



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**



## Основные рабочие параметры насоса:

- Подача  $Q$ , [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ]
- напор  $H$ , [ $\text{м}$ ]
- потребляемая мощность  $P$ , [ $\text{Вт}$ ]
- КПД  $\eta$ , [%]
- частота вращения  $n$ , [ $\text{об}/\text{мин}$ ]
- требуемый кавитационный запас  $\Delta h$  ( $NPSHr$ ), [ $\text{м}$ ]

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



## 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  $[Вт]$ .



**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.



## Из чего складывается напор насоса?

**Напор насоса**  $H = \frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{вых}}^2 - V_{\text{вх}}^2}{2g} + z,$

где  $p_{\text{ВЫХ}}$  и  $p_{\text{ВХ}}$  – давления на выходе из насоса и на его входе, [Па];

$V_{\text{ВЫХ}}$  и  $V_{\text{ВХ}}$  – средние скорости на выходе из насоса и на его входе, [м/с];

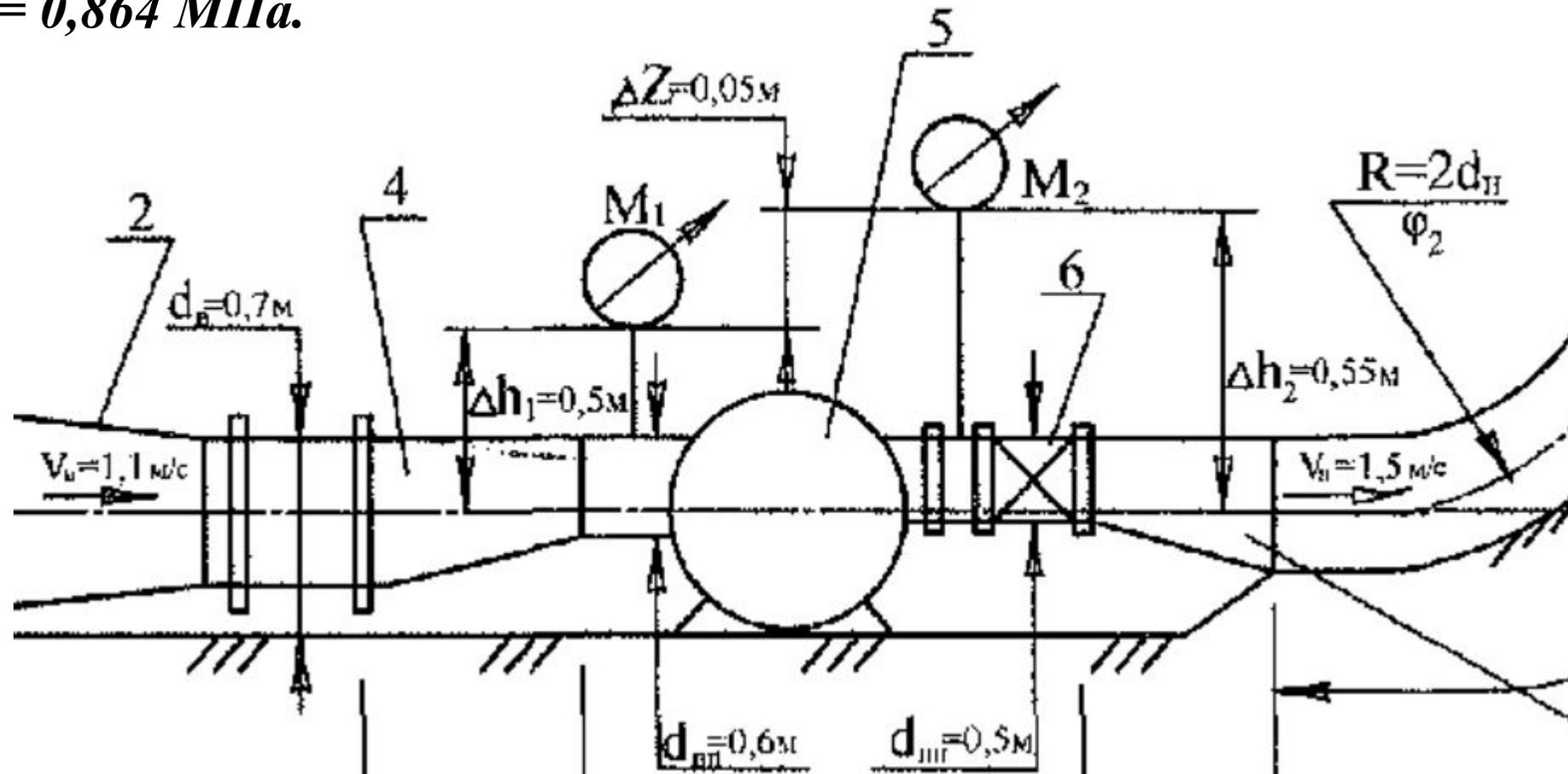
$z$  – расстояние по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра, [м];

$\rho$  – плотность жидкости, [кг/м<sup>3</sup>].



