Практическое занятие по дисциплине «Насосы и компрессоры» на тему «Гидравлический расчет трубопровода и подбор насосов»

Годовский Д.А. к.т.н., доцент

Исходные данные для расчета

- Производительность Q=3600 $м^3$/ч
- Плотность жидкости ρ=847 кг/$м^3$
- Кинематическая вязкость v=32*10^{-6} $м^2$/с
- Давление насыщенных паров Рнп=32 кПа
- Длина нагнетательного трубопровода lн=37000 м
- Избыточное давление в конечном сечении Рк=0,32 МПа
- Длина всасывающего трубопровода lв=12 м
- Геометрическая высота всасывания Нгв=-4 м
- Геометрическая высота нагнетания Нгн=20 м

Выполнить

1. Гидравлический расчет трубопровода.
2. Подбор насосно-силового оборудования.
3. Проверка всасывающей способности насоса.
4. Пересчет характеристики насоса с воды на вязкую жидкость.
5. Регулирование подачи насосной установки.

Рекомендуемые скорости движения жидкости в трубопроводе

Транспортируемая жидкость	Скорость, м/с
Жидкости, движущиеся самотеком (конденсат и др.)	0,1÷0,5
Маловязкие жидкости – вода, бензин, керосин и др. в нагнетательном трубопроводе	1,0÷3,0
Вязкие жидкости – легкие и тяжелые масла, растворы солей и др. в нагнетательном трубопроводе	0,5÷1,0
Маловязкие жидкости во всасывающем трубопроводе	0,8÷1,2
Вязкие жидкости во всасывающем трубопроводе	0,2÷0,8

Подбор диаметра трубопроводов

- Подбираем $v_н$ в пределах от 1 до 3 м/с. Примем $v_н = 2$ м/с

$$Q = v \cdot S \rightarrow d_н = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_н}}$$

- По ГОСТ Р52079-2003 (слайд 6) подбираем наружный диаметр трубы и толщину стенки, определяем внутренний диаметр

$$d_н = d - 2\delta$$

- Пересчитаем скорость (если необходимо)

$$v_н = \frac{4Q}{\pi d_н^2}$$

Для всасывающего трубопровода подбираем следующий диаметр по таблице (слайд 7)

$$v_в = \frac{4Q}{\pi d_в^2}$$

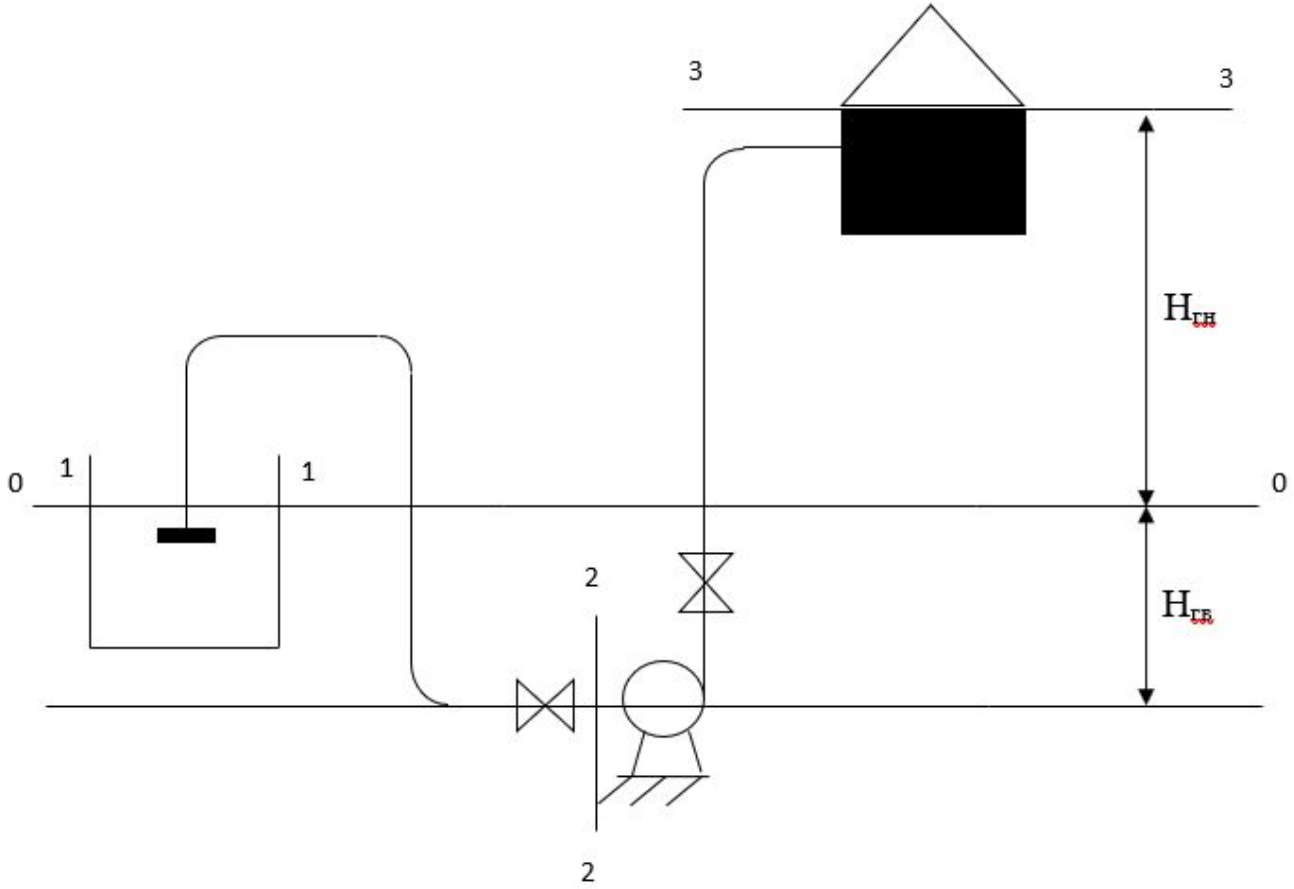
Таблица 1 — Сортамент и теоретическая масса труб

