее колесо для уменьшения габаритов рабочего колеса и уменьшения  $n_s$ .

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{0,75}} = \frac{3,65 \cdot 2900 \cdot \sqrt{\frac{0,181}{2}}}{92^{0,75}} = 107$$

Тип рабочего колеса - центробежное нормальное.

### 3.3 Определяем кавитационный коэффициент быстроходности.

Кавитационный коэффициент быстроходности определяем по рис. 3.1 [1, стр.35].

$$C_{кр} = 771$$

### 3.4 Определяем критический кавитационный запас.

$$\Delta h_{кр} = 10 \cdot \left[ \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{C_{кр}} \right]^{\frac{4}{3}} = 10 \cdot \left[ \frac{3000 \cdot \sqrt{\frac{0,181}{2}}}{772} \right]^{\frac{4}{3}} = 11,77 \text{ м}$$

### 3.5 Определяем критический кавитационный запас.

$$\Delta h_{доп} = 1,2 \cdot h_{кр} = 14,1 \text{ м}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов

Наименование параметра	Значение		
Частота вращения ротора синхронная $n_{\text{син}}$ , об/мин	<b>3000</b>	1500	1000
Частота вращения ротора $n$ , об/мин	<b>2900</b>	1450	970
Коэффициент быстроходности $n_s$	<b>107</b>	54	36
Кавитационный коэффициент быстроходности $C_{кр}$	<b>772</b>	686	657
Располагаемый кавитационный запас $\Delta h_{рас}$ , м	<b>15,7</b>	15,7	15,7
Критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$ , м	<b>11,8</b>	5,5	3,4
Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{доп} = 1,2 \Delta h_{кр}$ , м	<b>14,2</b>	6,6	4,0

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  $n_s = \mathbf{3000 \text{ об/мин.}}$

Данный вариант удовлетворяет большинству рекомендаций, соблюдаемых при проектировании насосов:  $n_s = 107$  гарантирует, что насос будет компактный, что видно по значению размеров колеса на входе и выходе (D2 и D0) (см. снимок экрана из программы Mathcad); высокий КПД насоса -  $\eta \approx 81\%$ ; хорошие кавитационные свойства. Так же лопатки колеса имеют простую форму и не имеют пространственную кривизну, что удобно отобразить на 2D чертеже.

## 4. Определение размеров рабочего колеса с помощью диаграмм

Для выбранного варианта определяются размеры рабочего колеса насоса с помощью диаграмм на рис. 3.3 [1, стр.37]. По диаграмме выбираем коэффициенты в зависимости от

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

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

где:  $X$  – определяемый параметр;

$K_x$  – соответствующий параметру коэффициент на диаграмме;

$H$  – напор насоса;

$n$  – частота вращения ротора насоса.

Тогда

$$D_0 = K_{D_0} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 44,6 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 147,4 \text{ мм};$$

$$b_1 = K_{b_1} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 13,8 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 45,5 \text{ мм};$$

$$D_2 = K_{D_2} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 87,6 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 289,7 \text{ мм};$$

$$b_2 = K_{b_1} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 6,1 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 20,1 \text{ мм};$$

Полученные результаты приведены в таблице 3

Таблица 3 - Результаты расчетов по диаграммам

Значение коэффициента	$KD_0 = 44,6$	$Kb_1 = 13,8$	$KD_2 = 87,6$	$Kb_2 = 6,1$
Размер колеса, мм	$D_0 = 147,4$	$b_1 = 45,5$	$D_2 = 289,7$	$b_2 = 20,1$

## 5. Расчет мощности приточной части насоса

Мощность проточной части насоса определяется по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta} = \frac{844 \cdot 0,181 \cdot 92}{102 \cdot 0,85} = 162,1 \text{ кВт}$$

где  $\eta \approx 0,85$  – КПД одноступенчатого насоса при  $n_s=107$  и подаче  $Q = 181$  л/с, значение определено по графику на рис. 3.2 [1, стр.36].

**Прошу обратить Ваше внимание на следующее**, что дальнейшее уменьшение  $b_2$ , через изменение  $K_{v0}$ ,  $K_{vm1}$ ,  $K_{vm2}$  приводит к уменьшению  $b_1$ . Но при данных значения были получены значения  $b_1$  и  $b_2$  близкие к значениям по диаграмме.