## Определение напора насоса.

Определить полный напор насоса по показаниям приборов, если  $P_{m1} = 0,034 \text{ МПа}$ , а  $P_{m2} = 0,864 \text{ МПа}$ .





## Определение напора насоса.

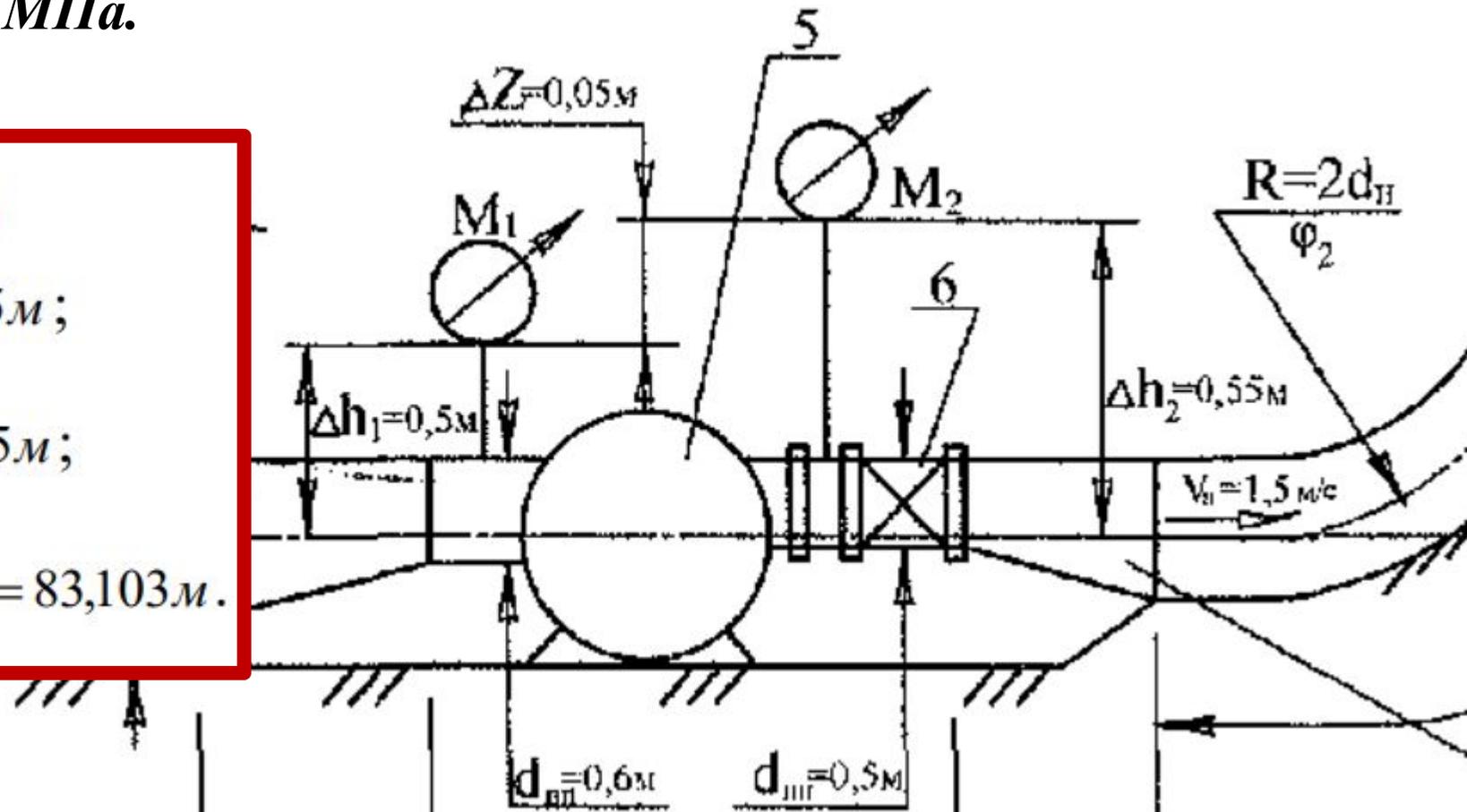
Определить полный напор насоса по показаниям приборов, если  $P_{m1} = 0,034 \text{ МПа}$ , а  $P_{m2} = 0,864 \text{ МПа}$ .