Номинальный наружный диаметр труб, мм	Теоретическая масса 1 м трубы, кг, при номинальной толщине стенки, мм																		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
114	8,21	10,85	13,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
121	8,73	11,54	14,30	17,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
133	9,62	12,72	15,78	18,79	21,75	24,66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	10,14	13,42	16,65	19,83	22,96	26,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
159	11,54	15,29	18,99	22,64	26,24	29,79	33,29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
168	12,21	16,18	20,10	23,97	27,79	31,57	35,29	38,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
219	15,98	21,21	26,39	31,52	36,60	41,63	46,61	51,54	56,43	61,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
245	—	23,77	29,59	35,36	41,09	46,46	52,38	57,95	63,48	68,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
273	—	26,54	33,05	39,51	45,92	52,28	58,60	64,86	71,07	77,24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
325	—	31,67	39,46	47,20	54,90	62,54	70,14	77,68	85,18	92,62	100,03	107,38	114,68	121,93	—		—	—	—
377	—	—	45,87	54,90	63,87	72,80	81,18	90,51	99,25	108,01	116,70	125,33	133,91	142,45	—	—	—	—	—
426	—	—	51,91	62,15	72,33	82,47	92,55	102,59	112,57	122,51	132,41	142,25	152,04	161,78	—	—	—	—	—
530	—	—	—	—	90,29	102,99	115,64	128,24	140,72	153,29	165,74	178,15	190,50	202,80	215,06	227,24	239,41	251,53	263,59
630	—	—	—	—	107,55	122,72	137,83	152,90	167,87	182,80	197,80	212,67	227,49	242,26	257,00	271,66	286,27	300,85	315,38
720	—	—	—	—	—	140,47	157,80	175,09	162,31	208,51	226,63	243,74	260,78	277,74	294,72	311,60	328,45	345,24	362,00
820	—	—	—	—	—	160,20	180,00	199,75	219,46	239,12	258,71	278,28	297,77	317,22	336,63	356,00	375,30	394,56	413,77
1020	—	—	—	—	—	—	224,38	249,07	273,70	298,29	322,83	347,31	371,75	396,14	420,40	444,77	469,04	493,21	517,34
1220	—	—	—	—	—	—	—	298,39	327,95	357,47	386,94	416,36	445,73	475,03	504,32	533,54	562,72	591,84	620,91
1420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	519,71	554,00	588,17	622,30	656,43	690,48	724,49

Продолжение таблицы 1

Номинальный наружный диаметр труб, мм	Теоретическая масса 1 м трубы, кг, при номинальной толщине стенки, мм																		
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
530	275,60	287,56	299,47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
630	329,85	344,28	358,66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
720	378,68	395,33	411,92	428,47	445,00	461,19	477,81	494,16	510,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
820	432,93	452,04	471,11	490,12	509,08	528,00	546,86	565,86	584,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1020	541,44	565,48	589,47	613,42	637,31	661,16	685,00	708,70	732,40	756,05	779,65	—	—	—	—	—	—	—	—
1220	649,94	678,92	707,84	736,72	765,55	794,32	823,05	851,73	880,36	908,94	937,47	965,96	994,39	1022,77	1051,11	—	—	—	—
1420	758,44	792,35	826,21	860,02	893,78	927,46	961,15	994,76	1028,32	1061,84	1095,30	128,71	1162,10	1195,40	1228,86	1261,88	1295,05	1328,16	1361,23

