

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

# Исходные данные для расчета

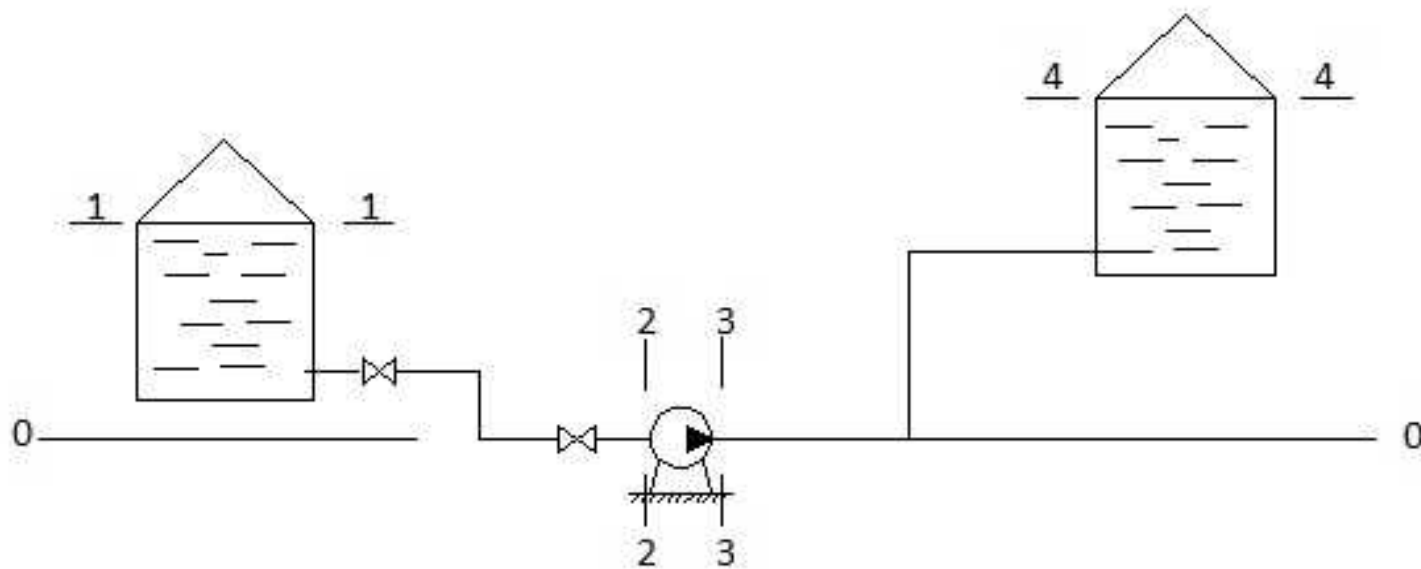
- Производительность  $Q=200 \text{ м}^3/\text{ч}$
- Плотность жидкости  $\rho=850 \text{ кг}/\text{м}^3$
- Кинематическая вязкость  $\nu=35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
- Давление насыщенных паров  $P_{\text{нп}}=25 \text{ кПа}$
- Длина нагнетательного трубопровода  $l_{\text{н}}=15500 \text{ м}$
- Избыточное давление в конечном сечении  $P_{\text{к}}=0,3 \text{ МПа}$
- Длина всасывающего трубопровода  $l_{\text{в}}=60 \text{ м}$
- Геометрическая высота всасывания  $H_{\text{гв}}= 2 \text{ м}$
- Геометрическая высота нагнетания  $H_{\text{гн}}=42 \text{ м}$

Высотные отметки в задании и в данном примере даны относительно насосов. Т.е., например, минус в значении геометрической высоты всасывания будет означать, что питающий резервуар расположен ниже насоса

# Выполнить

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

# Принципиальная схема насосной установки



# Гидравлический расчет трубопровода

- Из уравнения Бернулли

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + H = z_4 + \frac{p_4}{\rho g} + \frac{\alpha_4 v_4^2}{2g} + \sum h$$

- Определяется

$$H_{\text{потр}} = (z_4 - z_1) + \left( \frac{p_4 - p_1}{\rho g} \right) + \sum h_{1-4} = H_{\text{гн}} - H_{\text{гв}} + \left( \frac{p_{\text{к}} + p_{\text{а}} - p_{\text{а}}}{\rho g} \right) + \sum h_{\text{в}} + \sum h_{\text{н}}$$

- Потери на всасывании

$$\sum h_{\text{в}} = \left( \sum \xi_{\text{в}} + \lambda \frac{l_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} \right) \frac{v^2}{2g}$$

- Потери на нагнетании

$$\sum h_{\text{н}} = 1,02 \lambda \frac{l_{\text{н}}}{d_{\text{н}}} \frac{v^2}{2g}$$

# Рекомендуемые скорости движения жидкости в трубопроводе

Транспортируемая жидкость	Скорость, м/с
Жидкости, движущиеся самотеком (конденсат и др.)	0,1÷0,5
Вода, нефть, светлые нефтепродукты и др. в нагнетательном трубопроводе	1,0÷3,0
Высоковязкие жидкости – масла, растворы солей и др. в нагнетательном трубопроводе	0,5÷1,0
Маловязкие жидкости во всасывающем трубопроводе (при соблюдении условия бескавитационной работы допускается принимать скорость жидкости одинаковую с нагнетательным трубопроводом)	0,8÷1,2
Высоковязкие жидкости во всасывающем трубопроводе	0,2÷0,8

*Секундный расход:*

$$Q_c = Q / 3600$$

- $Q = S * V = \pi d^2 / 4 * V$

*Прикидочная скорость*

$$V_{пр} =$$

- *Прикидочный диаметр*

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{4Q_c}{\pi V_{пр}}} =$$

Т а б л и ц а 1 — Сортамент и теоретическая масса труб

Номиналь- ный наруж- ный диа- метр 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	192,31	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

Номиналь- ный наруж- ный диа- метр 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	1361,83



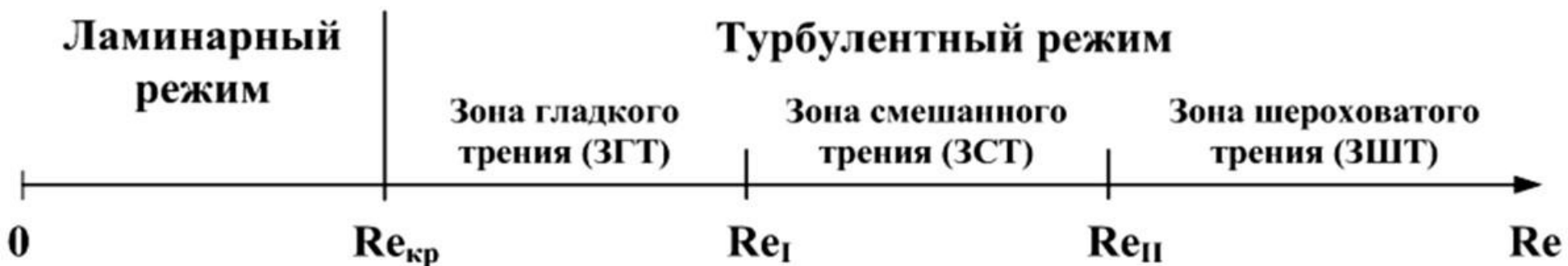
- *Расчетный диаметр*

$$d =$$

- $V = \frac{4Qc}{\pi d^2} =$

- $Re = \frac{V*d}{\vartheta} =$

- $\lambda =$



при расчете потерь по формуле Дарси-Вейсбаха

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

формула Стокса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

формула Блазиуса

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re} + \bar{\varepsilon} \right)^{0,25}$$