$$Z = \Delta h_1 - \Delta h_2 = 0,55 - 0,5 = 0,05 \text{ м}$$

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

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

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





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

**Полезная мощность**  $N = \rho g Q [кВт]$ .

**Коэффициент полезного действия (КПД) насоса**  $\frac{N_{\Pi}}{N} = \eta_{\Gamma} \eta_{M} \eta_{O}$ ,

где  $\eta_{\Gamma}$  — гидравлический КПД,  
 $\eta_{M}$  — механический КПД,  
 $\eta_{O}$  — объемный КПД.

КПД характеризует совершенство конструкции, а также качество изготовления насоса.



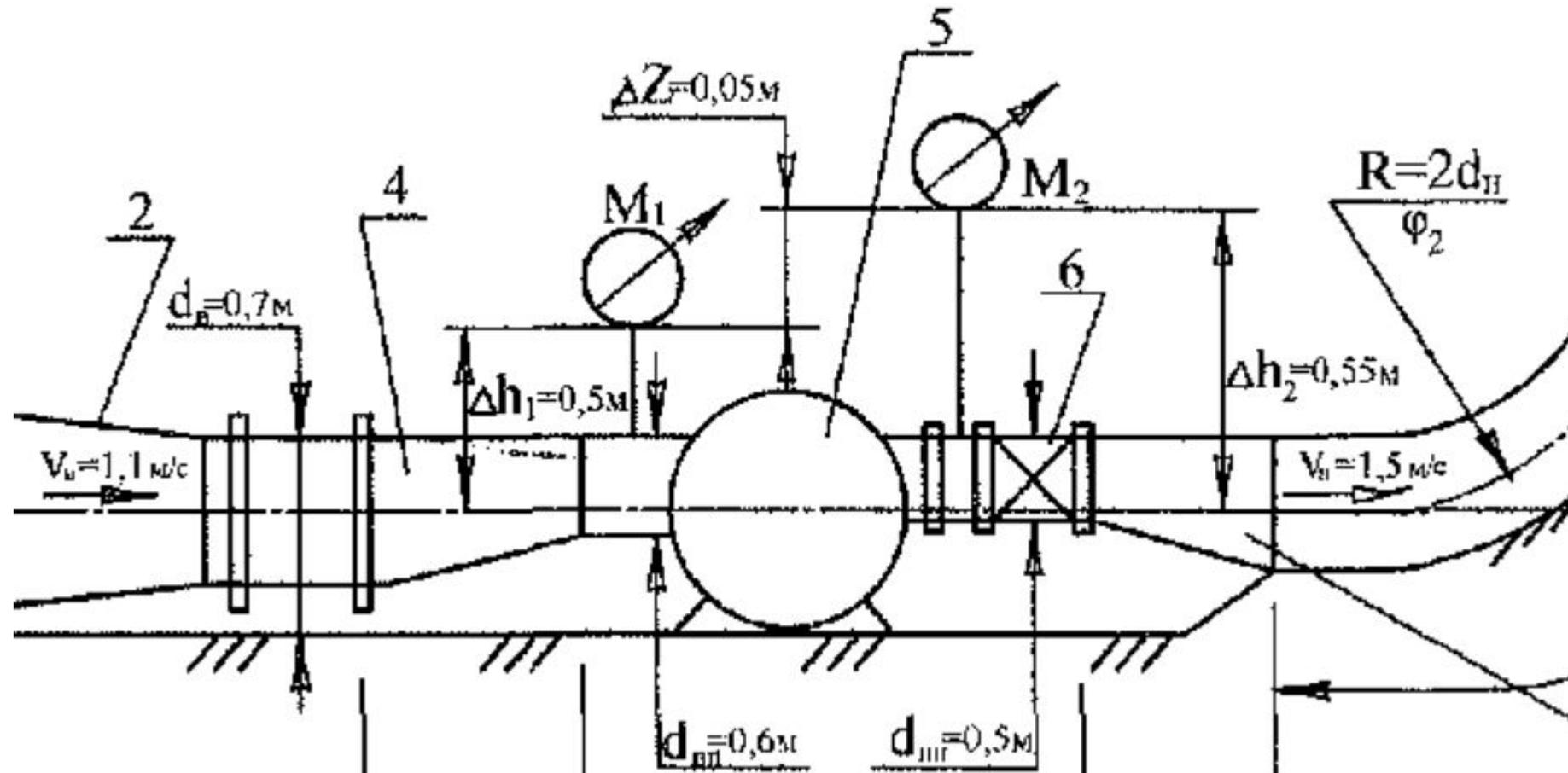
## Определение мощность насоса

**По условию задачи №1 определить мощность и КПД насоса.**

Дополнительные

сведения:

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





## Определение мощности насоса

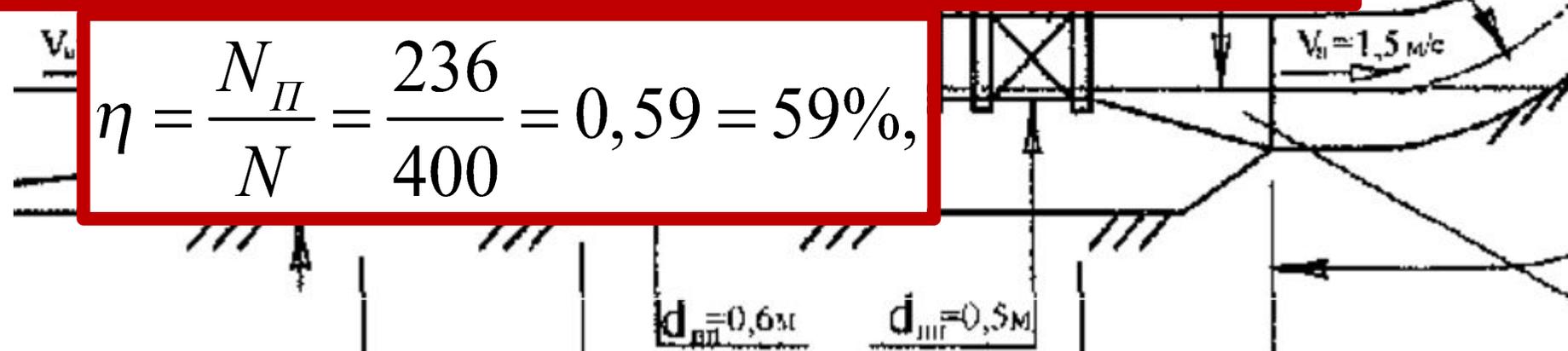
По условию задачи №1 определить мощность и КПД насоса.

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

$$Q = VS_{mp} = V \frac{\pi d^2}{4} = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 0,29 \left[ \frac{m^3}{c} \right] = 1060 \left[ \frac{m^3}{ч} \right];$$

