

1. Исходные данные

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Наименование параметра	Значение
Подача Q , м ³ /ч	650
Напор H , м	92
Давление на входе в насос P , МПа	0,03
Температура натрия на входе в насос T , °C	450
Плотность натрия при данной температуре 450 °C ρ , кг/м ³	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:

$$\Delta h_{рас} = \frac{P_c - P_{нп}}{\rho \cdot g} = \frac{0,13 \cdot 10^6 - 164,4}{844 \cdot 9,81} = 15,681 \text{ м}$$

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.

$$n = n_{\sin} \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 3000 \cdot \left(1 - \frac{3}{100}\right) = 2910 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, \text{ где } s = 3 \% - \text{скольжение.}$$

3.2 Определяем коэффициент быстроходности.

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

Тип рабочего колеса - центробежное тихоходное.

3.3 Определяем кавитационный коэффициент быстроходности.

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

$$C_{кр} = 772$$

3.4 Определяем критический кавитационный запас.

$$\Delta h_{кр} = 10 \cdot \left[\frac{n \cdot \sqrt{Q}}{C_{кр}} \right]^{\frac{4}{3}} = 10 \cdot \left[\frac{3000 \cdot \sqrt{0,181/2}}{772} \right]^{\frac{4}{3}} = 11,8 \text{ м}$$

3.5 Определяем критический кавитационный запас.

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

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов

Наименование параметра	Значение		
Частота вращения ротора синхронная $n_{\text{син}}$, об/мин	3000	1500	1000
Частота вращения ротора n , об/мин	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

Кавитация отсутствует при условии $\Delta h_{рас} > \Delta h_{доп}$. Это условие выполняется при частоте вращения ротора 3000, 1500, 1000 об/мин. С целью упрощения изготовления рабочего колеса для дальнейших расчетов принимаем частоту вращения $n_s = \mathbf{3000 \text{ об/мин}}$.

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

$$D_0 = K_{D_0} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 28 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 184,6 \text{ мм};$$

$$b_1 = K_{b_1} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 6,1 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 40,2 \text{ мм};$$

$$D_2 = K_{D_2} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 84,7 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 558,1 \text{ мм};$$

$$b_2 = K_{b_1} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 2,4 \cdot \frac{\sqrt{92}}{3000} = 15,8 \text{ мм};$$

Полученные результаты приведены в таблице 3

Таблица 3 - Результаты расчетов по диаграммам

Значение коэффициента	KD ₀ = 44,7	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 = 288,8	b ₂ = 20,1

5. Расчет мощности приточной части насоса

Мощность проточной части насоса определяется по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta} = \frac{844 \cdot 0,181 / 2 \cdot 92}{102 \cdot 0,85} = 161,7 \text{ кВт}$$

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].

Снимок экрана из программы Mathcad – расчет габаритов колеса

Исходные данные:

Подача, м ³ /ч	$Q \equiv 650$
Напор, м	$H \equiv 92$
Расп. кав. запас, м	$\Delta H_{\text{рас}} \equiv 15.681$
Плотность, кг/м ³	$\rho \equiv 844$

Принимаем:

Количество ступеней	$Z_{\text{ст}} \equiv 1$
Количество потоков	$Z_{\text{пот}} \equiv 2$
Скольжение, %	$S \equiv 3$
Синхронная частота, об/мин	$n_{\text{син}} \equiv 3000$
Козфф. Скр (= 0, при расчете f(ns))	$C_{\text{кр}} \equiv 0$

Результаты расчета

Частота вращения, об/мин	$n = 2910$
Кэффициент быстроходности одной ступени и одного потока	$ns = 107$
КПД проточной части	$\eta = 0.807$
Мощность проточной части, кВт	$N = 170.4$
Кавитационный коэффициент Скр	$C_{\text{кр}} = 772$
Критический кав. запас, м	$\Delta H_{\text{кр}} = 11.81$
Допускаемый кав. запас, м	$\Delta H_{\text{доп}} = 14.2$
Отношение	$\frac{\Delta H_{\text{рас}}}{\Delta H_{\text{кр}}} = 1.3$

Варьируемые параметрыРекомендуемый диапазон, либо значение

$\eta_g = 0.89$
$\eta_{\text{об}} = 0.971$
$\eta_{\text{дт}} = 0.934$
/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 = 61.1 dval_Zst = 61.1
/консольное PK dvt = 0/ _dvt_Zst = 76.4
_S1 = 4.81
_S2 = 3.05
_Z2 = 8
/ W1D1/W2 < 1.4 ; для ns<80 до 2.5 /
/ $\beta_1 = 20-25$, $\delta_1=3-8$ гр ; для ns<80 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 /

Принимае

$\eta_g \equiv 0.89$
$\eta_{\text{об}} \equiv 0.971$
$\eta_{\text{дт}} \equiv 0.934$
Kvo $\equiv 0.06$
Kvm1 $\equiv 0.89$
Kvm2 $\equiv 1$
D1osn_otn $\equiv 0.95$
D1prom_otn $\equiv 1$
dvt $\equiv 76.4$
S1 $\equiv 4.81$
S2 $\equiv 4.81$
Z1 $\equiv 8$ Z2 = 8
Z2otn $\equiv 1$
$\beta_2 \equiv 23$
$\beta_1 \equiv 23$
mo $\equiv 1.2$ no $\equiv 0.3$