формула Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \cdot (\bar{\varepsilon})^{0,25}$$

формула Шифринсона

$$Re_I = \frac{10d}{\varepsilon}$$

$$Re_{II} = \frac{500d}{\varepsilon}$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{d}$$

## Значения эквивалентной шероховатости труб

Материал труб	<i>k<sub>э</sub></i> , мм
Новые тянутые трубы из стекла и цветных материалов	<u>0,001÷0,001</u> 0,005
Новые бесшовные стальные трубы	<u>0,02÷0,05</u> 0,03
Новые стальные сварные трубы	<u>0,03÷0,1</u> 0,05
Стальные трубы сварные с незначительной коррозией	<u>0,10÷0,80</u> 0,15
Стальные трубы сварные старые, заржавленные	<u>0,80÷1,50</u> 1,00
Новые оцинкованные стальные трубы	<u>0,10÷0,20</u> 0,15
Новые чугунные трубы	<u>0,20÷0,50</u> 0,30
Старые чугунные трубы	до 3,00
Новые асбоцементные трубы	<u>0,05÷0,10</u> 0,085

# Гидравлический расчет трубопровода

- Из уравнения Бернулли

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + H = z_4 + \frac{p_4}{\rho g} + \frac{\alpha_4 v_4^2}{2g} + \sum h$$

- Определяется



$$H_{\text{потр}} = (z_4 - z_1) + \left( \frac{p_4 - p_1}{\rho g} \right) + \sum h_{1-4} = H_{\text{гн}} - H_{\text{гв}} + \left( \frac{p_{\text{к}} + p_{\text{а}} - p_{\text{а}}}{\rho g} \right) + \sum h_{\text{в}} + \sum h_{\text{н}}$$

- Потери на всасывании

$$\sum h_{\text{в}} = \left( \sum \xi_{\text{с}} + \lambda \frac{l_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} \right) \frac{v^2}{2g}$$

- Потери на нагнетании

$$\sum h_{\text{н}} = 1,02 \lambda \frac{l_{\text{н}}}{d_{\text{н}}} \frac{v^2}{2g}$$

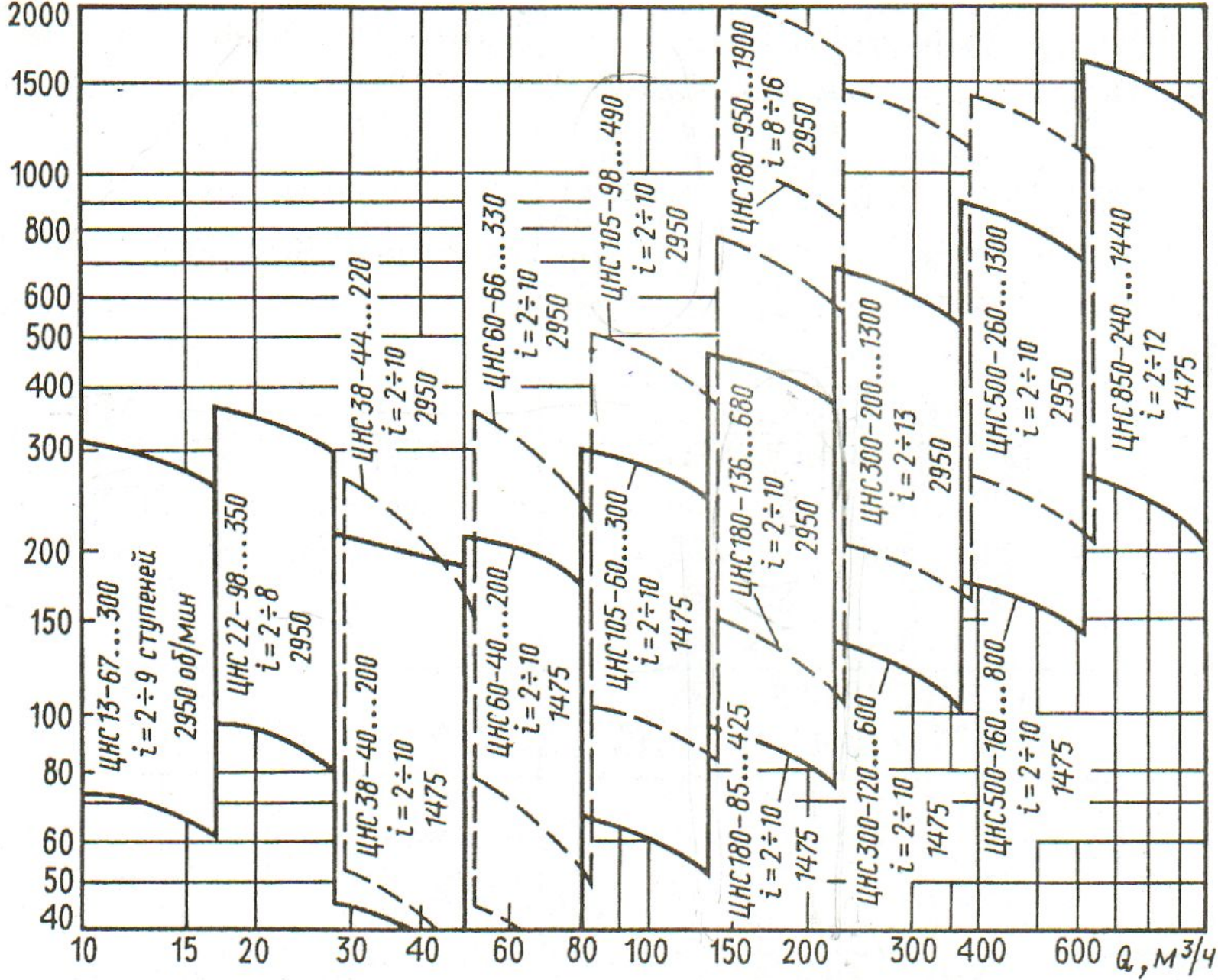
Вид местного сопротивления	Значение $\xi$
Вход в резервуар	1,00
Выход из резервуара	0,50
Выход из резервуара через хлопушку	0,85
Отвод 90°	0,5
Тройник вытяжной (проход)	1,3
Задвижка	0,15
Фильтр	2
Конфузор 	0,1
Диффузор 	0,3