Принципиальная схема насосной установки



Значения эквивалентной шероховатости труб

Материал труб	*kэ*, мм
Новые тянутые трубы из стекла и цветных материалов	0,001÷0,001 0,005
Новые бесшовные стальные трубы	0,02÷0,05 0,03
Новые стальные сварные трубы	0,03÷0,1 0,05
Стальные трубы сварные с незначительной коррозией	0,10÷0,80 0,2
Стальные трубы сварные старые, заржавленные	0,80÷1,50 1,00
Новые оцинкованные стальные трубы	0,10÷0,20 0,15
Новые чугунные трубы	0,20÷0,50 0,30
Старые чугунные трубы	до 3,00
Новые асбоцементные трубы	0,05÷0,10 0,085

Гидравлический расчет трубопровода

- Из уравнения Бернулли $$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} + H = z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3 \upsilon_3^2}{2g} + \sum h$$
- Определяется $\mathrm{H}_{\text{потр}} = (z_3 - z_1) + \left(\frac{p_3 - p_1}{\rho g}\right) + \sum h_{1-3}$=Нгв+Нгн+ $\left(\frac{p_\text{к} + p_\text{а} - p_\text{а}}{\rho g}\right) + \sum h_\text{в} + \sum h_H$
- Потери на всасывании $$\sum h_в = \left(\sum \zeta_в + \lambda \frac{l_в}{d_в}\right)\frac{\upsilon^2}{2g}$$
- Потери на нагнетании $$\sum h_н = 1{,}02\lambda \frac{l_н}{d_н}\frac{\upsilon^2}{2g}$$
- Число Рейнольдса $Re_\text{Н} = \frac{v_\text{Н} d_\text{Н}}{\upsilon}$ $Re_\text{В} = \frac{v_\text{В} d_\text{В}}{\upsilon}$

Формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления λ

- Для ламинарного режима, при Re≤Reкр =2320, формула Стокса:
- $$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$.
-
- Для турбулентного режима :
- в зоне гладкого трения, $\mathrm{Re}_{кр} < \mathrm{Re} \le \mathrm{Re}_1 = \frac{10}{\bar{\kappa}_э}$
- $$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}}$$ - формула Блазиуса;
-
- в зоне смешанного трения, $\mathrm{Re}_1 < \mathrm{Re} \le \mathrm{Re}_2 = \frac{500}{\bar{\kappa}_э}$
- $\lambda = 0{,}11\left(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \bar{\kappa}_э\right)^{0{,}25}$ - формула Альтшуля;
- в зоне шероховатого трения Re>Re_2,

