РГУ нефти и газа
имени И.М. Губкина
(НИУ)

Факультет Проектирования, сооружения и эксплуатации систем трубопроводного транспорта.

Эксплуатация насосных станций.

Насосы магистральных нефтепроводов.

Преподаватель:
ассистент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов.
Пригода Александр Александрович

Параметры насоса

Основные рабочие параметры насоса:

- Подача *Q, [м³/ч]*
- напор *H, [м]*
- потребляемая мощность *P, [Вт]*
- КПД *η, [%]*
- частота вращения *n, [об/мин]*
- требуемый кавитационный запас *Δh (NPSHr), [м]*

Характеристиками насоса называют *зависимости* между основными рабочими параметрами и подачей.

Параметры насоса

Основные рабочие параметры насоса:

Подача насоса – объем жидкости, даваемой насосом за единицу времени. Расход жидкости через напорный патрубок, измеряется расход, как правило, в *[л/мин]* или *[м^3/ч]*.

Напор насоса - разность удельных механических энергий жидкости в сечениях до и после насоса. В более общем понятии напор - удельная механическая энергия жидкости, а, следовательно, напор насоса - удельная механическая энергия, переданная жидкости насосом. Для динамических насосов напор, обычно, указывают в *[м]*.

Потребляемая мощность (мощность на валу) – мощность, потребляемая насосом при работе – подводимая к нему от двигателя за единицу времени *[Вт]*.

Параметры насоса

Основные рабочие параметры насоса:

Коэффициент полезного действия (КПД) насоса определяется как отношение полезной мощности к потребляемой. Измеряется в *[%]* или долях от единицы.

Частота вращения насоса представляет собой число оборотов вала насоса в единицу времени *[об/мин].*

Допустимый или требуемый кавитационный запас насоса – минимальное значение *надкавитационного* напора для номинальной подачи, обеспечивающее работу насоса без падения напора, КПД и без увеличения шума от кавитации.

Параметры насоса

Из чего складывается напор насоса?

Напор насоса $$H = \frac{p_{вых} - p_{вх}}{\rho g} + \frac{V^2_{вых} - V^2_{вх}}{2g} + z,$$

где $p_{вых}$ и $p_{вх}$ – давления на выходе из насоса и на его входе, *[Па]*;

$V_{вых}$ и $V_{вх}$ – средние скорости на выходе из насоса и на его входе, *[м/с]*;

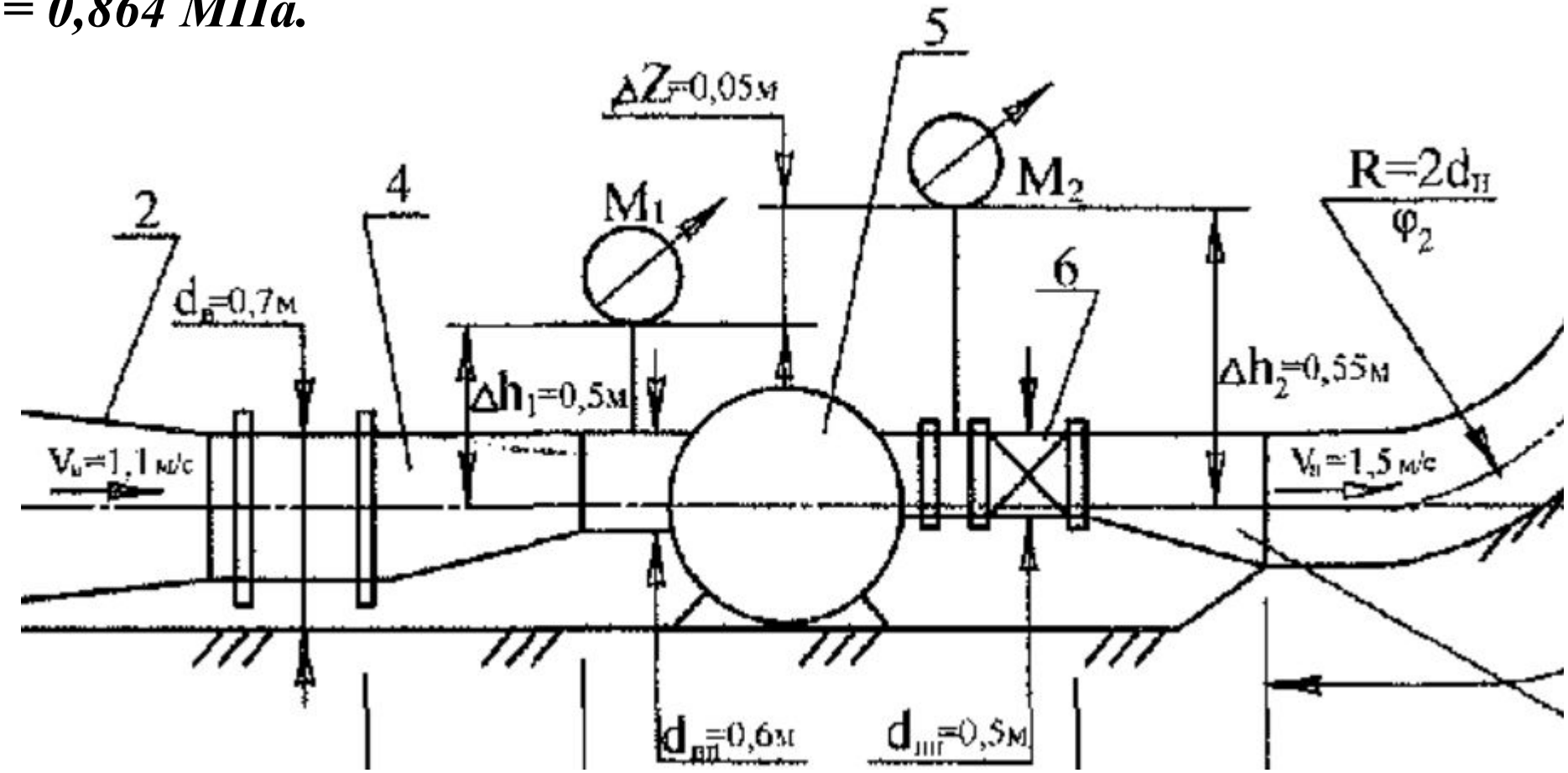
z – расстояние по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра, *[м]*;

ρ – плотность жидкости, *[кг/м^3]*.

Задача №1

Определение напора насоса.

Определить полный напор насоса по показаниям приборов, если
$P_{м1}$ = 0,034 Мпа, а $P_{м2}$ = 0,864 МПа.



Задача №1

Определение напора насоса.

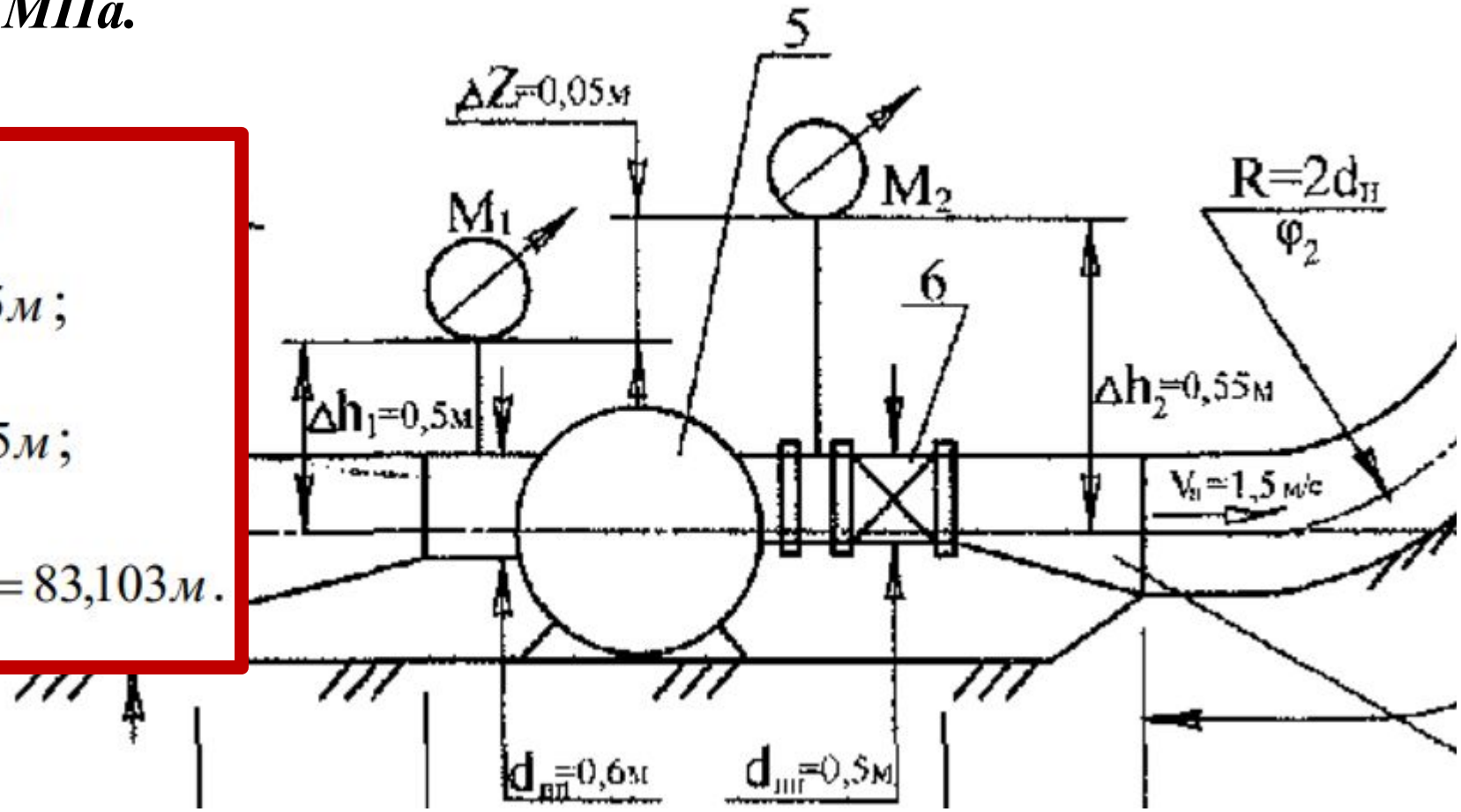
Определить полный напор насоса по показаниям приборов, если
$P_{м1}$ = 0,034 Мпа, а $P_{м2}$ = 0,864 МПа.