# Результаты гидравлического расчета трубопровода

Qпотр, м <sup>3</sup> /ч	0	40	80	120	160	200	240
Нпотр, м							

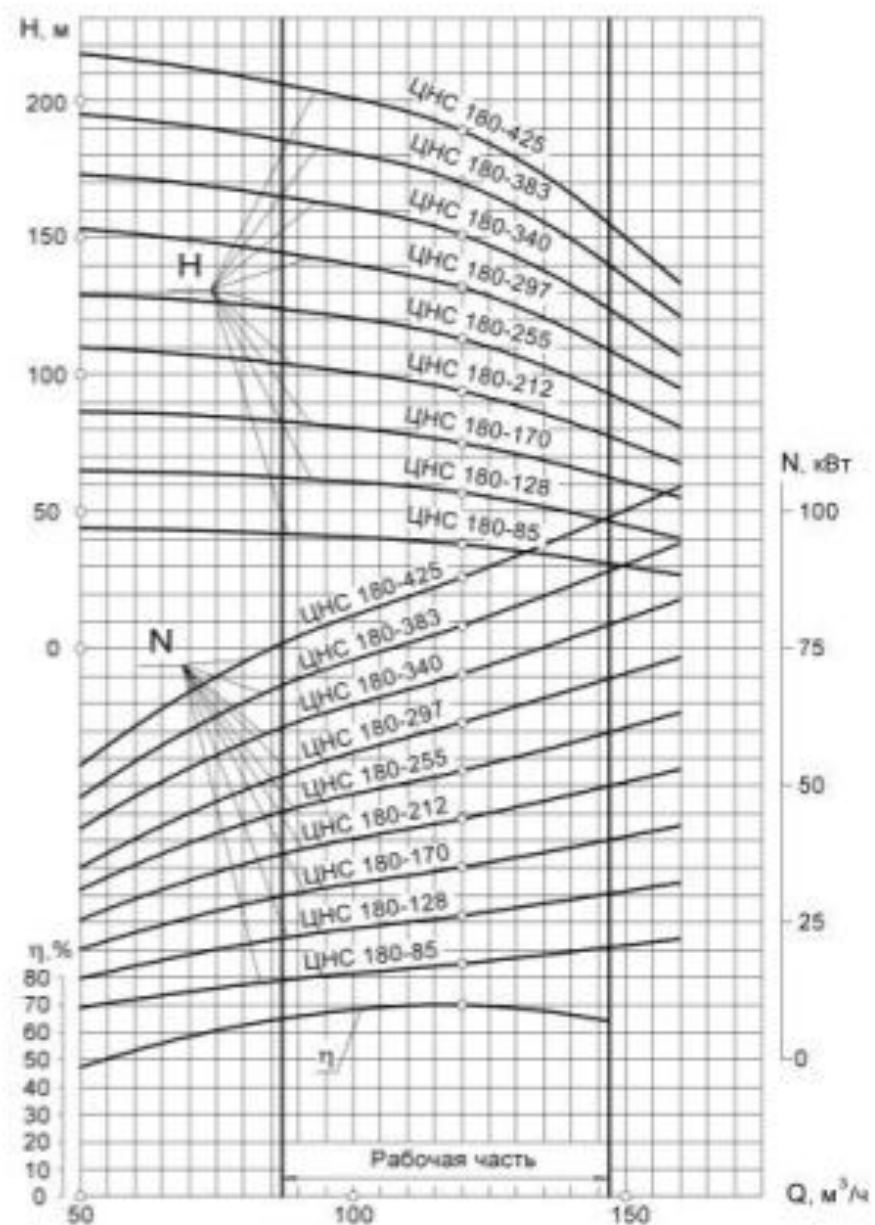
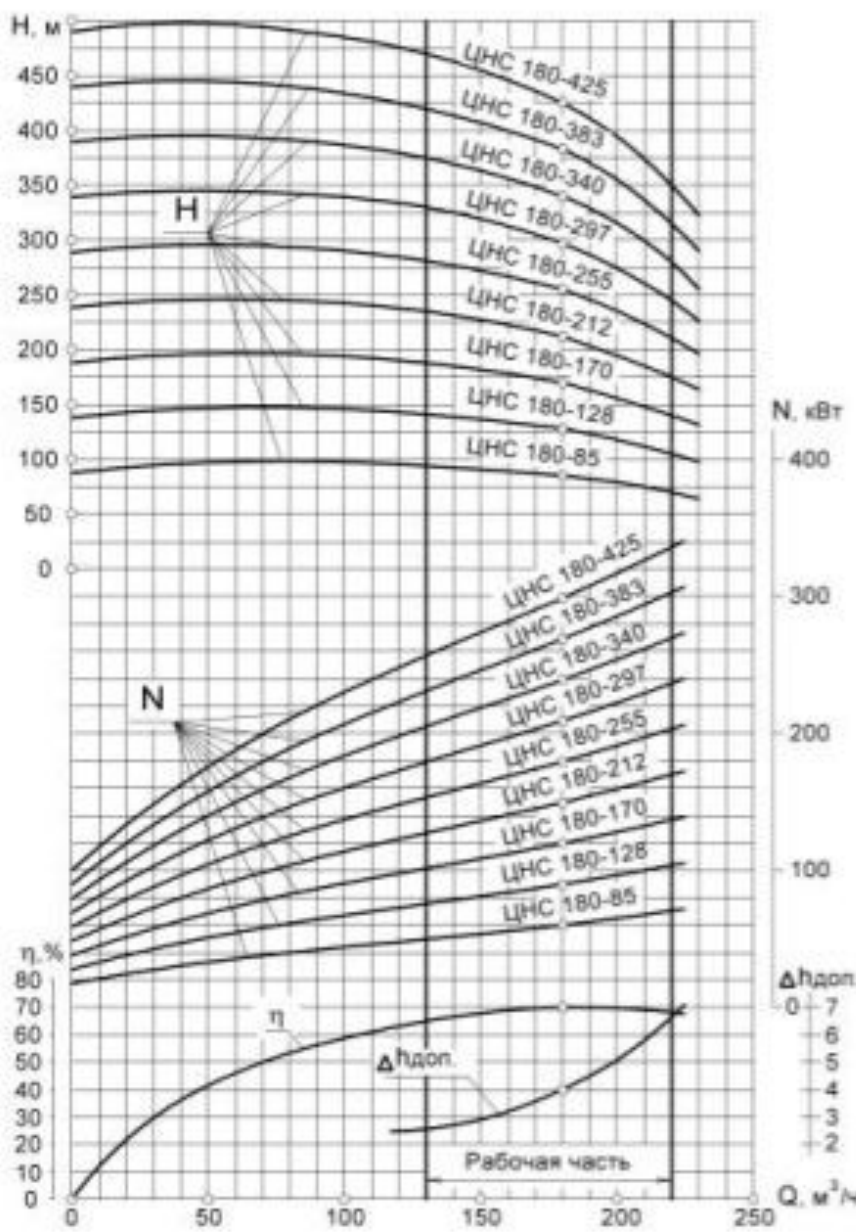
по Qзаданному = Qпотр и Нпотр выбираем насос из условия,  
что он должен работать в области рабочей зоны.