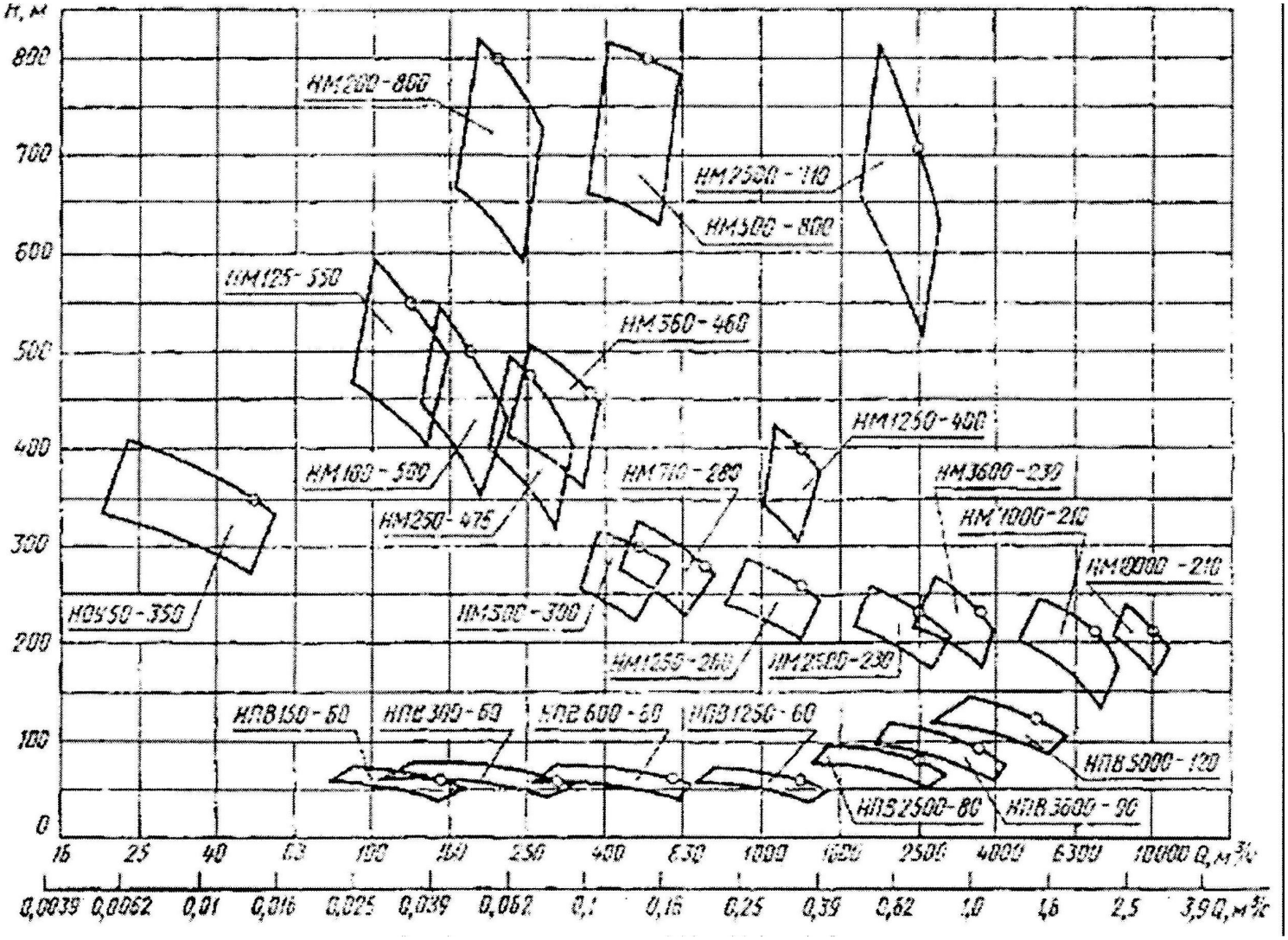
$$\lambda = 0{,}11\left(\bar{\kappa}_э\right)^{0{,}25}$$ - формула Шифринсона;

Результаты гидравлического расчета трубопровода

Q, м³/ч	$v_в$, м/с	$v_н$, м/с	$Re_{вс}$	$\lambda_{вс}$	$h_{вс}$, м	$Re_н$	$\lambda_н$	$h_н$, м	$H_{потр}$, м
0	0	0	0	0	0	0	0	0	54,55
1000	0,354	0,553	11058,03	0,031	0,034	13822,54	0,029	21,446	76,030
2000	0,708	1,106	22116,07	0,026	0,136	27645,08	0,025	72,135	126,820
3000	1,062	1,659	33174,10	0,023	0,304	41467,62	0,023	151,703	206,556
3600	1,27	1,99	39808,92	0,022	0,436	49761,15	0,022	210,09	265,07
4000	1,415	2,212	44232,13	0,022	0,538	55290,16	0,022	253,701	308,788
5000	1,769	2,765	55290,16	0,021	0,840	69112,70	0,021	378,796	434,185

по Qзаданному = Qпотр и Нпотр выбираем насос из условия, что он должен работать в области рабочей зоны.

Q-H характеристики насосов (ГОСТ 12124-87)



Проверка всасывающей способности насоса

$$\Delta h_{расп} = \frac{p_0 - p_{НП}}{\rho g} - H_{ГВ} - \sum h_B$$

$$\Delta h_{расп} \rangle \Delta h_{доп}$$

Пересчет характеристики насоса с воды на перекачиваемую жидкость

- Коэффициент быстроходности насоса

$$n_S = 3{,}65 \cdot n \frac{\sqrt{\frac{Q_0}{i}}}{\left(\frac{H_0}{j}\right)^{\frac{3}{4}}}$$

- где $[Q] = [м^3 / с]$, *i* - тип колеса (1 или 2), *j* - количество ступеней,

  $[n] = [об / мин]$

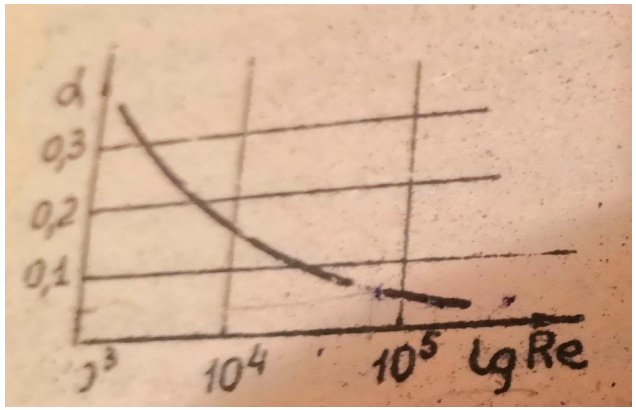
Пересчет характеристики насоса с воды на перекачиваемую жидкость