$$Z=\Delta h_1-\Delta h_2=0{,}55-0{,}5=0.05\ м$$

$$\Delta h_1=\frac{d_{вс.п.}}{2}+0{,}2=\frac{0{,}6}{2}+0{,}2=0{,}5м;$$

$$\Delta h_2=\frac{d_{н.п.}}{2}+0{,}3=\frac{0{,}5}{2}+0{,}3=0{,}55м;$$

$$H=86{,}4-3{,}4+\frac{1{,}5^2-1{,}1^2}{2\cdot 9{,}81}+0{,}05=83{,}103м.$$



Параметры насоса

Как связаны полезная мощность и КПД? Что такое полная мощность?

<u>Полезная</u> мощность $N = \rho g Q H$ [кВт].

Коэффициент полезного действия (КПД) насоса $\eta = \frac{N_П}{N} = \eta_Г \eta_М \eta_О$,

где $\eta_Г$ — *гидравлический КПД,*
$\eta_М$ — *механический КПД,*
$\eta_О$ — *объемный КПД.*

КПД характеризует совершенство конструкции, а также качество изготовления насоса.

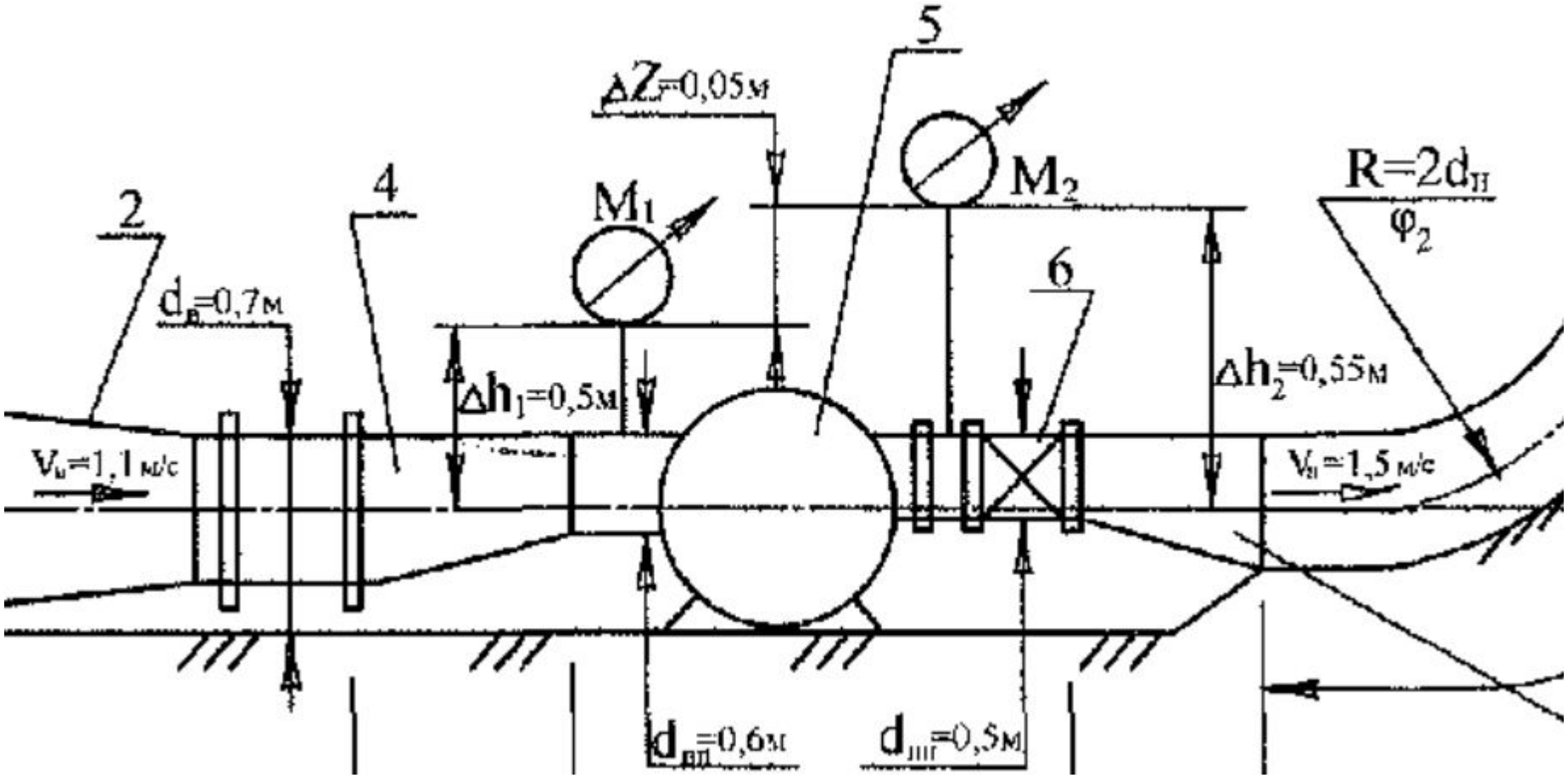
Задача №2

Определение мощность насоса

<u>По условию задачи №1 определить мощность и КПД насоса.</u>

Дополнительные сведения:

- перекачиваемая среда — *вода*;
- Мощность на валу ***N = 400 [кВт].***



Задача №2

Определение мощности насоса

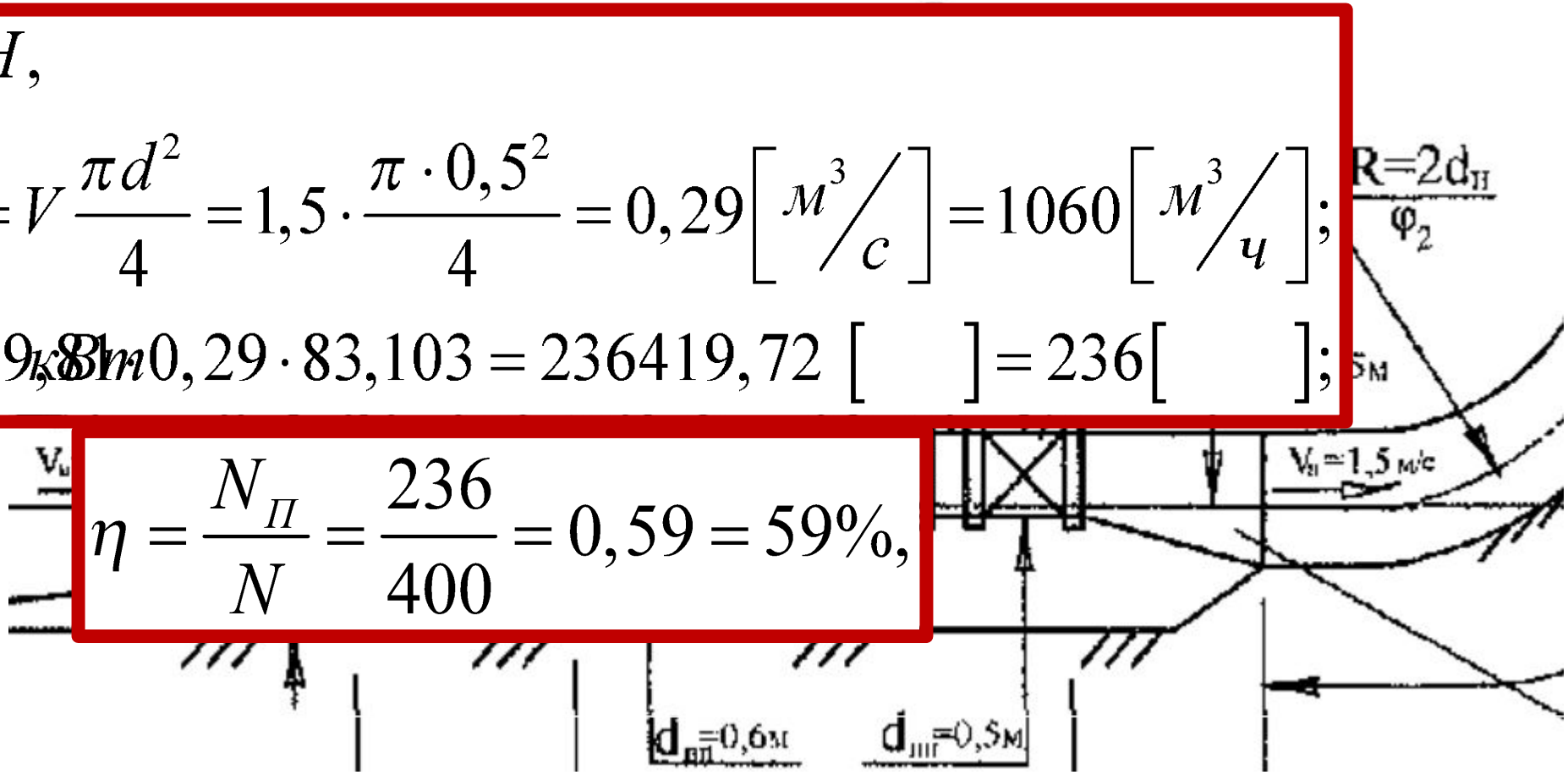
<u>По условию задачи №1 определить мощность и КПД насоса.</u>