H, M

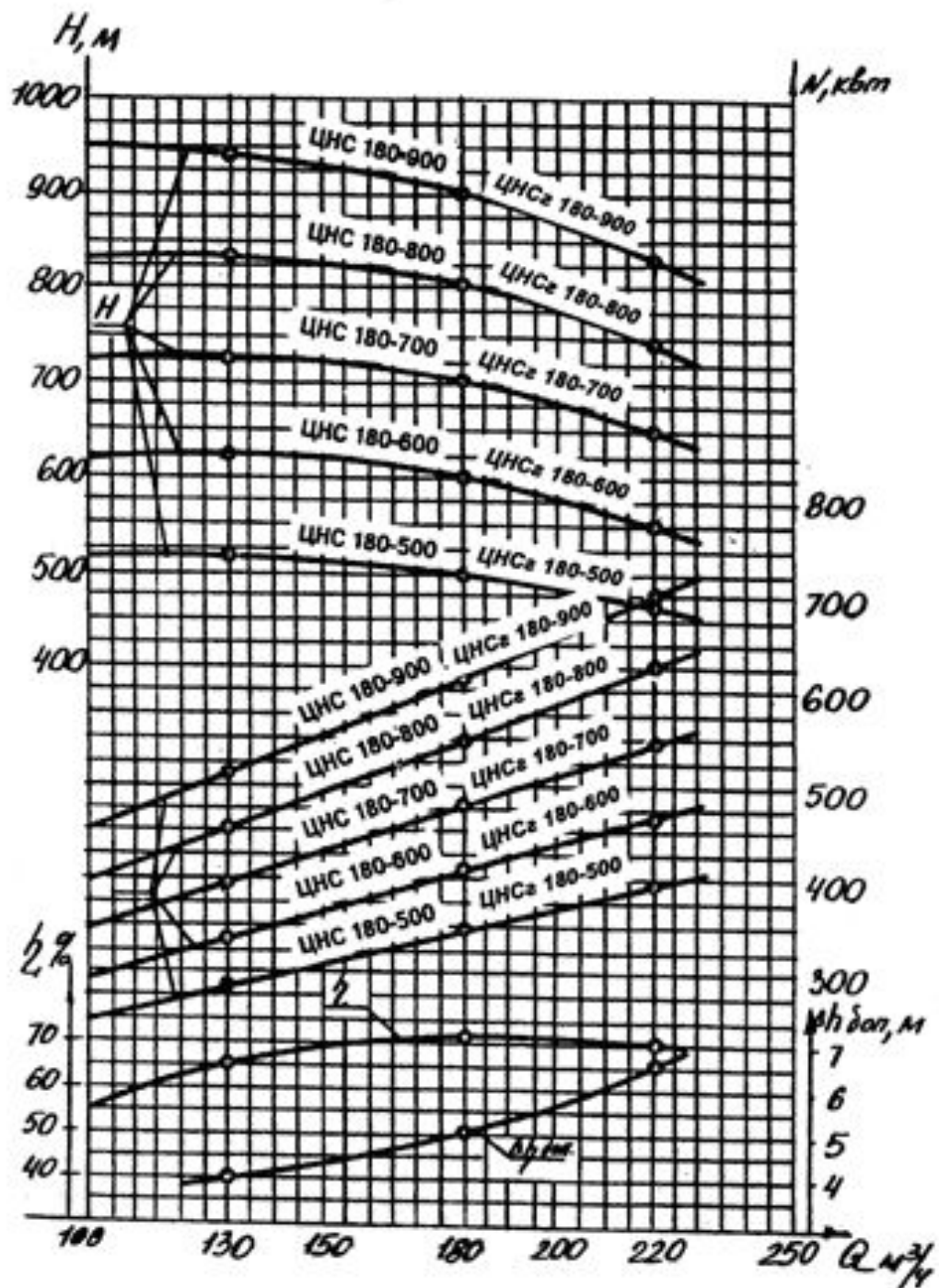


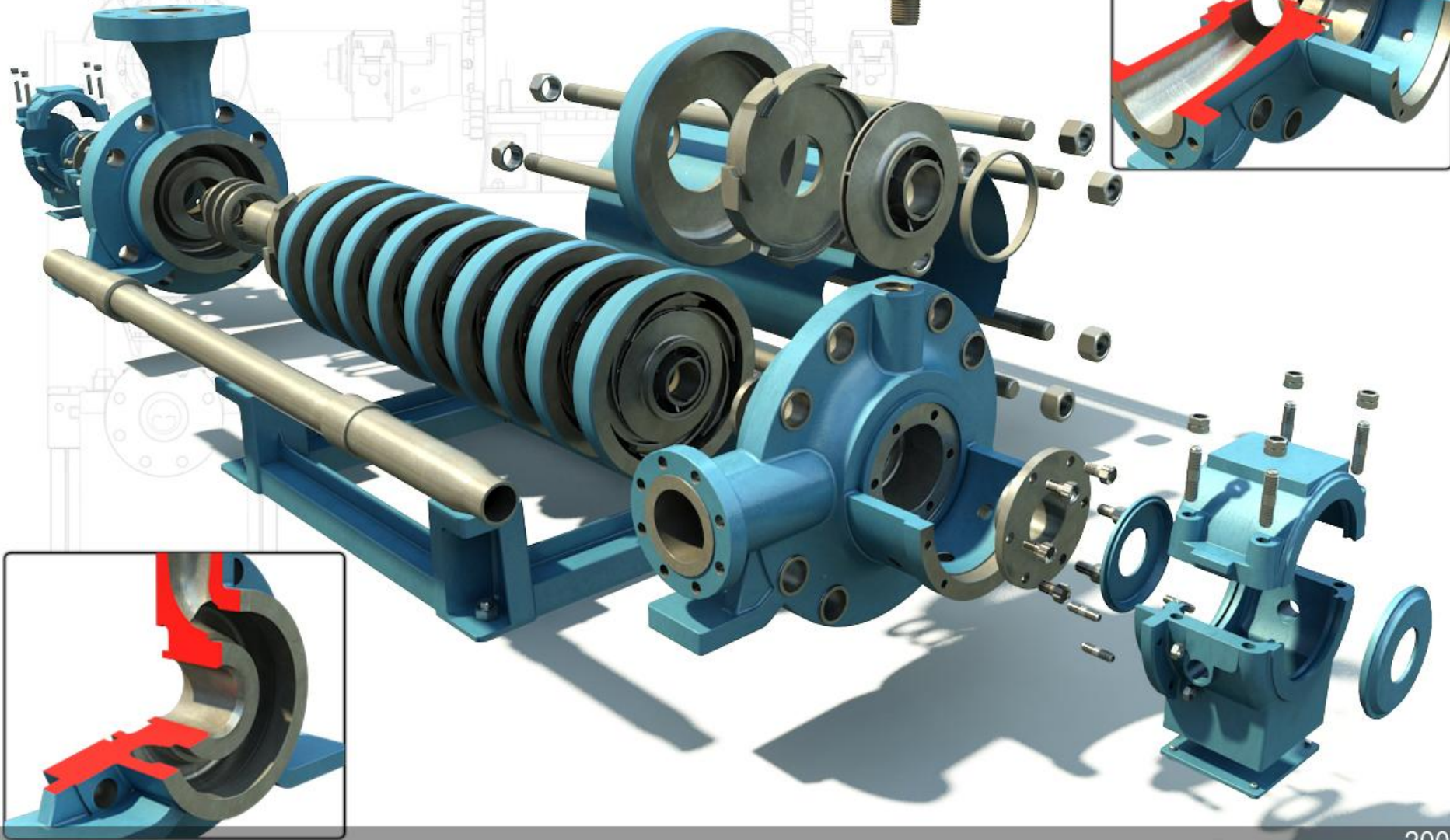


Графические характеристики насосов при частоте вращения электродвигателя 1450 об/мин и 960 об/мин









## 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 насосов с коэффициентом быстроходности  $n_s < 90$  применяется методика пересчета Айзенштейна.
- Коэффициент  $K=0,9$

$$Q_v = K_Q \cdot Q_B$$

$$H_v = K_H \cdot H_B$$

$$\eta_v = K_\eta \cdot \eta_B$$

$$\Delta h_v = K_{\Delta h} \cdot \Delta h_B$$

$$Re = \frac{Q_0}{D_{\text{экв}} \cdot v}$$