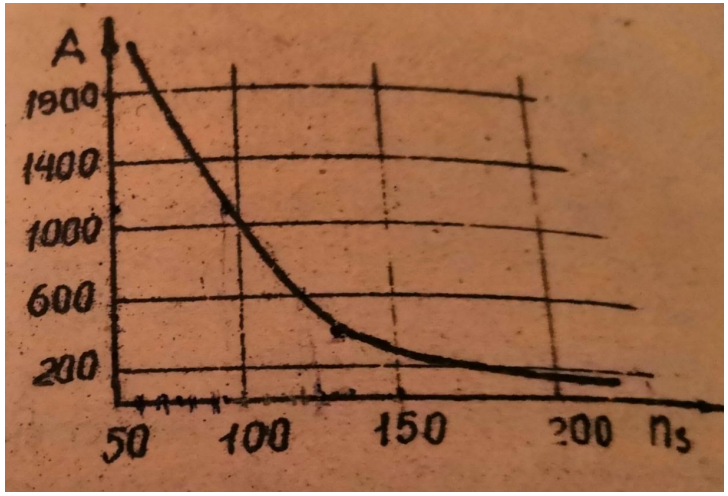
- Для магистральных насосов 250>n_S>90 применяется методика пересчета Колпакова Л.Г., Аитовой Н.З.

$$\mathrm{Re} = \frac{n \cdot D_2^2}{\nu} \qquad \mathrm{Re}_{П} = 3{,}16 \cdot 10^5 \cdot n_S^{-0{,}305}$$

- Если *Re*> $Re_П$ то *H* и *Q* не пересчитываем, а пересчитываем только *η* и *N.*
- Если *Re*≤$Re_П$, то пересчитываем все.

$$H_\nu = H_B\left(1 - \alpha \lg \frac{\mathrm{Re}_{П}}{\mathrm{Re}}\right) \qquad Q_\nu = Q_B\left(\frac{H_\nu}{H_B}\right)^{\frac{3}{2}} \qquad \eta_\nu = \eta_B\left[1 - \eta_B\left(\alpha_1 \lg \frac{\nu_\nu}{\nu_B} + \frac{A}{\mathrm{Re}_\nu^{0{,}89}}\right)\right]$$