$$N = \rho g Q H,$$

$$Q = VS_{тр} = V\frac{\pi d^2}{4} = 1{,}5 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}5^2}{4} = 0{,}29\left[{}^{м^3}\!/_{с}\right] = 1060\left[{}^{м^3}\!/_{ч}\right];$$

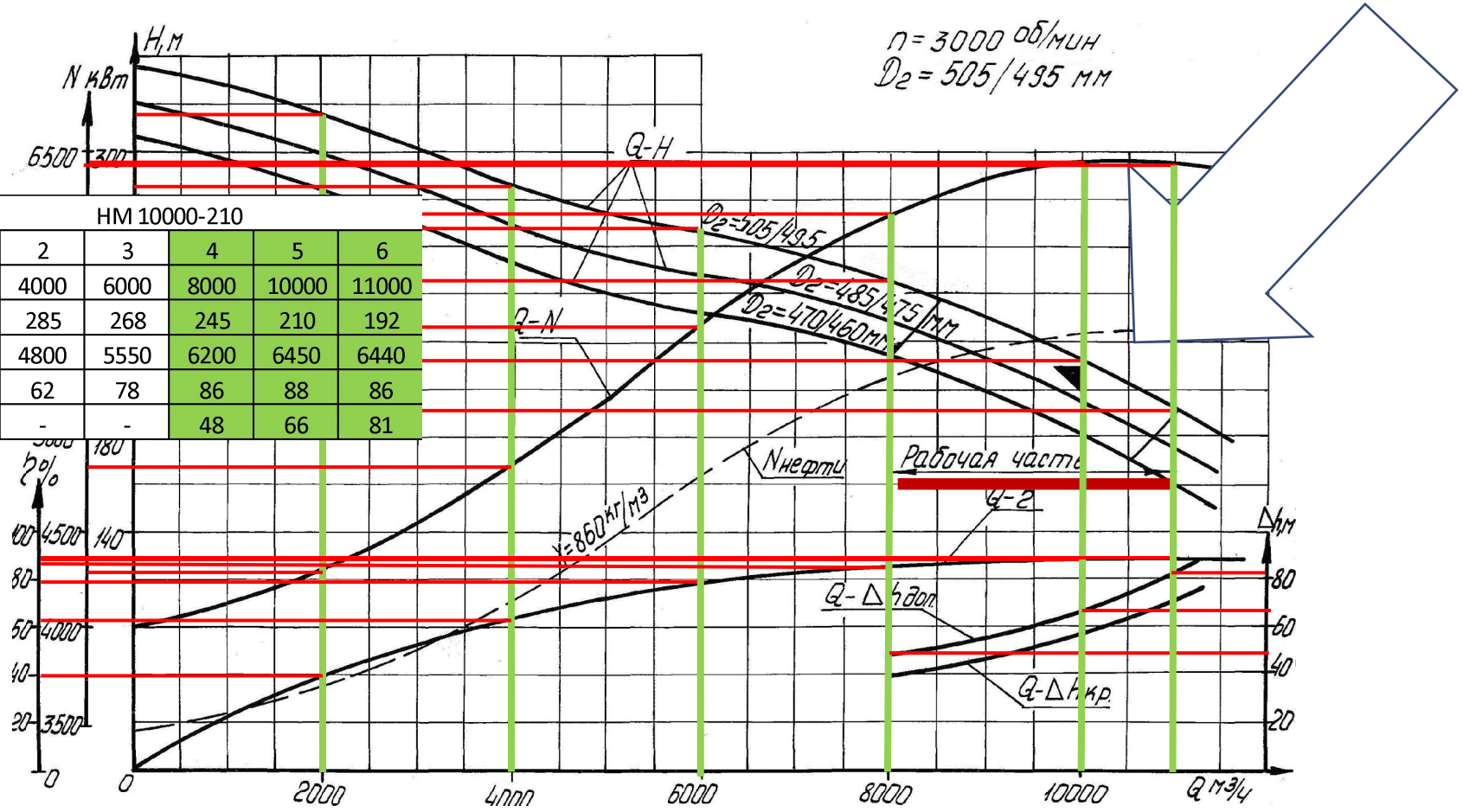
$$N = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}29 \cdot 83{,}103 = 236419{,}72\ [\quad] = 236[\quad];$$

$$\eta = \frac{N_П}{N} = \frac{236}{400} = 0{,}59 = 59\%,$$



Характеристические кривые насоса

	НМ 10000-210					
	1	2	3	4	5	6
Подача Q, [м3/ч]	2000	4000	6000	8000	10000	11000
Напор H, [м]	317	285	268	245	210	192
Мощность N, [кВт]	4300	4800	5550	6200	6450	6440
КПД η, [%]	40	62	78	86	88	86
Кавитационный запас hдоп, [м]	-	-	-	48	66	81



Задача №3

Для заданной характеристики (*Насос НПВ 5000-120*) определить значения *напора, мощности и допустимого кавитационного запаса*.

1. ***Сравните*** полученные значения со значениями для *НМ-10000-210*.
2. Чем похожи и чем отличаются рассмотренные насосы?
3. Какой *вывод* можно сделать?