В случае со значением  $D_{vt}$ . Получил данное значение по формуле:  $D_{vt} = 1,25 \cdot D_v$ , где  $D_v$  – диаметр вала.

Снимок экрана из программы Mathcad – расчет габаритов колеса

## Исходные данные:

Подача, м <sup>3</sup> /ч	Q = 650
Напор, м	H = 92
Расп. кав. запас, м	$\Delta H_{\text{рас}} = 15.7$
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$\rho = 844$

### Принимаем:

Количество ступеней	Zst = 1
Количество потоков	Zpot = 2
Скольжение, %	S = 3.33
Синхронная частота, об/мин	n <sub>син</sub> = 3000
Козф. Скр (= 0, при расчете f(ns))	Ckr = 0

## Результаты расчета

Частота вращения, об/мин	n = 2900.1
Коэффициент быстроходности одной ступени и одного потока	ns = 107
КПД проточной части	$\eta = 0.806$
Мощность проточной части, кВт	N = 170.5
Кавитационный коэффициент Скр	Ckr = 771
Критический кав. запас, м	$\Delta H_{\text{кр}} = 11.77$
Допускаемый кав. запас, м	$\Delta H_{\text{доп}} = 14.1$
Отношение	$\frac{\Delta H_{\text{рас}}}{\Delta H_{\text{кр}}} = 1.3$

## Варьируемые параметры

### Рекомендуемый диапазон, либо значение

$\eta_g = 0.89$   
 $\eta_{ob} = 0.971$   
 $\eta_{dt} = 0.933$   
 /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 = 61.2    dval\_Zst = 61.2  
 /консольное РК    dvt = 0/    \_dvt\_Zst = 76.5  
 \_S1 = 3.93  
 \_S2 = 3.03  
 \_Z2 = 8  
 / W1D1/W2 < 1.4 ; для ns<60 до 2.5 /  
 /  $\beta_1 = 20-25$ .  $\delta_1=3-8$  гр ; для ns<60 до 15 -18 /  
 / Оптим. по опасн. возникн. кавитации  $\beta_{1p} \sim 18$  гр  
 mo=1-1.2;no=0.3-0.4 рек.принять mo=1.2 no=0.4 /

### Принимаем

$\eta_g = 0.89$   
 $\eta_{ob} = 0.971$   
 $\eta_{dt} = 0.933$   
 $Kvo = 0.065$   
 $Kvm1 = 0.85$   
 $Kvm2 = 1$   
 $D1osn\_otn = 0.8$   
 $D1prom\_otn = 1$   
 $dvt = 76.5$   
 $S1 = 3.95$   
 $S2 = 3.95$   
 $Z1 = 8$      $Z2 = 8$   
 $Z2otn = 1$   
 $\beta_2 = 23$   
 $\beta_1 = 23$   
 mo = 1.2    no = 0.4

## Результаты расчета

$\Delta H_{\text{кр}} = 10.73$	H = 92	$\frac{H}{Zst} = 92$
$\frac{\Delta H_{\text{рас}}}{\Delta H_{\text{кр}}} = 1.46$	Ht = 103.37	
C <sub>кр</sub> = 826	$\eta = 0.806$	
Do = 160.1	N = 170.5	
D1 = 128.1	Nmax = 204.6	
D1 <sub>pr</sub> = 128.1	P = 0.262	
b1 = 45.4	D2 = 283	
K1 = 1.252	b2 = 20.5	
Vo = 5.99	K2 = 1.1	
Vm1p = 5.09	Vu2 = 23.59	
Vm1 = 6.37	Vm2p = 5.09	
W1D1 = 16.31	Vm2 = 5.6	
W1oD1 = 20.46	W2 = 14.33	
u1D1 = 19.44	u2 = 42.97	
u1Do = 24.31	$\alpha_2 = 12.18$	
$\delta_1 = 4.86$	$\frac{W1D1}{W2} = 1.14$	
$\beta_{1o} = 18.1$		
$\beta_{1p} = 14.7$		

^^

## Диаграмма Айзенштейн (ns = 30 - 250)

D0ekv = 136.8	D1 = 0	D1oc = 86.3	D0 = 147.7	D2 = 289.7
		dvt = 55.6	b1 = 45.5	b2 = 20.1