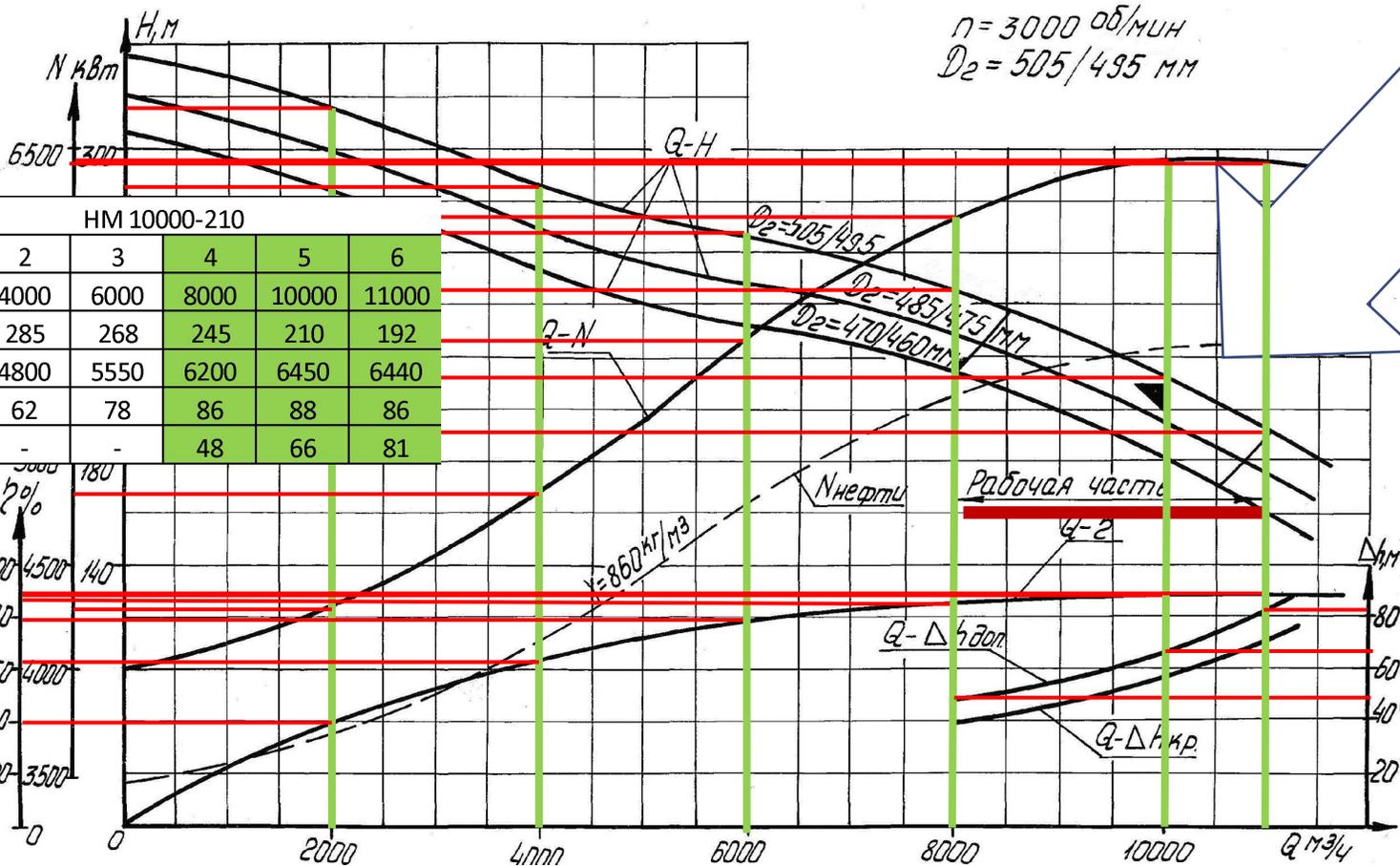
$$N = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,29 \cdot 83,103 = 236419,72 \left[ \frac{J}{c} \right] = 236 \left[ \frac{kW}{ч} \right];$$