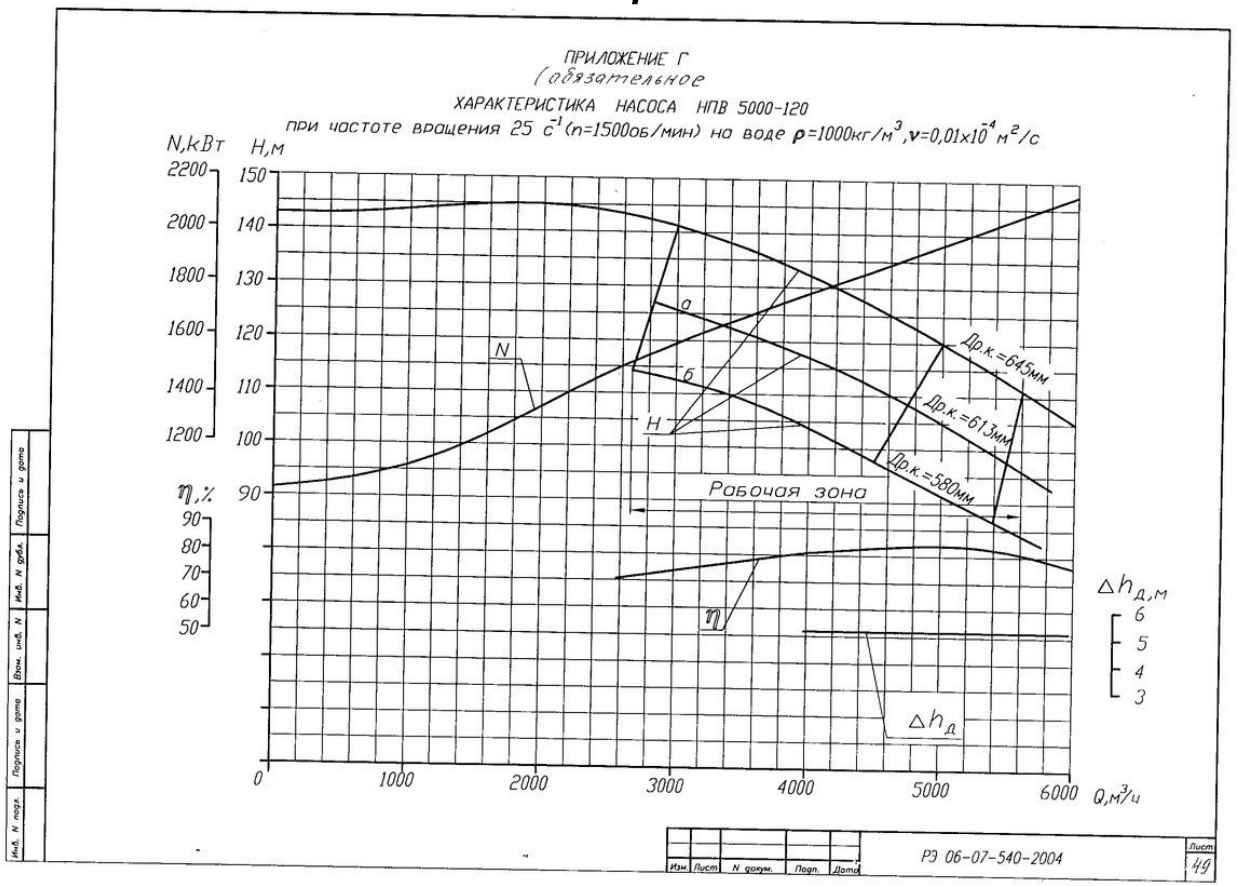


Рис. Характеристика насоса НПВ 5000-120

Характеристические кривые насоса

	НМ 10000-210						НПВ 5000-120				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
Подача Q, [м3/ч]	2000	4000	6000	8000	10000	11000	3000	4000	5000	5400	6000
Напор H, [м]	317	285	268	245	210	192	141	135	120	114	110
Мощность N, [кВт]	4300	4800	5550	6200	6450	6440	1600	1780	1970	2030	1150
КПД η, [%]	40	62	78	86	88	86	73	81	84	82	78
Кавитационный запас hдоп, [м]	-	-	-	48	66	81	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Каким образом строятся рассмотренные характеристики?

Согласно *ГОСТ Р 54806-2011: (п.6.3.4.1)* «Если не установлено иное, изготовитель должен при заводских испытаниях получить *минимум пять точек*, фиксируемых в протоколе испытаний, *включая напор, подачу и мощность*. Эти пять точек должны быть согласованы с потребителем, но, как правило, показания снимают *при нулевой подаче* (с закрытой напорной задвижкой), *минимальной непрерывной стабильной подаче*, на *полпути между минимальной и расчетной подачей, при расчетной подаче и 110% расчетной подачи*».

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аналитическая запись (Q-H) – характеристики насоса имеет вид:

$$H(Q) = a - b \cdot Q^2$$

Для аналитического описания (Q-H)-характеристики насоса необходимо провести *аппроксимацию* ее паспортной кривой *методом наименьших квадратов*. Для этого воспользуемся формулами для параметров ***a*** и ***b***:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}, [\quad]; \quad b = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}, \left[\frac{c^2}{м^6}\right].$$

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса НМ-7000-210:

С паспортной кривой снимаем значения Q_i и H_i для пяти точек лежащих на Q-H кривой в рабочей зоне и составляем необходимую для расчетов таблицу:

№ точки	H, м	Q, м³/ч	Q^2	$H \cdot Q^2$	Q^4
1	260	4500	20250000	5265000000	$4{,}1 \cdot 10^{14}$
2	236	5500	30250000	7139000000	$9{,}2 \cdot 10^{14}$
3	216	6500	42250000	9126000000	$1{,}8 \cdot 10^{15}$
4	208	7000	49000000	10192000000	$2{,}4 \cdot 10^{15}$
5	176	8000	64000000	11264000000	$4{,}1 \cdot 10^{15}$
∑	1096		$2{,}0575 \cdot 10^{8}$	$4{,}2986 \cdot 10^{10}$	$9{,}6 \cdot 10^{15}$

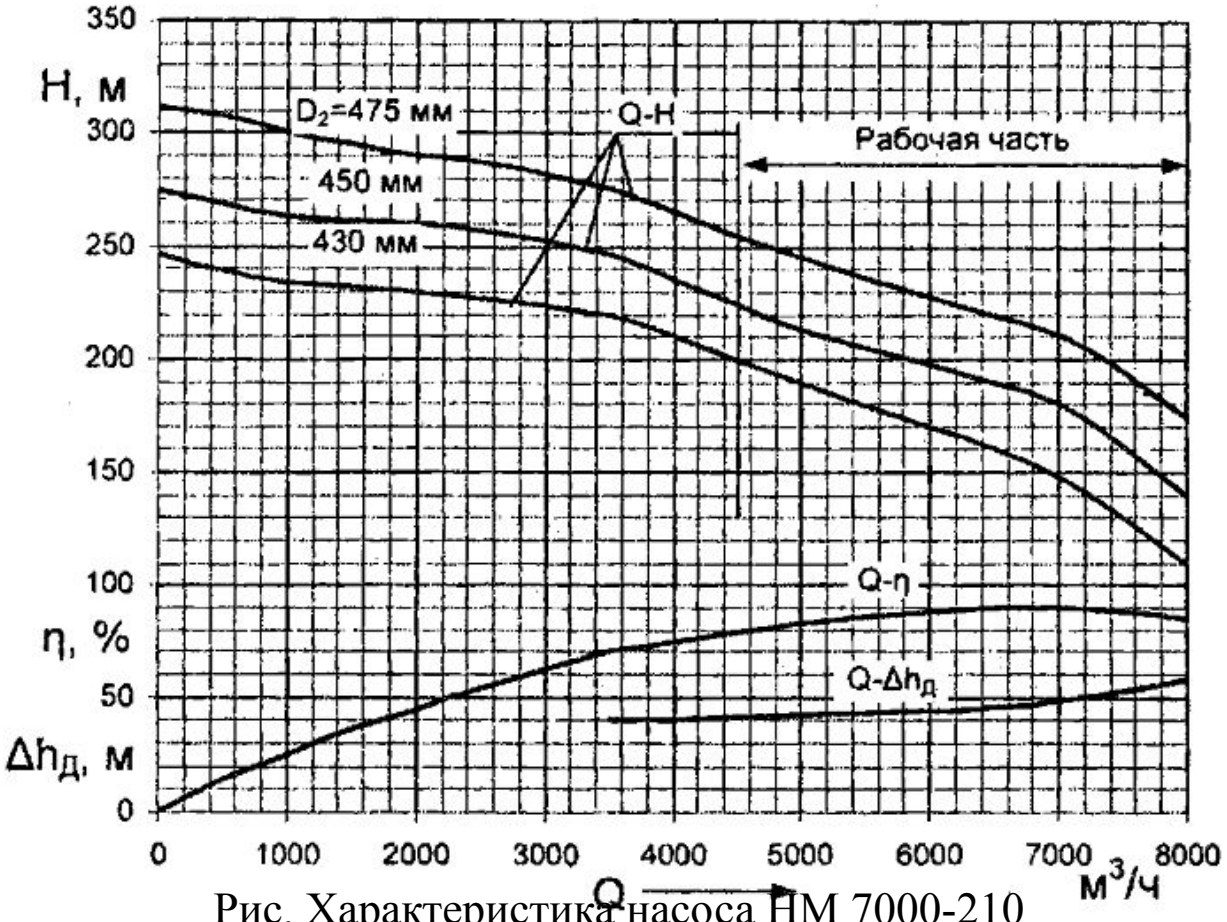


Рис. Характеристика насоса НМ 7000-210

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса НМ-7000-210:

№ точки	H, [м]	Q, [м^3/ч]	Q^2	$H \cdot Q^2$	Q^4
1	260	4500	20250000	5265000000	$4{,}1 \cdot 10^{14}$
2	236	5500	30250000	7139000000	$9{,}2 \cdot 10^{14}$
3	216	6500	42250000	9126000000	$1{,}8 \cdot 10^{15}$
4	208	7000	49000000	10192000000	$2{,}4 \cdot 10^{15}$
5	176	8000	64000000	11264000000	$4{,}1 \cdot 10^{15}$
$\sum$	1096		$2{,}0575 \cdot 10^{8}$	$4{,}2986 \cdot 10^{10}$	$9{,}6 \cdot 10^{15}$

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса НМ-7000-210:

№ точки	H, [м]	Q, [м^3/ч]	Q2, [м3/ч]^2	H·Q2, [м^7/ч^2]	Q^4, [м3/ч]^2
1	260	4500	20250000	5265000000	$4{,}1\cdot10^{14}$
2	236	5500	30250000	7139000000	$9{,}2\cdot10^{14}$
3	216	6500	42250000	9126000000	$1{,}8\cdot10^{15}$
4	208	7000	49000000	10192000000	$2{,}4\cdot10^{15}$
5	176	8000	64000000	11264000000	$4{,}1\cdot10^{15}$
∑	1096		$2{,}0575\cdot10^{8}$	$4{,}2986\cdot10^{10}$	$9{,}6\cdot10^{15}$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5\cdot\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{2{,}0575\cdot10^{8}\cdot4{,}2986\cdot10^{10} - 1096\cdot9{,}6\cdot10^{15}}{\left(2{,}0575\cdot10^{8}\right)^2 - 5\cdot9{,}6\cdot10^{15}} = 295{,}5\ [\quad],$$

$$b = \frac{5\cdot\sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5\cdot\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{5\cdot4{,}2986\cdot10^{10} - 1096\cdot2{,}0575\cdot10^{8}}{\left(2{,}0575\cdot10^{8}\right)^2 - 5\cdot9{,}6\cdot10^{15}} = 1{,}85\cdot10^{-6}\left[\frac{м}{\left(м^3/ч\right)^2}\right].$$