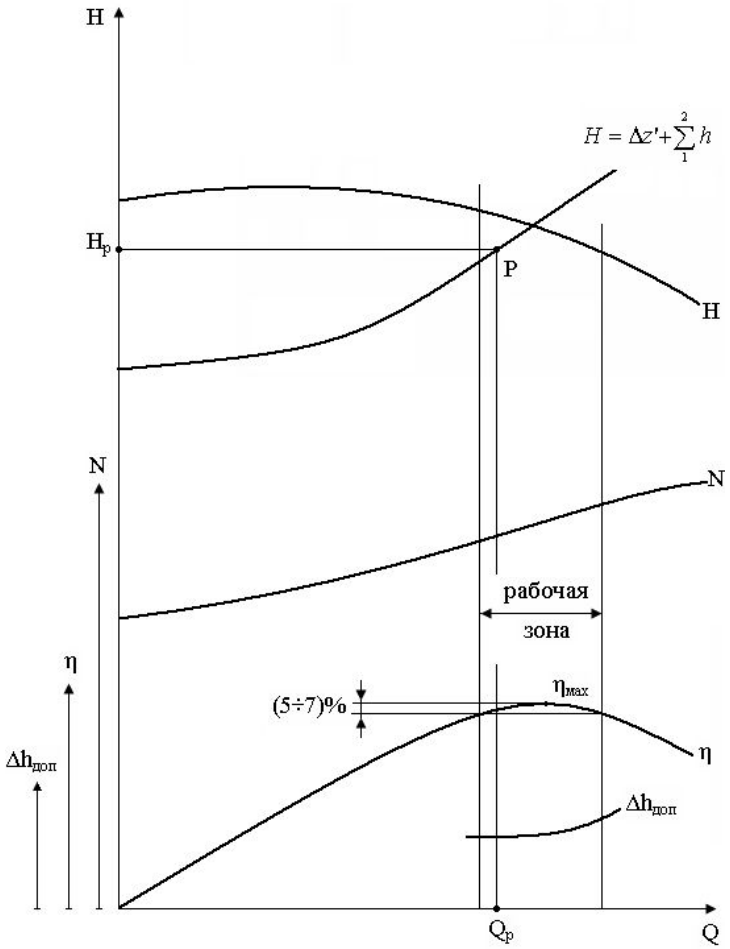




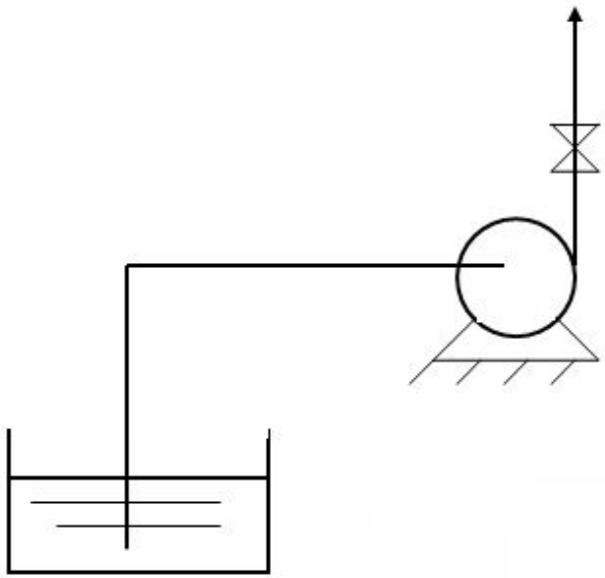
Результаты пересчета характеристики насоса с воды на перекачиваемую жидкость

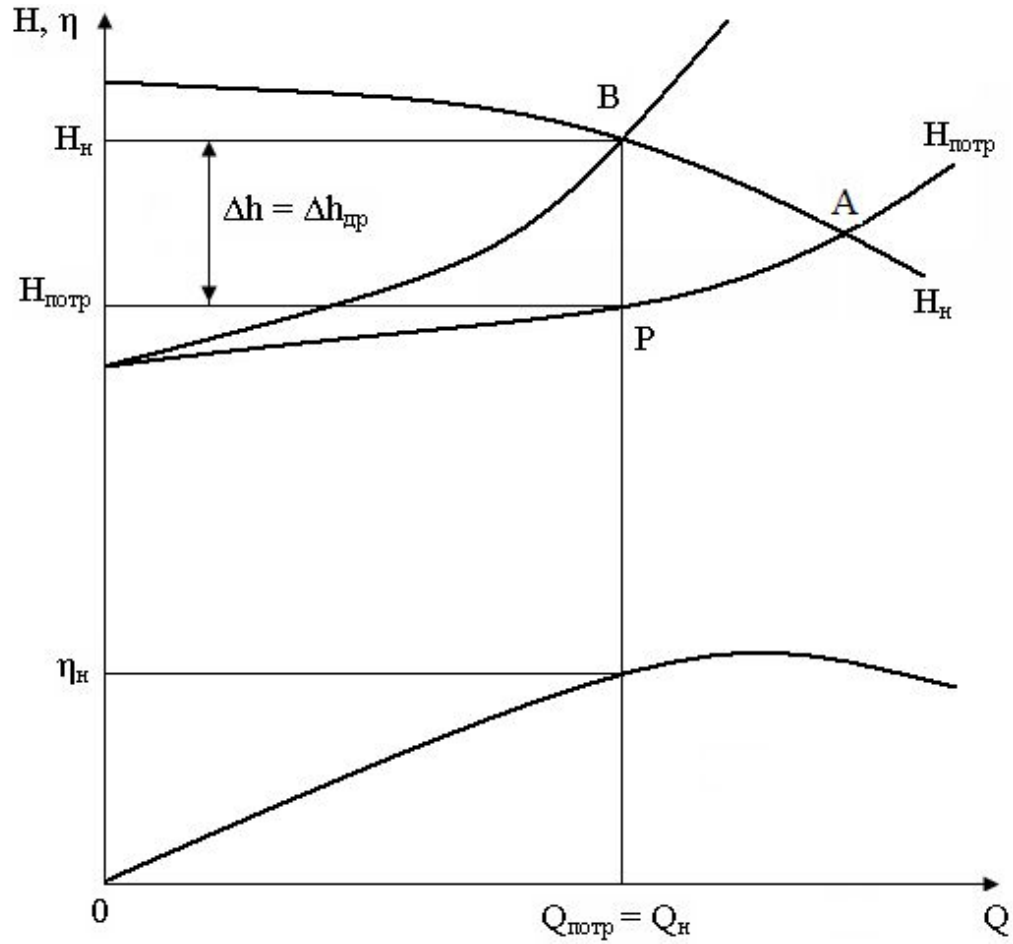
Q, $м^3/ч$		H, м		N, кВт		η, %		$\Delta h_{доп}$, м	
На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость

Совмещенная характеристика



Регулирование насоса методом дросселирования задвижкой на нагнетании

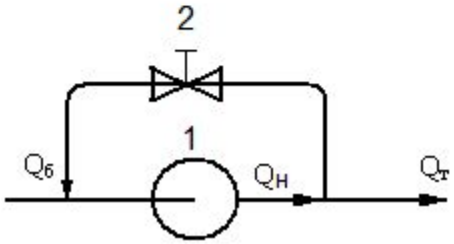


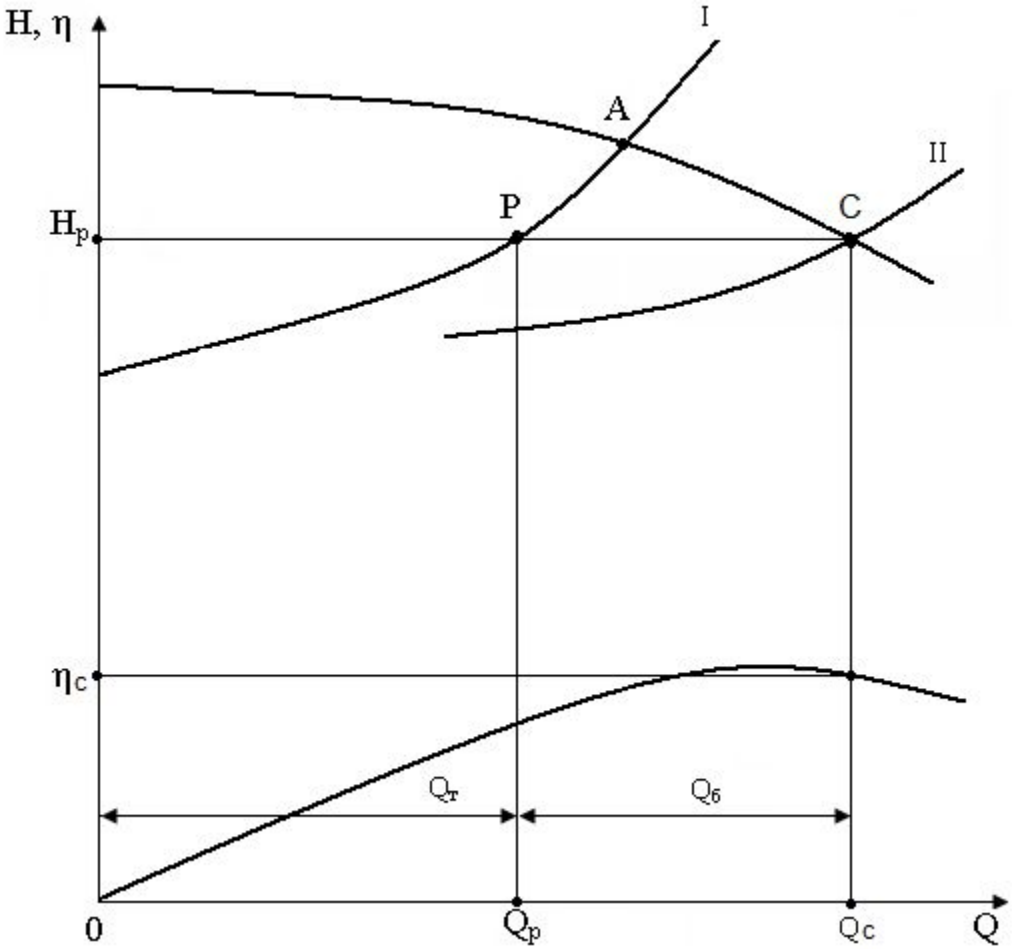


$$\eta = \left(1 - \frac{\Delta h_{др}}{H_н}\right) \cdot \eta_н$$

Регулирование насоса методом байпасирования

$$\eta_{рег} = \frac{Q_Р}{Q_с} \cdot \eta_с = \left(1 - \frac{Q_Б}{Q_с}\right)\eta_с$$