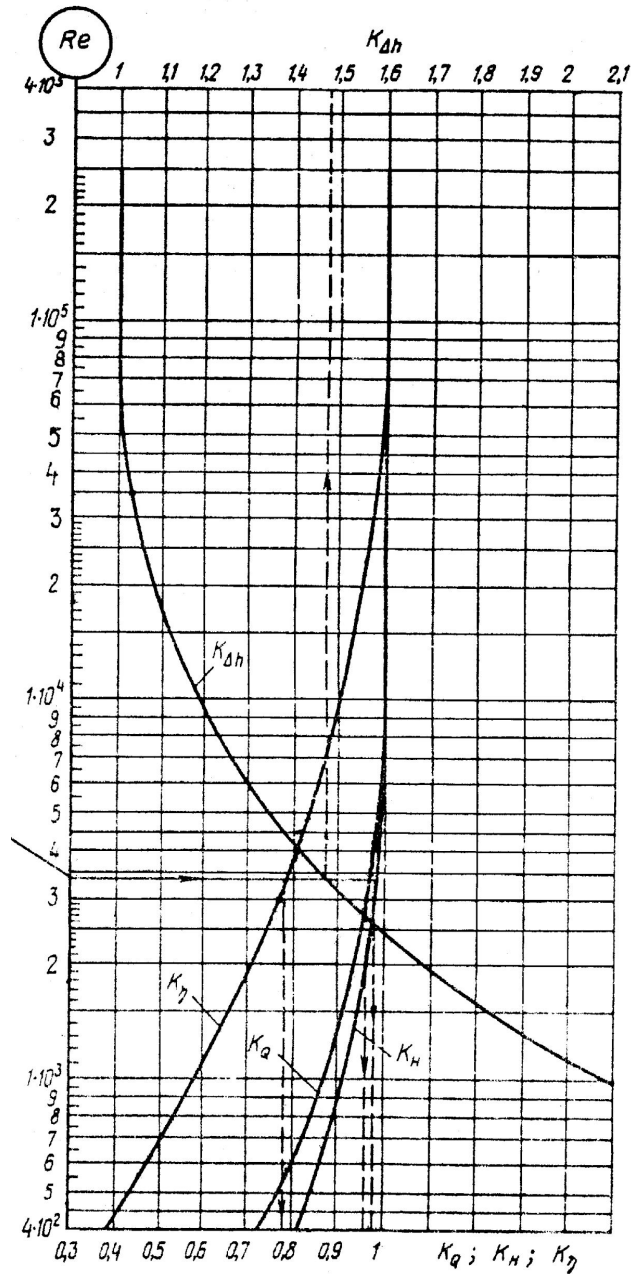
$$D_{\text{экв}} = \sqrt{4D_2 \cdot b_2 \cdot K}$$

$$N_v = N_B \frac{\rho_v \cdot Q_v \cdot H_v \cdot \eta_B}{\eta_v \cdot \rho_B \cdot Q_B \cdot H_B} = N_B \frac{\rho_v}{\rho_B} \cdot K_Q \cdot K_H \cdot \frac{1}{K_\eta}$$

# Параметры рабочих колес ЦНС

Насос	Диаметр, мм			Кол-во лопаток	Ширина лопаток, мм
	внешний	внутренний	Посадки на вал		
ЦНС 13	170	71	35	6	10,0
ЦНС 38	151	71	35	5	11,0
ЦНС 60	178	80	55	6	13,0
ЦНС 105	225	95	55	5	15,0
ЦНС 180	370	105	80	8	15,6
ЦНС 300	405	260	100	7	16,0