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса НМ-7000-210:

№ точки	H, м	Q, м³/ч	Q^2	$H \cdot Q^2$	Q^4
1	260	4500	20250000	5265000000	$4{,}1 \cdot 10^{14}$
2	236	5500	30250000	7139000000	$9{,}2 \cdot 10^{14}$
3	216	6500	42250000	9126000000	$1{,}8 \cdot 10^{15}$
4	208	7000	49000000	10192000000	$2{,}4 \cdot 10^{15}$
5	176	8000	64000000	11264000000	$4{,}1 \cdot 10^{15}$
∑	1096		$2{,}0575 \cdot 10^8$	$4{,}2986 \cdot 10^{10}$	$9{,}6 \cdot 10^{15}$

(Q-H)-характеристика насоса НМ 7000-210 в диапазоне расходов от 4500 до 8000 м³/ч имеет следующий вид:

$$H(Q) = a - b \cdot Q^2 = 295{,}48 - 1{,}85 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{2{,}0575 \cdot 10^8 \cdot 4{,}2986 \cdot 10^{10} - 1096 \cdot 9{,}6 \cdot 10^{15}}{\left(2{,}0575 \cdot 10^8\right)^2 - 5 \cdot 9{,}6 \cdot 10^{15}} = 295{,}5 \; [\quad],$$

$$b = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{5 \cdot 4{,}2986 \cdot 10^{10} - 1096 \cdot 2{,}0575 \cdot 10^8}{\left(2{,}0575 \cdot 10^8\right)^2 - 5 \cdot 9{,}6 \cdot 10^{15}} = 1{,}85 \cdot 10^{-6} \left[\frac{м}{\left(м^3/ч\right)^2}\right].$$

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса

Аппроксимация паспортной (Q-H) – характеристики насоса НПВ 3600-90:

№ точки	H, м	Q, м^3/ч	Q^2	$H \cdot Q^2$	Q^4
1	115	2000	4000000	460000000	$1{,}6 \cdot 10^{13}$
2	110	2500	6250000	687500000	$3{,}9 \cdot 10^{13}$
3	104	3000	9000000	936000000	$8{,}1 \cdot 10^{13}$
4	93	3500	12250000	1139250000	$1{,}5 \cdot 10^{14}$
5	81	4000	16000000	1296000000	$2{,}6 \cdot 10^{14}$
∑	503		47500000	4518750000	$5{,}4 \cdot 10^{14}$

(Q-H) — характеристика насоса НПВ 3600-90 в диапазоне расходов от 2000 до 4000 [м^3/ч] имеет следующий вид:

$$H(Q_n) = 127{,}75 - 2{,}86 \cdot 10^{-6} \cdot Q_n^{\ 2}$$

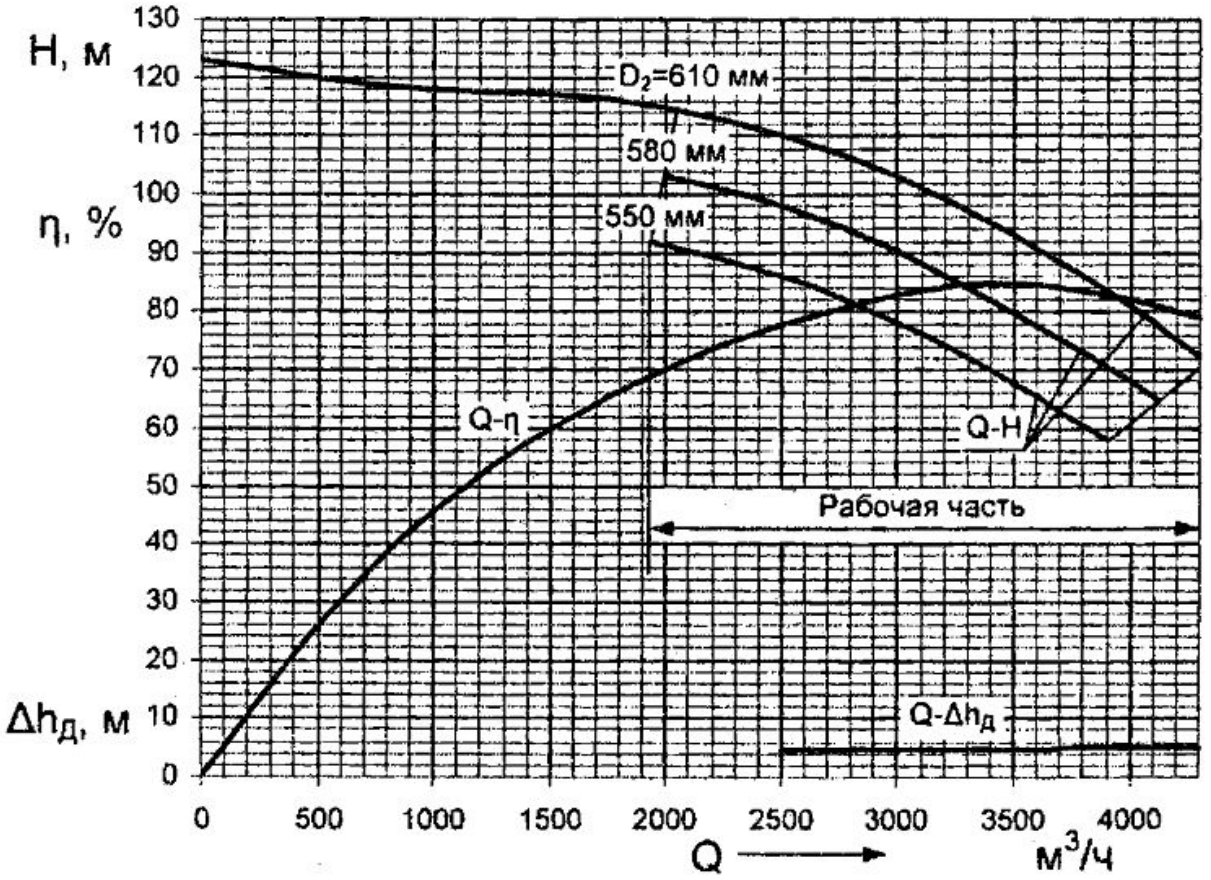


Рис. Характеристика насоса НПВ 3600-90

Задача №4

Произвести аппроксимацию паспортной (Q-H) – характеристики насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D.

1. Определите тип насоса (магистральный или подпорный).
2. Найдите коэффициенты аппроксимации насоса