Изменение числа оборотов

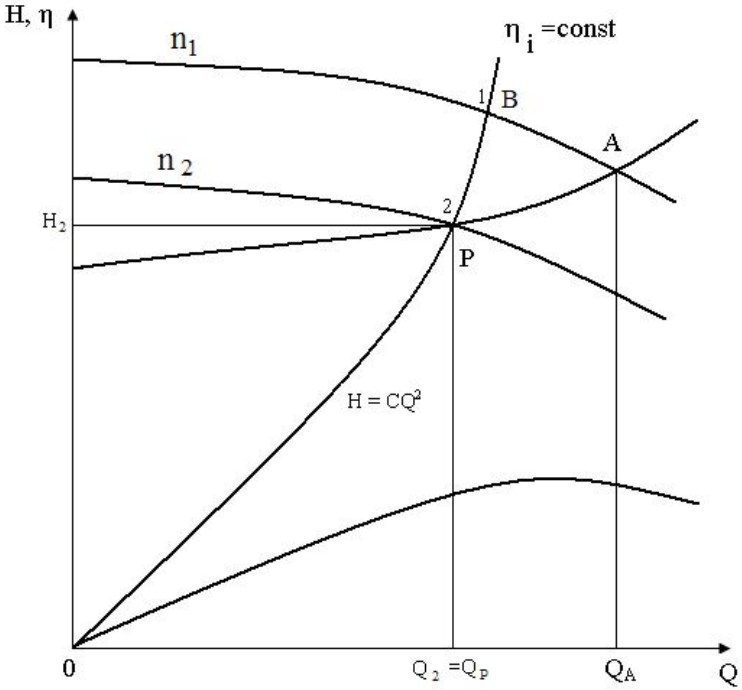
Для определения числа оборотов вала насоса, обеспечивающего подачу $Q_2=Q_P$, используют формулы подобия

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad H=C\cdot Q^2 \quad C=\frac{H_2}{Q_2^2}$$

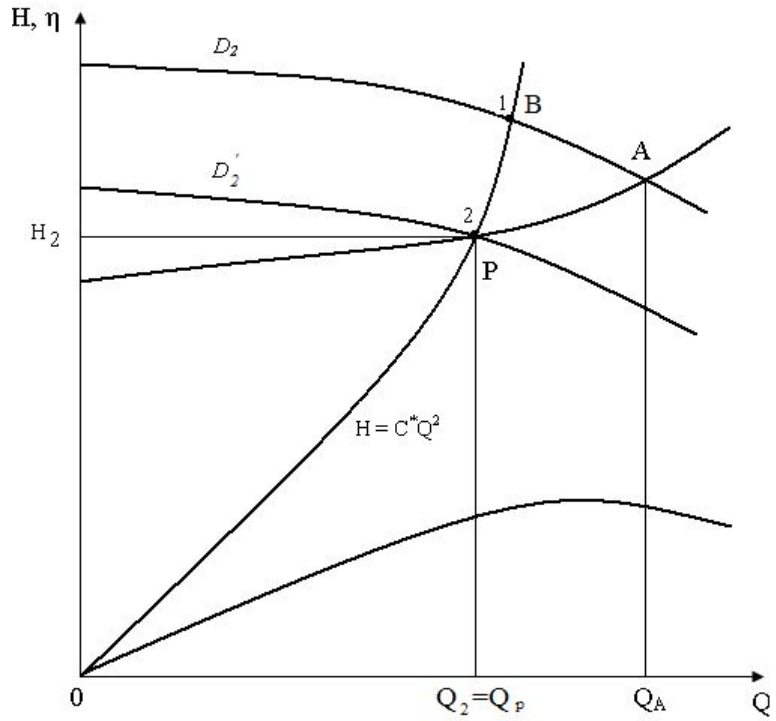
Значения для построения параболы подобия

Q, м3/ч	0	….	$Q_{потр}$	
H, м	0	….	$H_{потр}$	

$$n_2=n_1\cdot\frac{Q_2}{Q_1}=n_1\frac{Q_P}{Q_B}$$



Обточка рабочих колес



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2^{/}}{D_2} \qquad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2^{/}}{D_2}\right)^2$$

$$H = C^* \cdot Q^2 \qquad C^* = \frac{H_2}{Q_2^2}$$

$$D_2^{/} = D_2 \cdot \frac{Q_2}{Q_1} = D_2 \frac{Q_P}{Q_B}$$

$$\delta = \frac{D_2 - D_2^{/}}{D_2} \cdot 100\%$$

$$n_S = 3{,}65 n \frac{\sqrt{\frac{Q_0}{i}}}{\left(\frac{H_0}{j}\right)^{\frac{3}{4}}},$$

Предельная величина обточки колес

n_S	60	120	200	300	350	>350
$\frac{D_2 - D_2^{/}}{D_2}$	0,20	0,15	0,11	0,09	0,07	0,05

Спасибо за внимание