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





# 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?

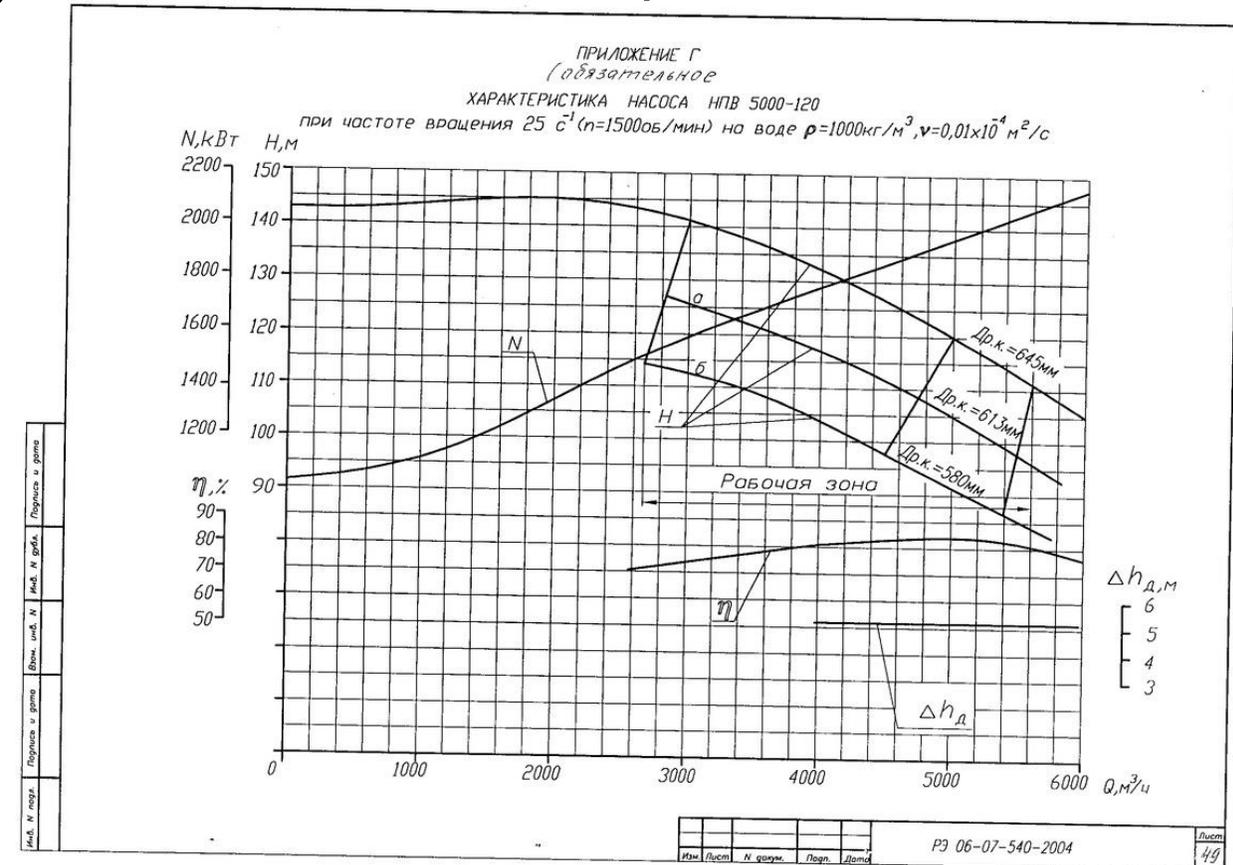


Рис. Характеристика насоса НПВ 5000-120



# Характеристические кривые насоса

	НМ 10000-210						НПВ 5000-120				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
Подача Q, [м <sup>3</sup> /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 h <sub>доп</sub> , [м]	-	-	-	48	66	81	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1



## 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*».



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**:

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



## 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, м <sup>3</sup> /ч	Q <sup>2</sup>	H·Q <sup>2</sup>	Q <sup>4</sup>
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	$4,1 \cdot 10^{15}$
$\Sigma$	1096		$2,0575 \cdot 10^8$	$4,2986 \cdot 10^{10}$	$9,6 \cdot 10^{15}$