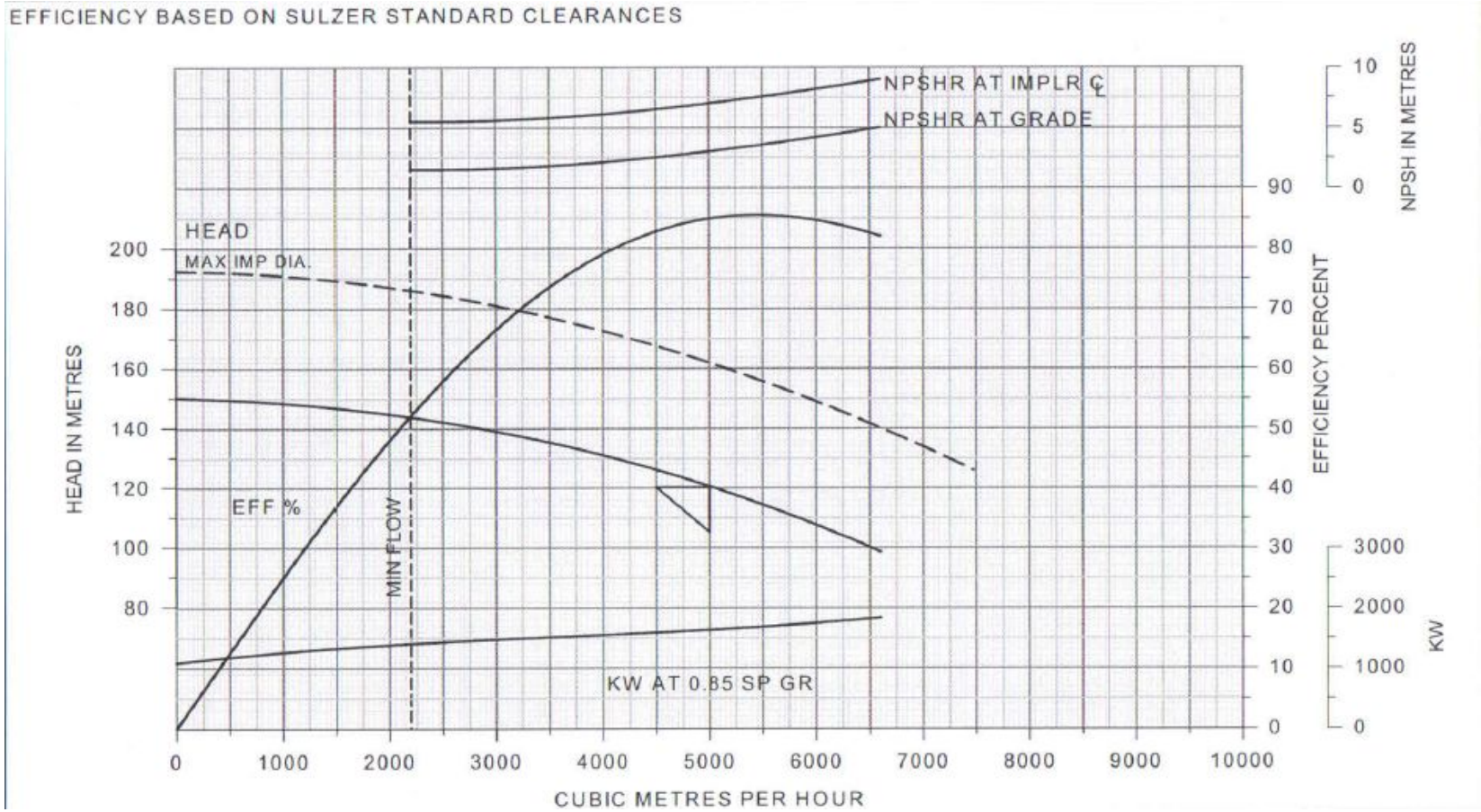


Рис. Характеристика насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D

Задача №4

Произвести аппроксимацию паспортной (Q-H) – характеристики насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D.

№ точки	H, [м]	Q, [м^3/ч]	Q^2, [м^3/ч]^2	H·Q^2, [м^7/ч^2]	Q^4, [м^3/ч]^3
1	155	2000			
2	150	2684,1			
3	147	2712,07			
4	144	2911,15			
5	143	3144,86			
Σ	739				

Задача №4

Произвести аппроксимацию паспортной (Q-H) – характеристики насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{3,7 \cdot 10^7 \cdot 5,4 \cdot 10^9 - 739 \cdot 2,9 \cdot 10^{14}}{\left(3,7 \cdot 10^7\right)^2 - 5 \cdot 2,9 \cdot 10^{14}} = 163,74[\quad],$$

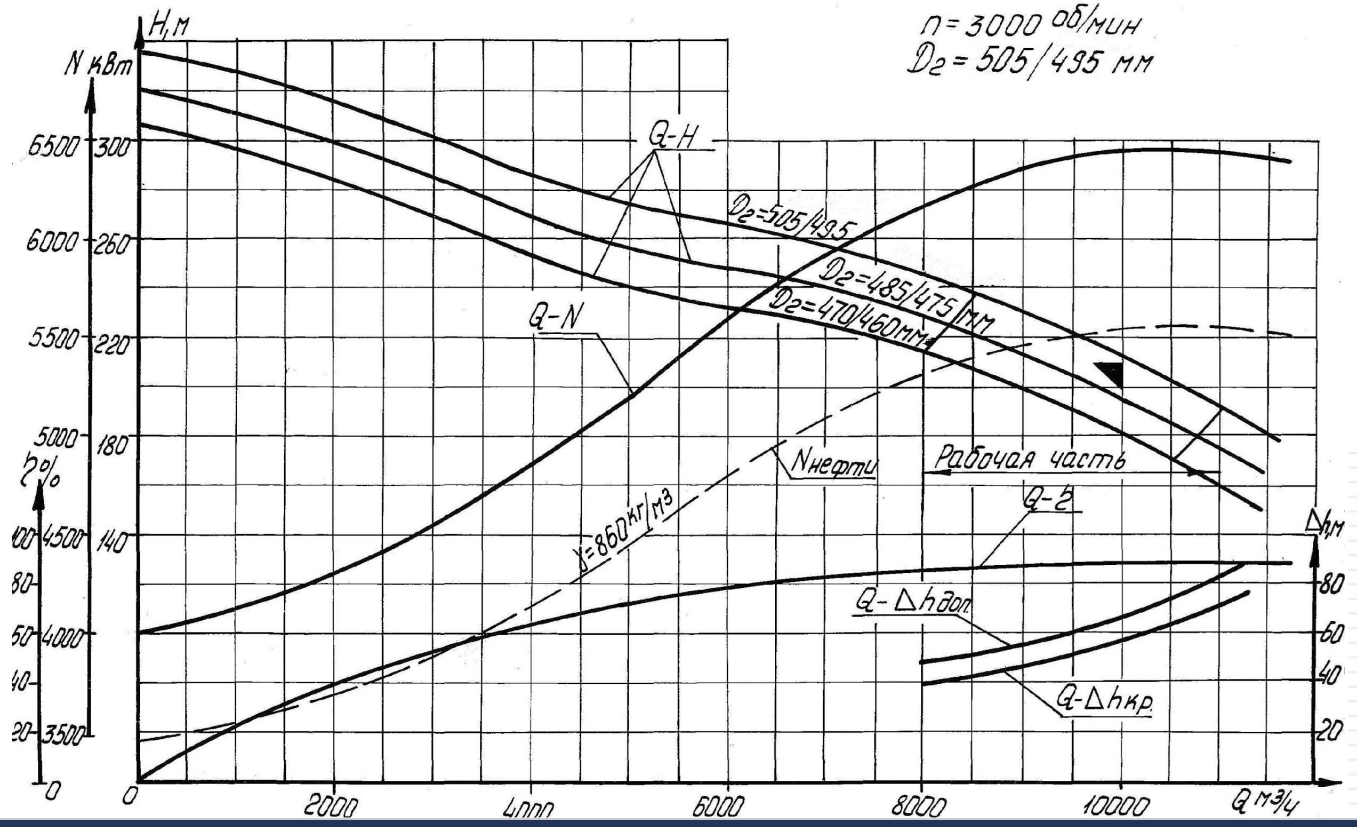
$$b = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{5 \cdot 5,4 \cdot 10^9 - 739 \cdot 3,7 \cdot 10^7}{\left(3,7 \cdot 10^7\right)^2 - 5 \cdot 2,9 \cdot 10^{14}} = 2,16 \cdot 10^{-6} \left[\frac{м}{\left(м^3/ч\right)^2}\right].$$

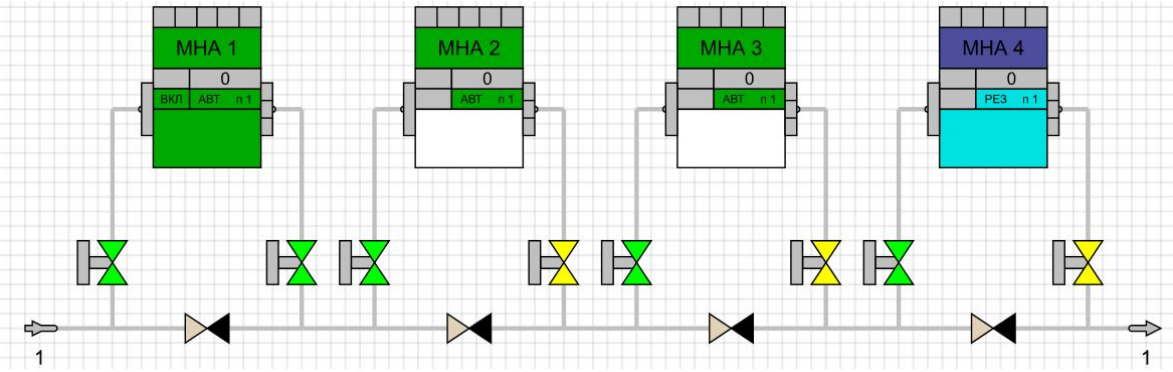
Q-H)-характеристика насоса Sulzer VCR-D (693/608) в диапазоне расходов от 2000 до 4000 [м3/ч] имеет следующий вид:

$$H(Q_n) = 163,74 - 2,16 \cdot 10^{-6} \cdot Q_n{}^2$$

Соединение насосов в группы

Последовательное соединение насосов обычно применяется для увеличения напора в тех случаях, когда один насос не может создать требуемого напора. При этом подача насосов одинакова, а общий напор равен сумме напоров обоих насосов, взятых при одной и той же подаче.