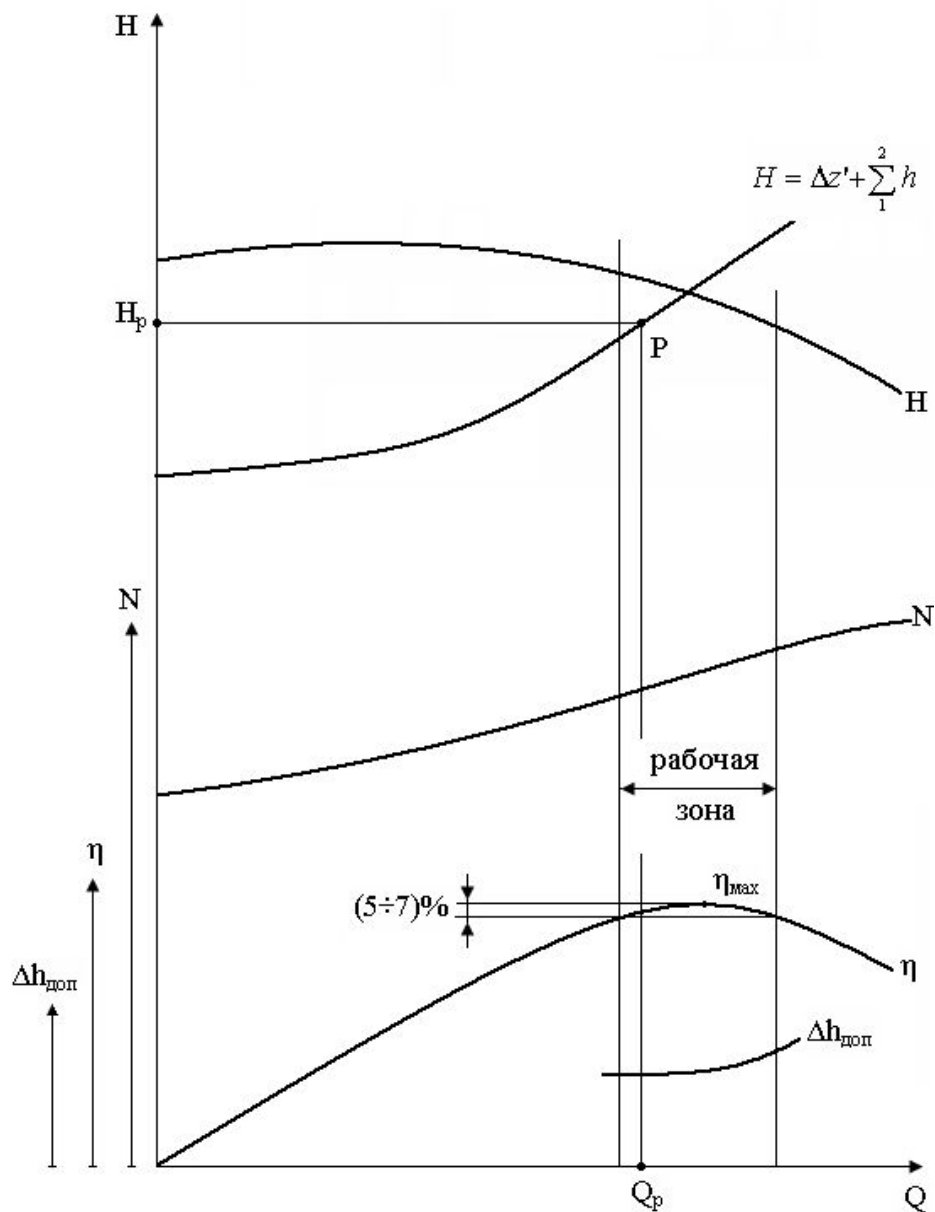
# Номограмма для определения коэффициентов пересчета



# Результаты пересчета характеристики насоса с воды на перекачиваемую жидкость

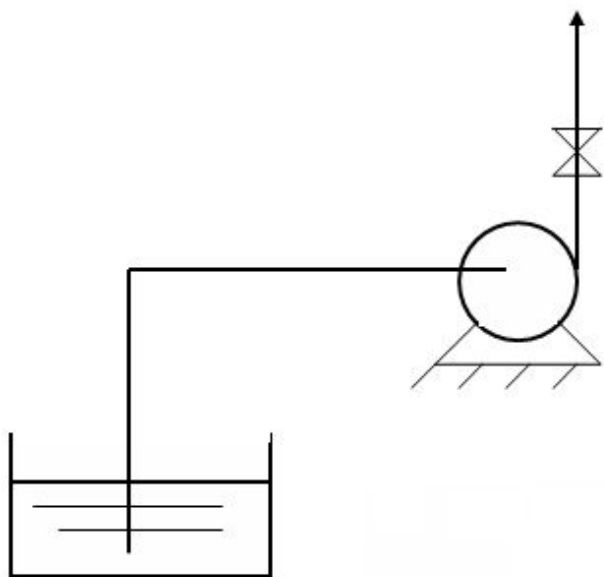
Q, м <sup>3</sup> /ч		H, м		N, кВт		η, %		Δh <sub>доп</sub> , м	
На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость	На воде	Вязк. жидкость