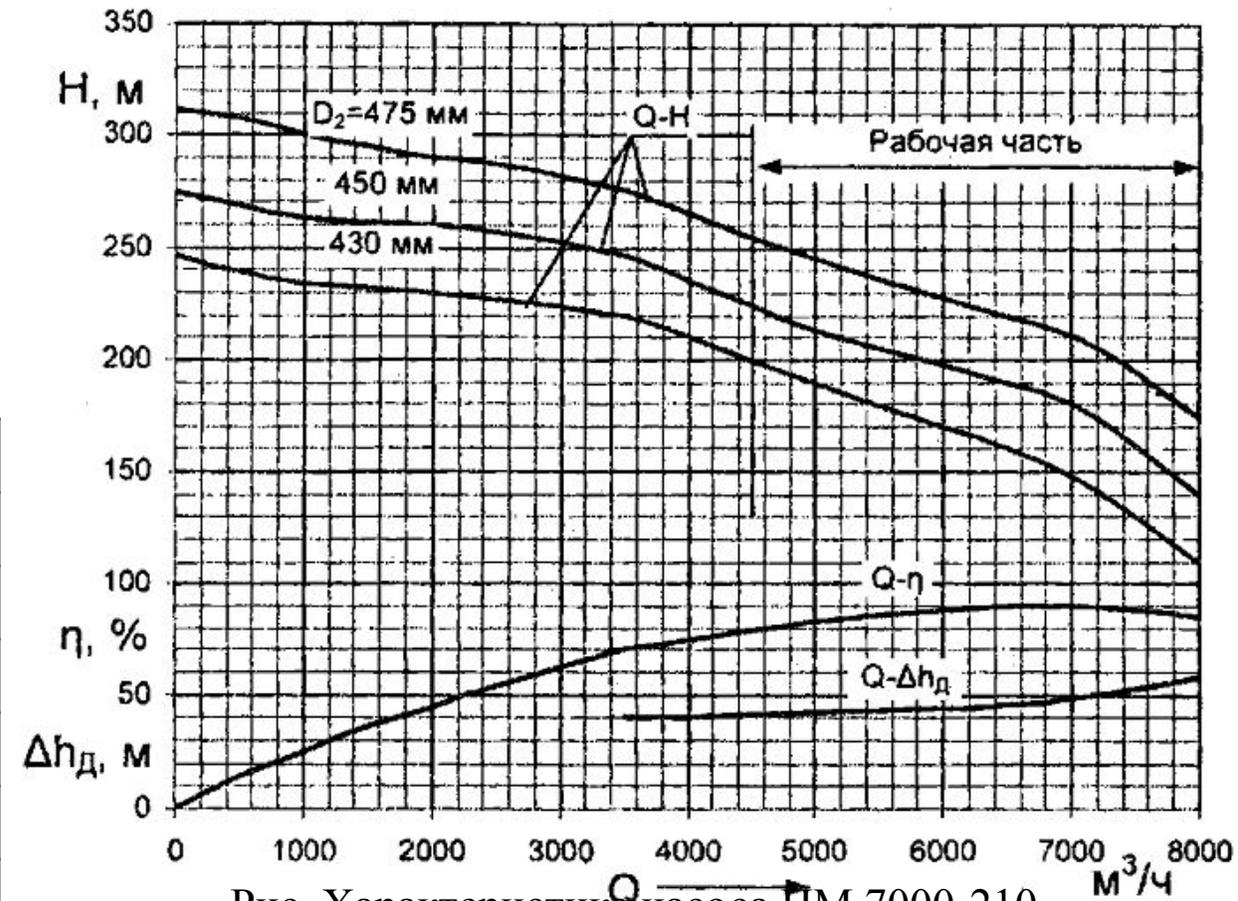


Рис. Характеристика насоса НМ 7000-210



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

№ точки	H, [м]	Q, [м <sup>3</sup> /ч]	Q <sup>2</sup>	H·Q <sup>2</sup>	Q <sup>4</sup>
1	260	4500	20250000	5265000000	4,1·10 <sup>14</sup>
2	236	5500	30250000	7139000000	9,2·10 <sup>14</sup>
3	216	6500	42250000	9126000000	1,8·10 <sup>15</sup>
4	208	7000	49000000	10192000000	2,4·10 <sup>15</sup>
5	176	8000	64000000	11264000000	4,1·10 <sup>15</sup>
Σ	1096		2,0575·10 <sup>8</sup>	4,2986·10 <sup>10</sup>	9,6·10 <sup>15</sup>



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

№ точки	H, [м]	Q, [м³/ч]	Q², [м³/ч]²	H·Q², [м⁷/ч²]	Q⁴, [м³/ч]²
1	260	4500	20250000	5265000000	4,1·10 <sup>14</sup>
2	236	5500	30250000	7139000000	9,2·10 <sup>14</sup>
3	216	6500	42250000	9126000000	1,8·10 <sup>15</sup>
4	208	7000	49000000	10192000000	2,4·10 <sup>15</sup>
5	176	8000	64000000	11264000000	4,1·10 <sup>15</sup>
Σ	1096		2,0575·10 <sup>8</sup>	4,2986·10 <sup>10</sup>	9,6·10 <sup>15</sup>

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

$$b = \frac{5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2\right)^2 - 5 \cdot \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4} = \frac{5 \cdot 4,2986 \cdot 10^{10} - 1096 \cdot 2,0575 \cdot 10^8}{\left(2,0575 \cdot 10^8\right)^2 - 5 \cdot 9,6 \cdot 10^{15}} = 1,85 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{м}{\left(м³/ч\right)^2} \right].$$



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

№ точки	H, м	Q, м <sup>3</sup> /ч	Q <sup>2</sup>	H·Q <sup>2</sup>	Q <sup>4</sup>
1	260	4500	20250000	5265000000	4,1·10 <sup>14</sup>
2	236	5500	30250000	7139000000	9,2·10 <sup>14</sup>
3	216	6500	42250000	9126000000	1,8·10 <sup>15</sup>
4	208	7000	49000000	10192000000	2,4·10 <sup>15</sup>
5	176	8000	64000000	11264000000	4,1·10 <sup>15</sup>
Σ	1096		2,0575·10 <sup>8</sup>	4,2986·10 <sup>10</sup>	9,6·10 <sup>15</sup>