Соединение насосов в группы

Аналитическая запись (Q-H) – характеристики группы последовательно соединенных одинаковых насосов имеет вид:

$$H(Q) = n(a - bQ^2).$$

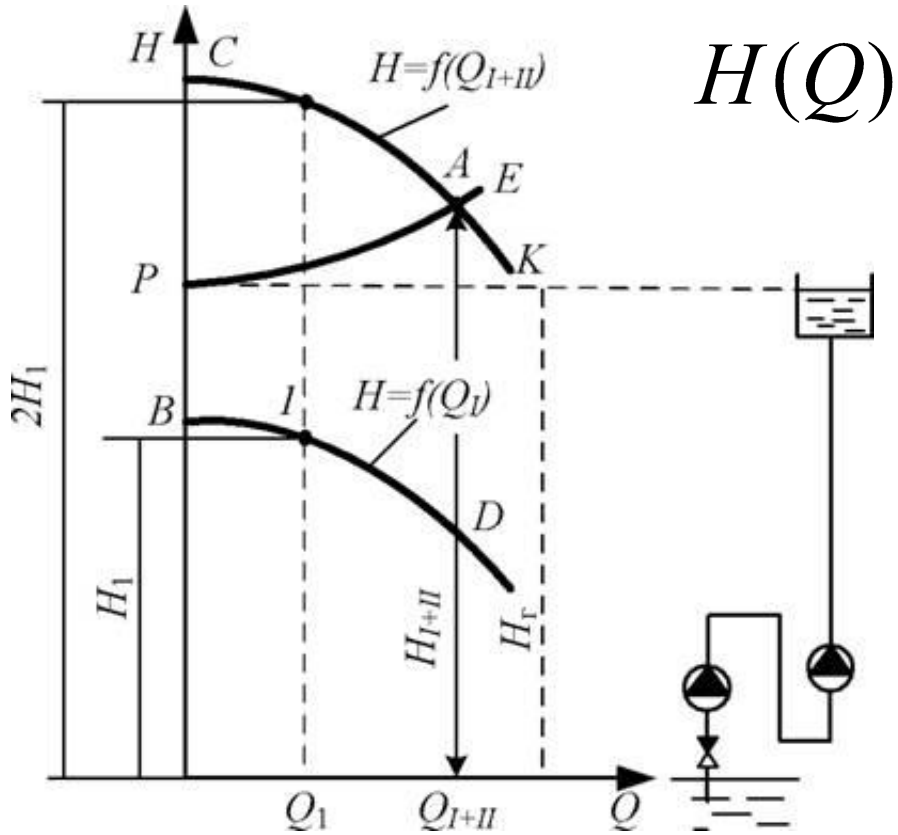


Рис. Каждый насос в отдельности не может поднять воду на заданную высоту Нт.

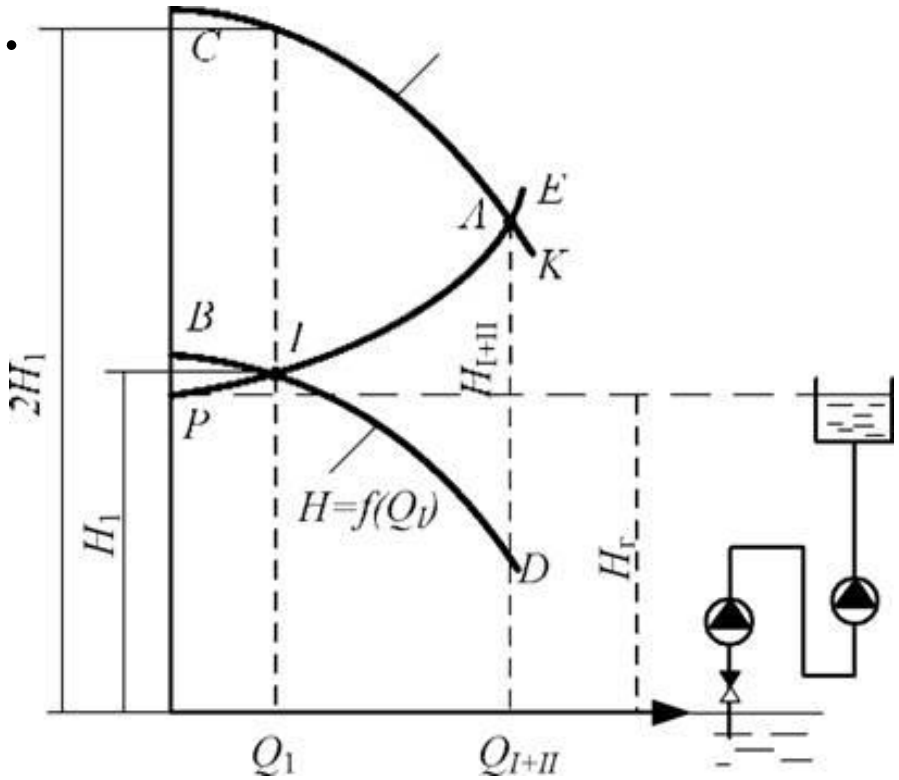
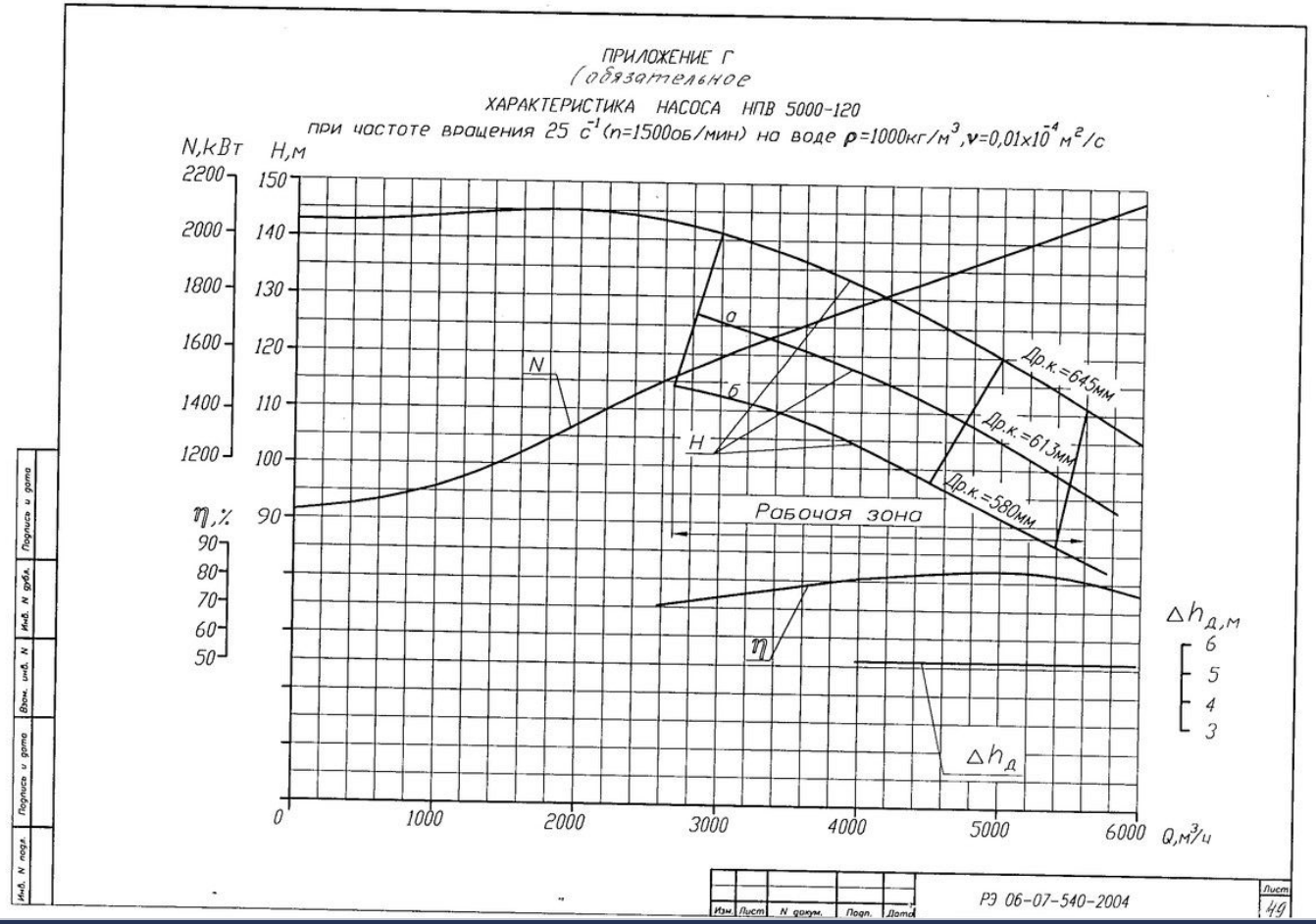
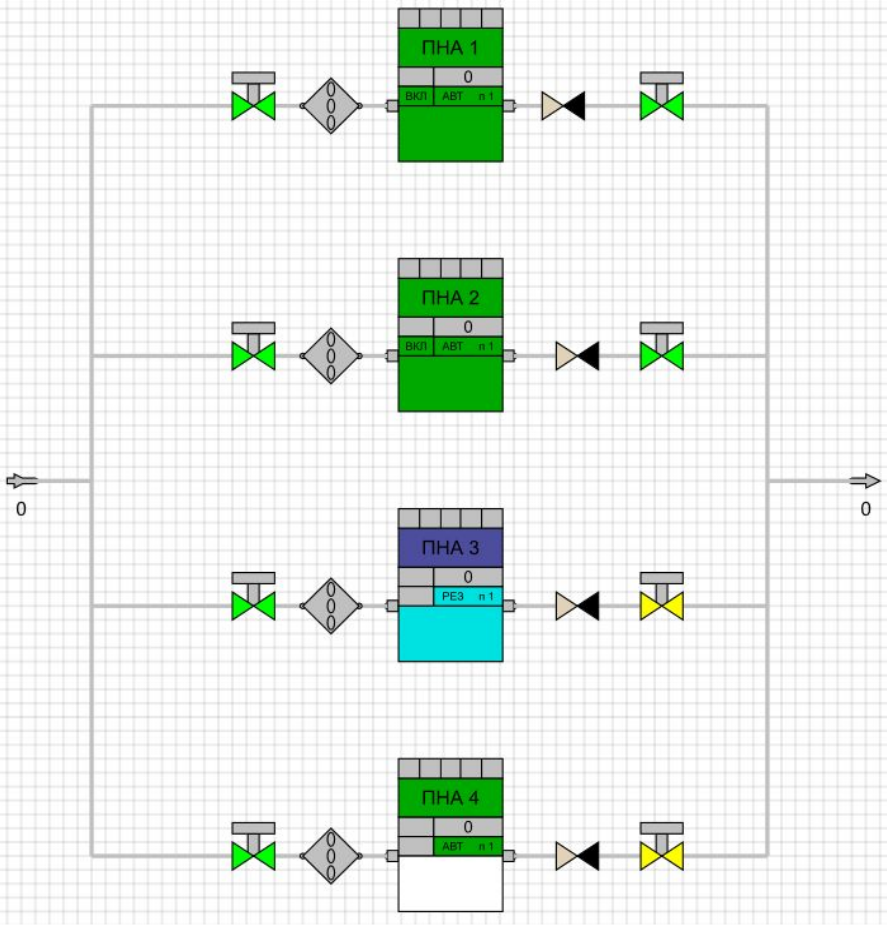