# Совмещенная характеристика

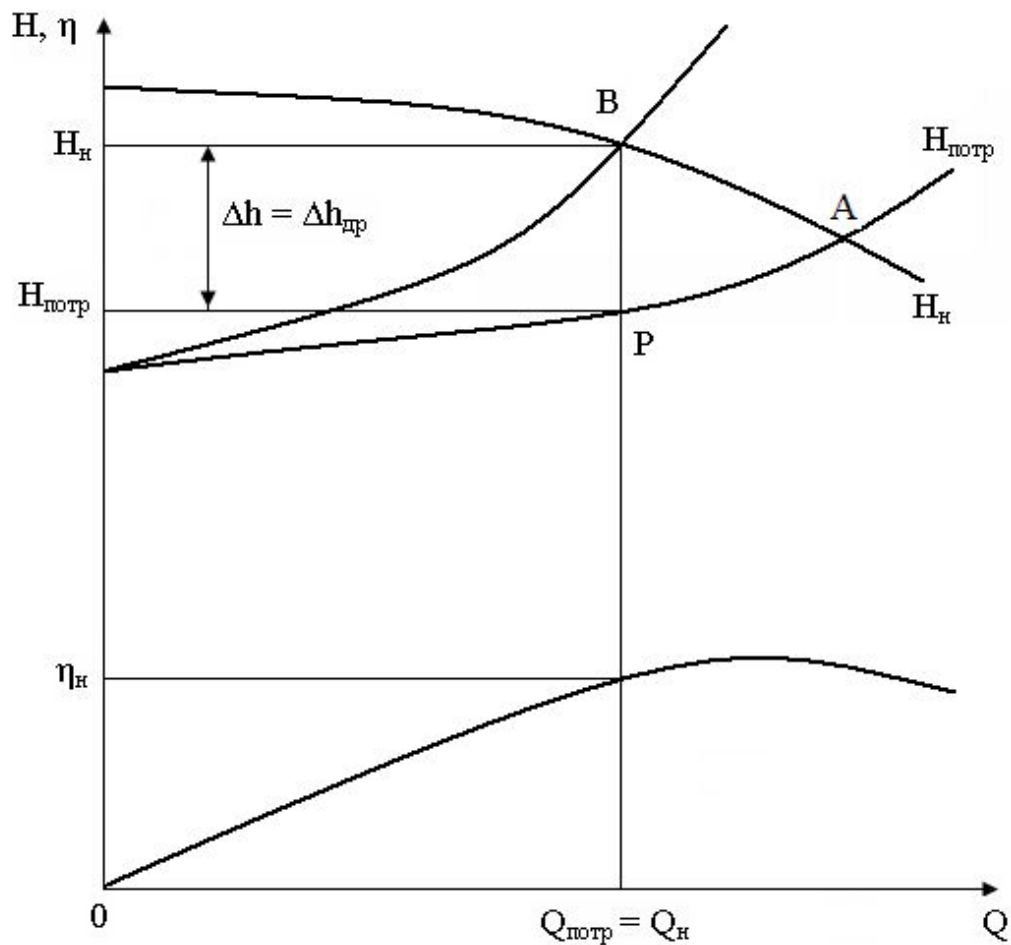




# Регулирование насоса методом дросселирования задвижкой на нагнетании

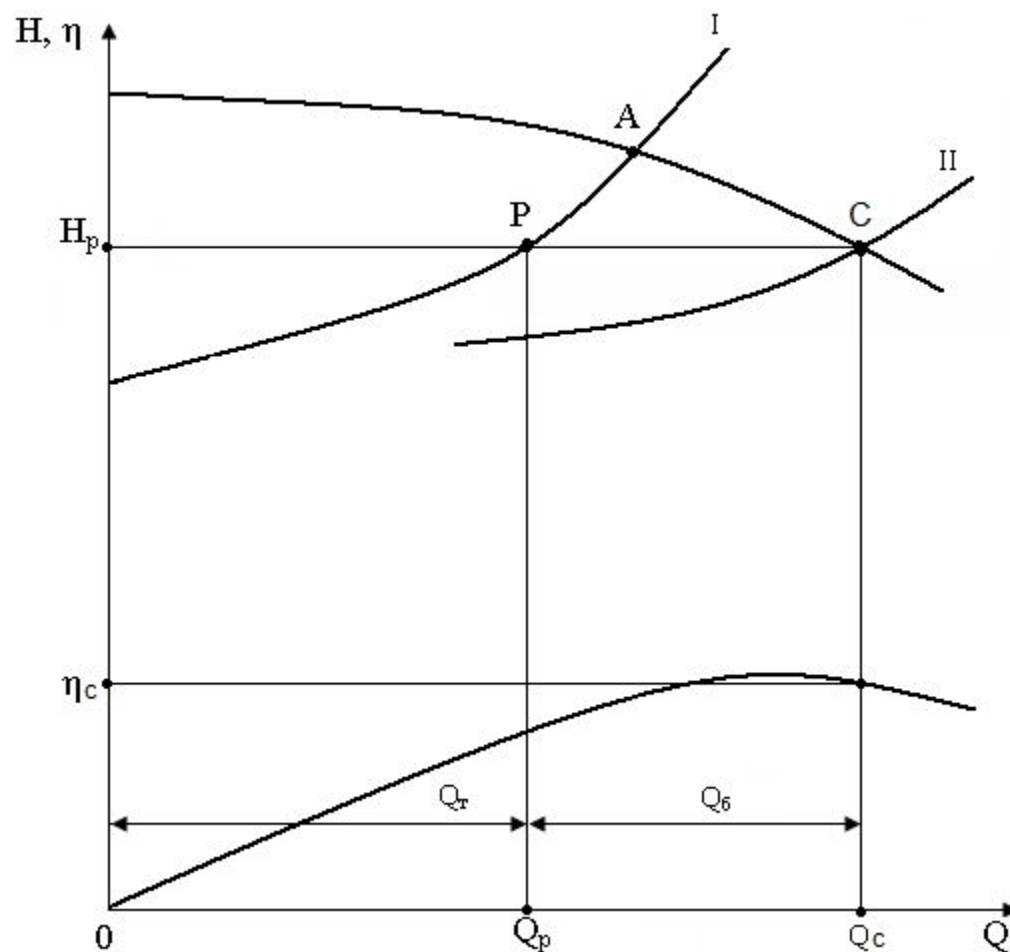
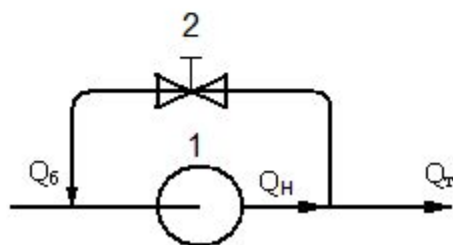


$$\eta = \left( 1 - \frac{\Delta h_{др}}{H_n} \right) \cdot \eta_n$$



# Регулирование насоса методом байпасирования

$$\eta_{\text{рег}} = \frac{Q_P}{Q_c} \cdot \eta_c = \left(1 - \frac{Q_B}{Q_c}\right) \eta_c$$



# Изменение числа оборотов

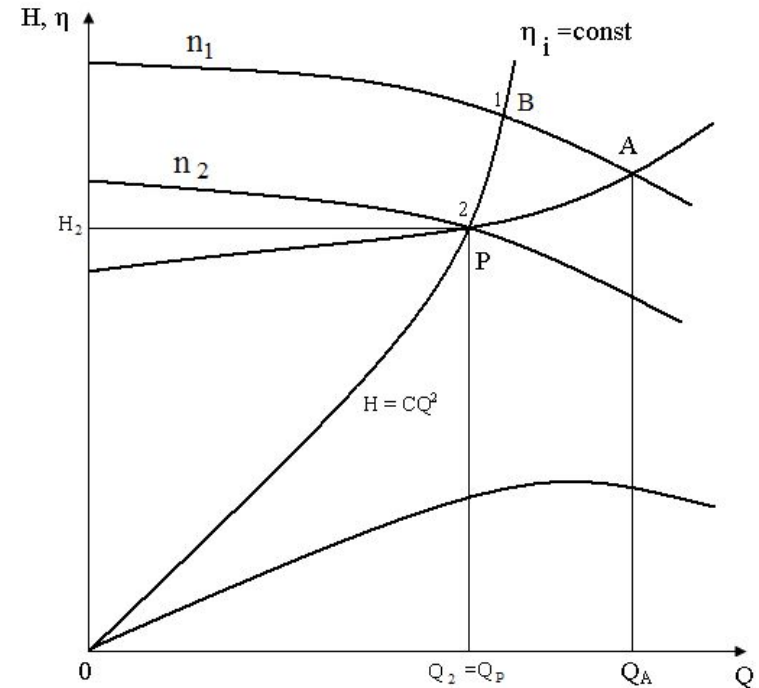
Для определения числа оборотов вала насоса, обеспечивающего подачу  $Q_2=Q_P$ , используют формулы подобия