Результаты расчета

$\Delta H_{\text{кр}} = 11.18$	$H = 92$	$\frac{H}{Z_{\text{ст}}} = 92$
$\frac{\Delta H_{\text{рас}}}{\Delta H_{\text{кр}}} = 1.4$	Ht = 103.37	
$C_{\text{кр}} = 804$	$\eta = 0.807$	
Do = 164.9	N = 170.3	
D1 = 156.7	Nmax = 204.3	
D1_pr = 156.7	P = 0.299	
b1 = 38.3	D2 = 284.8	
K1 = 1.25	b2 = 21.1	
Vo = 5.54	K2 = 1.12	
Vm1p = 4.93	Vu2 = 23.36	
Vm1 = 6.16	Vm2p = 4.93	
W1D1 = 15.78	Vm2 = 5.54	
W1oD1 = 24.66	W2 = 14.18	
u1D1 = 23.87	u2 = 43.4	
u1Do = 25.13	$\alpha_2 = 11.92$	
$\delta_1 = 8.52$	$\frac{W1D1}{W2} = 1.11$	
$\beta_{1o} = 14.5$		
$\beta_{1p} = 11.7$		

Диаграмма Айзенштейн (ns = 30 - 250)

D0ekv = 136.5	D1 = 0	D1oc = 86.1	D0 = 147.4	D2 = 288.8
		dvt = 55.4	b1 = 45.5	b2 = 20.1

6. Профилирование лопатки рабочего колеса

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛОПАСТИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

$$N_{\text{мм}} = 100 \quad i := 0..N$$

$$R0 := 0.5-0.1649$$

$$R1 := 0.5-0.1567 \quad b1 := 0.0383 \quad \beta_1 := 23 \quad \delta_1 := 0.00481 \quad Q := \frac{650}{3600} \quad \eta_{\text{об}} := 0.971 \quad n := 2910$$

$$R_{\text{vt}} := 0.5-0.0764$$

$$R2 := 0.5-0.2848 \quad b2 := 0.0211 \quad \beta_2 := 23 \quad \delta_2 := 0.00481 \quad Z1 := 8$$

$$R1_{\text{kor_lop}} := 1-0$$

$$k_Z := 1 \quad Z2 := k_Z \cdot Z1$$

($k_Z=1$ – коротких лопаток нет)

$$b_- = 0.56$$

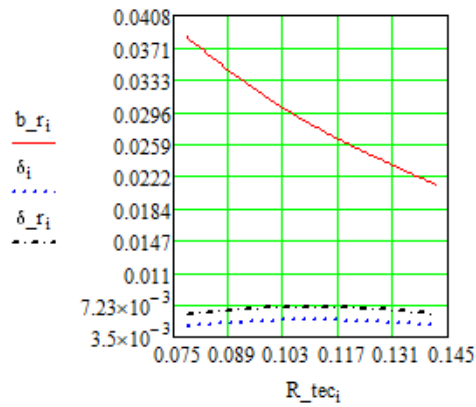
$$Rb_- = 0.22$$

$$\delta_- = 0.57$$

$$R\delta_- = 0.5$$

$$\beta_- = 0.5$$

$$R\beta_- = 0.7$$

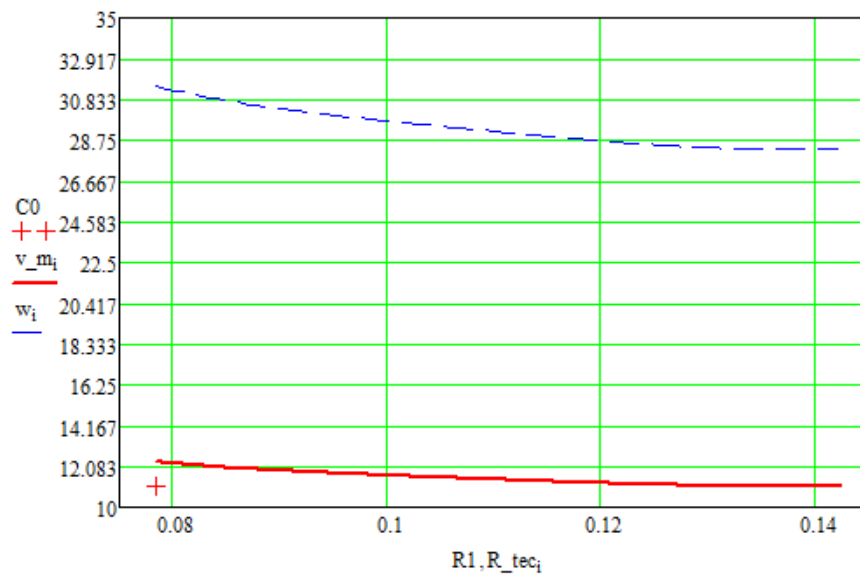
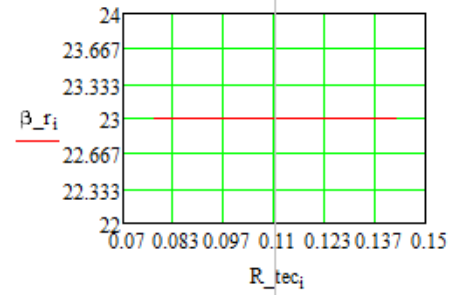


$$\delta_0 = 4.81 \times 10^{-3}$$

$$\delta_N = 4.81 \times 10^{-3}$$

$$\min(\delta) = 4.81 \times 10^{-3}$$

$$\max(\delta) = 5.483 \times 10^{-3}$$



$$\beta_{1_pot} = 27.31$$

$$C_0 = 11.087$$

$$v_{m_0} = 12.329$$

$$v_{m_N} = 11.068$$

$$w_0 = 31.552$$

$$w_N = 28.326$$

$$u_1 = 23.876$$

$$\max(v_m) = 12.329$$

$$\min(v_m) = 11.049$$

$$\frac{\max(v_m)}{\min(v_m)} = 1.116$$

$$\max(w) = 31.552$$

$$\min(w) = 28.277$$

$$\frac{\max(w)}{\min(w)} = 1.116$$