Рис. Один насос в состоянии подать воду в систему, но не обеспечивает заданного расхода

Соединение насосов в группы

Параллельное соединение насосов применяют для увеличения подачи. Насосы, работающие параллельно на один длинный трубопровод, обычно устанавливают близко один от другого, в пределах одного машинного зала.





Соединение насосов в группы

Аналитическая запись (Q-H) – характеристики группы параллельно соединенных одинаковых насосов имеет вид:

$$H(Q) = a - b\left(\frac{Q}{n}\right)^2.$$

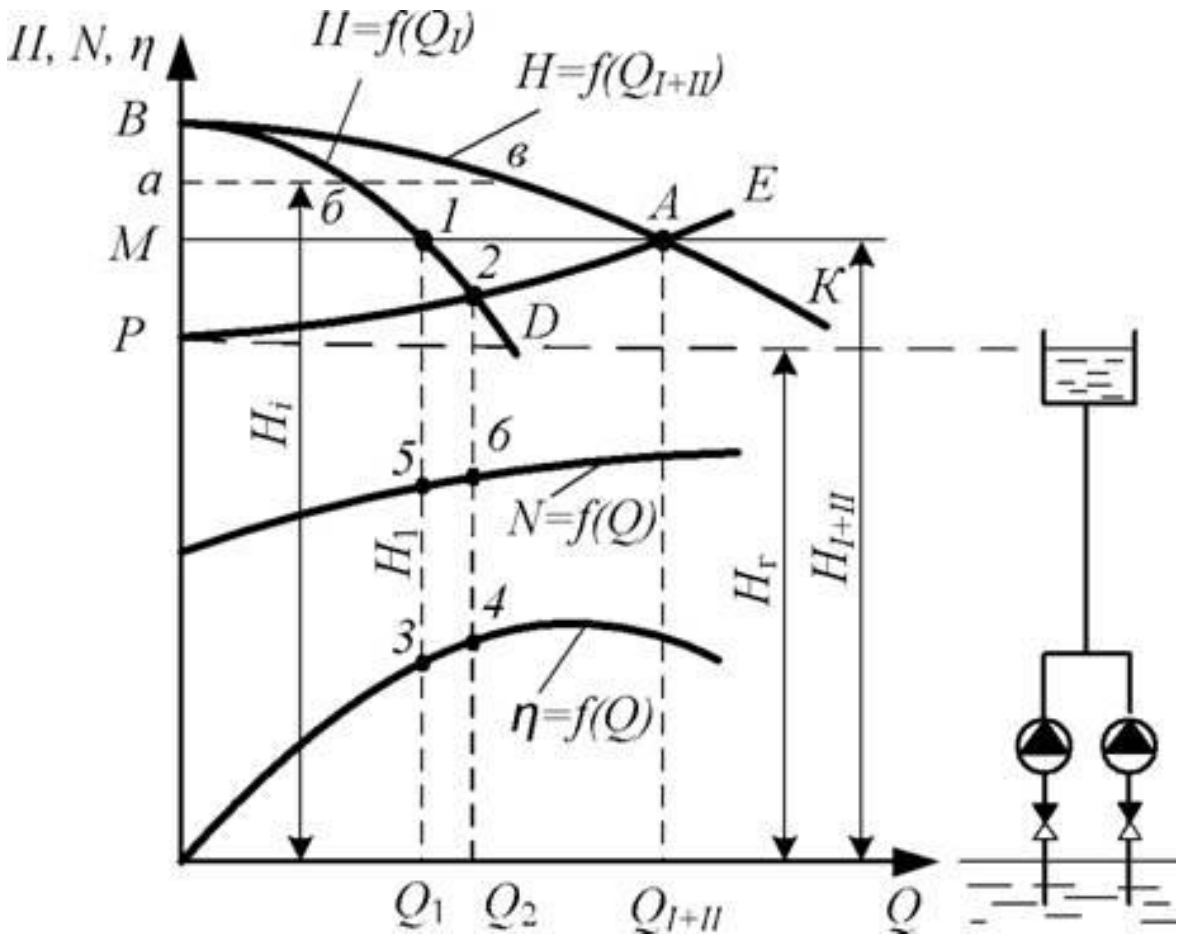


Рис. Характеристики параллельной работы двух одинаковых насосов на одну систему

Задача №5.

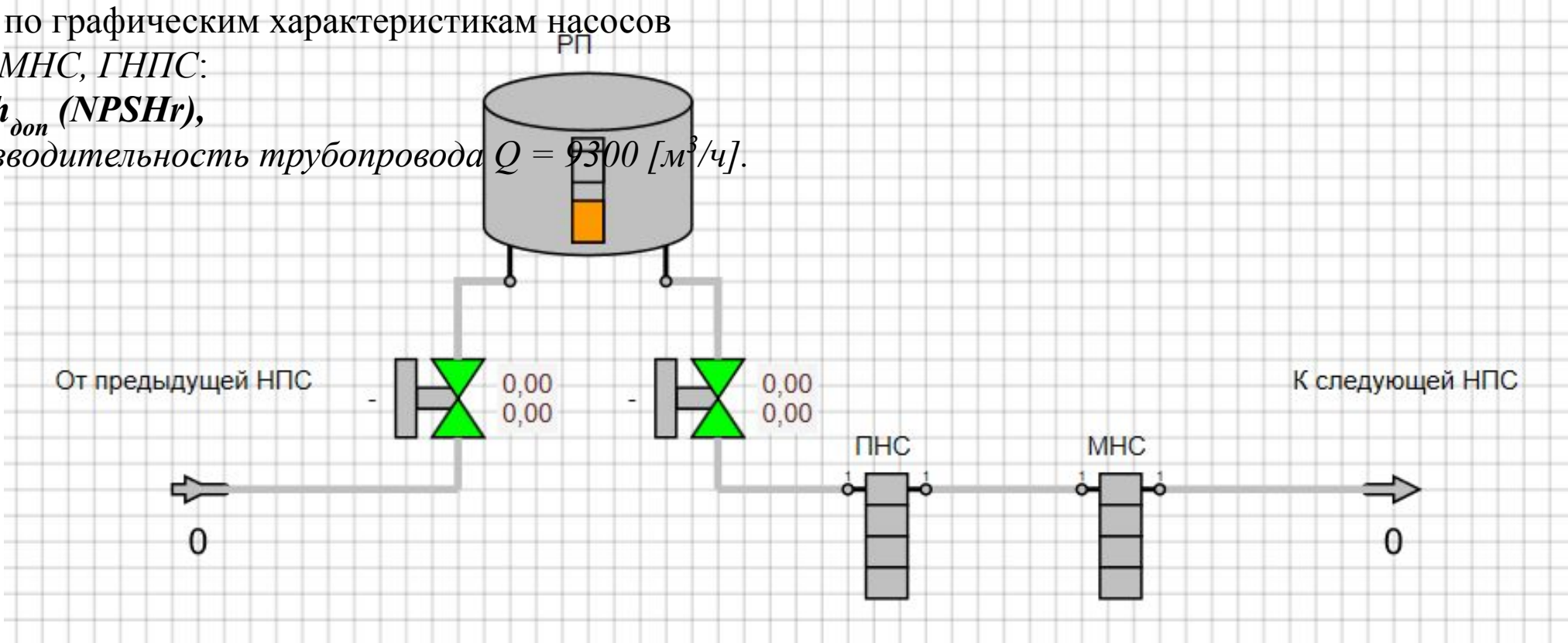
Дано: головная перекачивающая станция;

МНС: *3хНМ10000-210,*

ПНС: *2хНПВ-5000-120;*

Уровень взлива в РП = 7 [м].

Определить по графическим характеристикам насосов *для ПНС, МНС, ГНПС*:

H, N, η, Δh$_{доп}$ (NPSHr),

если *производительность трубопровода Q = 9300 [м^3/ч].*