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

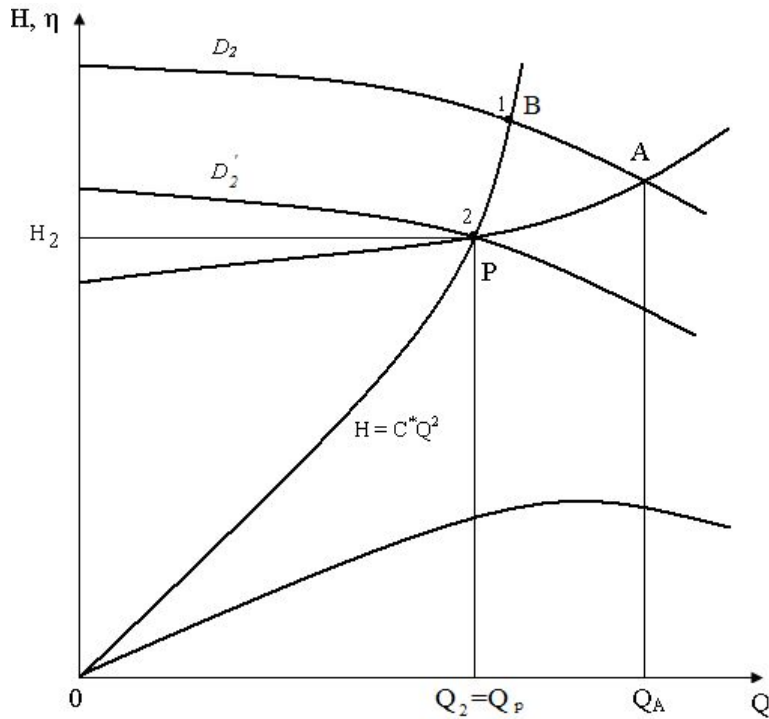
Значения для построения параболы подобия

Q, м <sup>3</sup> /ч	0	....	Q <sub>потр</sub>	
H, м	0	....	H <sub>потр</sub>	

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



# Обточка рабочих колес



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2'}{D_2}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left( \frac{D_2'}{D_2} \right)^2$$

$$H = C^* \cdot Q^2$$

$$C^* = \frac{H_2}{Q_2^2}$$

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

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

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

# 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

# Проверка всасывающей способности насоса

Для соблюдения условия бескавитационной работы насоса должно соблюдаться следующее условие: располагаемый кавитационный запас должен быть больше либо равен допустимому кавитационному запасу:

$$\Delta h_{расп} \geq \Delta h_{дон}$$

$$\Delta h_{расп} = \frac{P_0 - P_{НП}}{\rho g} + H_{ГВ} - \sum h_B$$

# Мощность, потребляемая приводом

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пер}}} \cdot K_3$$

Мощность на валу насоса, кВт	до 20	20-50	50-300	свыше 300
Коэффициент запаса мощности, Кз	1,25	1,2	1,15	1,1

# Подбор электродвигателя

Тип ЭД	Рн, кВт	n, об./мин.	КПД, %	cos φ	Ин, А (U=380 В)	Ip/In	Мг/Мн	Мп/Мн	Масса, кг
<b>2p=2, n=3000 об./мин.</b>									
АИР180М2	30	2950	91,4	0,9	55,4	7,5	2,3	2	170
АИР200М2	37	2950	92	0,88	67,9	7,5	2,3	2	230
АИР200L2	45	2960	92,5	0,9	82,1	7,5	2,3	2	255
АИР225М2	55	2970	93	0,9	100	7,5	2,3	2	320
АИР250S2	75	2975	93,6	0,9	135	7	2,3	2	450
АИР250М2	90	2975	93,9	0,91	160	7,1	2,3	2	530
АИР280S2	110	2975	94	0,91	195	7,1	2,2	1,8	650
АИР280М2	132	2975	94,5	0,91	233	7,1	2,2	1,8	700
АИР315S2	160	2975	94,6	0,92	279	7,1	2,2	1,8	1170
АИР315М2	200	2975	94,8	0,92	348	7,1	2,2	1,8	1460
АИР355S2	250	2980	95,2	0,92	433	7,1	2,2	1,6	1900
АИР355М2	315	2980	95,4	0,92	545	7,1	2,2	1,6	2300



# Подбор электродвигателя

Тип ЭД	Рн, кВт	n, об./мин.	КПД, %	cos φ	Ин, А (U=380 В)	Ip/In	Mm/Mн	Mп/Mн	Масса, кг
--------	---------	-------------	--------	-------	--------------------	-------	-------	-------	-----------

2р=4, n=1500 об./мин.

АИР180М4	30	1470	91,4	0,86	57,6	7,2	2,3	2,2	190
АИР200М4	37	1475	92	0,87	70,2	7,2	2,3	2,2	230
АИР200L4	45	1475	92,5	0,87	84,9	7,2	2,3	2,2	260
АИР225М4	55	1480	93	0,87	103	7,2	2,3	2,2	325
АИР250S4	75	1480	93,6	0,88	138,3	6,8	2,3	2,2	450
АИР250М4	90	1480	93,9	0,88	165,5	6,8	2,3	2,2	495
АИР280S4	110	1480	94,5	0,88	201	6,9	2,2	2,1	650
АИР280М4	132	1480	93,8	0,88	240	6,9	2,2	2,1	700
АИР315S4	160	1480	94,9	0,89	288	6,9	2,2	2,1	1000
АИР315М4	200	1480	94,9	0,89	360	6,9	2,2	2,1	1200
АИР355S4	250	1490	95,4	0,9	443	6,9	2,2	2,1	1700
АИР355М4	315	1490	95,2	0,9	559	6,9	2,2	2,1	1900

# Подбор электродвигателя

Тип ЭД	Рн, кВт	n, об./мин.	КПД, %	cos φ	Ин, А (U=380 В)	Ip/In	Мг/Мн	Мп/Мн	Масса, кг
--------	---------	-------------	--------	-------	--------------------	-------	-------	-------	-----------

**2р=6, n=1000 об./мин.**

<b>AIP200L6</b>	30	980	91,5	0,84	59,3	7	2,1	2	225
<b>AIP225M6</b>	37	980	92	0,86	71	7	2,1	2,1	360
<b>AIP250S6</b>	45	980	92,5	0,86	86	7	2	2,1	465
<b>AIP250M6</b>	55	980	92,8	0,86	104	7	2	2,1	520
<b>AIP280S6</b>	75	985	93,5	0,86	142	6,7	2	2	690
<b>AIP280M6</b>	90	985	93,8	0,86	169	6,7	2	2	800
<b>AIP315S6</b>	110	985	94	0,86	207	6,7	2	2	880
<b>AIP315M6</b>	132	985	94,2	0,87	242	6,7	2	2	1050
<b>AIP355S6</b>	160	990	94,5	0,88	292	6,7	2	1,9	1550
<b>AIP355MA6</b>	200	990	94,5	0,88	365	6,7	2	1,9	1600
<b>AIP355MB6</b>	250	990	94,5	0,88	457	6,7	2	1,9	1700

**Спасибо за внимание**