(Q-H)-характеристика насоса НМ 7000-210 в диапазоне расходов от 4500 до 8000 м<sup>3</sup>/ч имеет следующий вид:

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

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

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



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

№ точки	H, м	Q, м <sup>3</sup> /ч	Q <sup>2</sup>	H·Q <sup>2</sup>	Q <sup>4</sup>
1	115	2000	4000000	460000000	1,6·10 <sup>13</sup>
2	110	2500	6250000	687500000	3,9·10 <sup>13</sup>
3	104	3000	9000000	936000000	8,1·10 <sup>13</sup>
4	93	3500	12250000	1139250000	1,5·10 <sup>14</sup>
5	81	4000	16000000	1296000000	2,6·10 <sup>14</sup>
Σ	503		47500000	4518750000	5,4·10 <sup>14</sup>

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

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

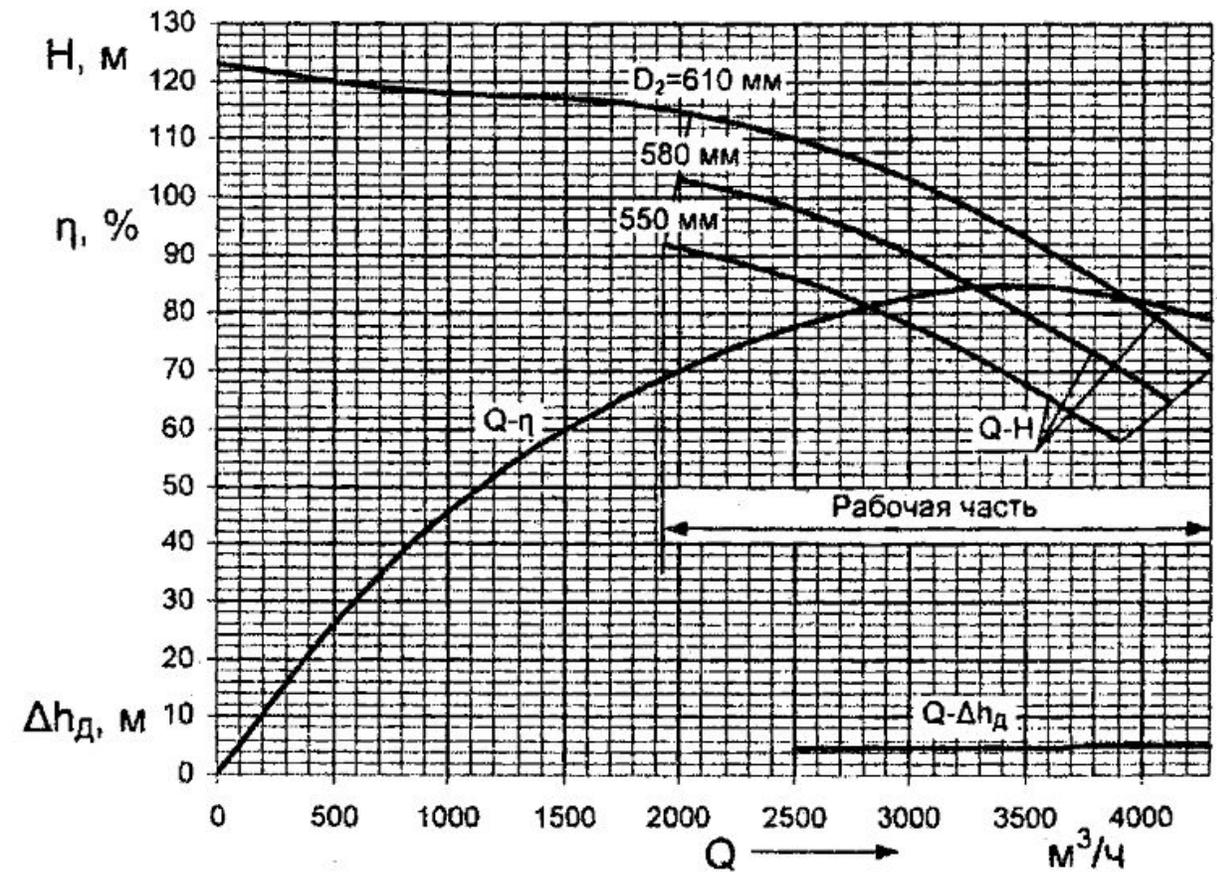


Рис. Характеристика насоса НПВ 3600-90



## 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

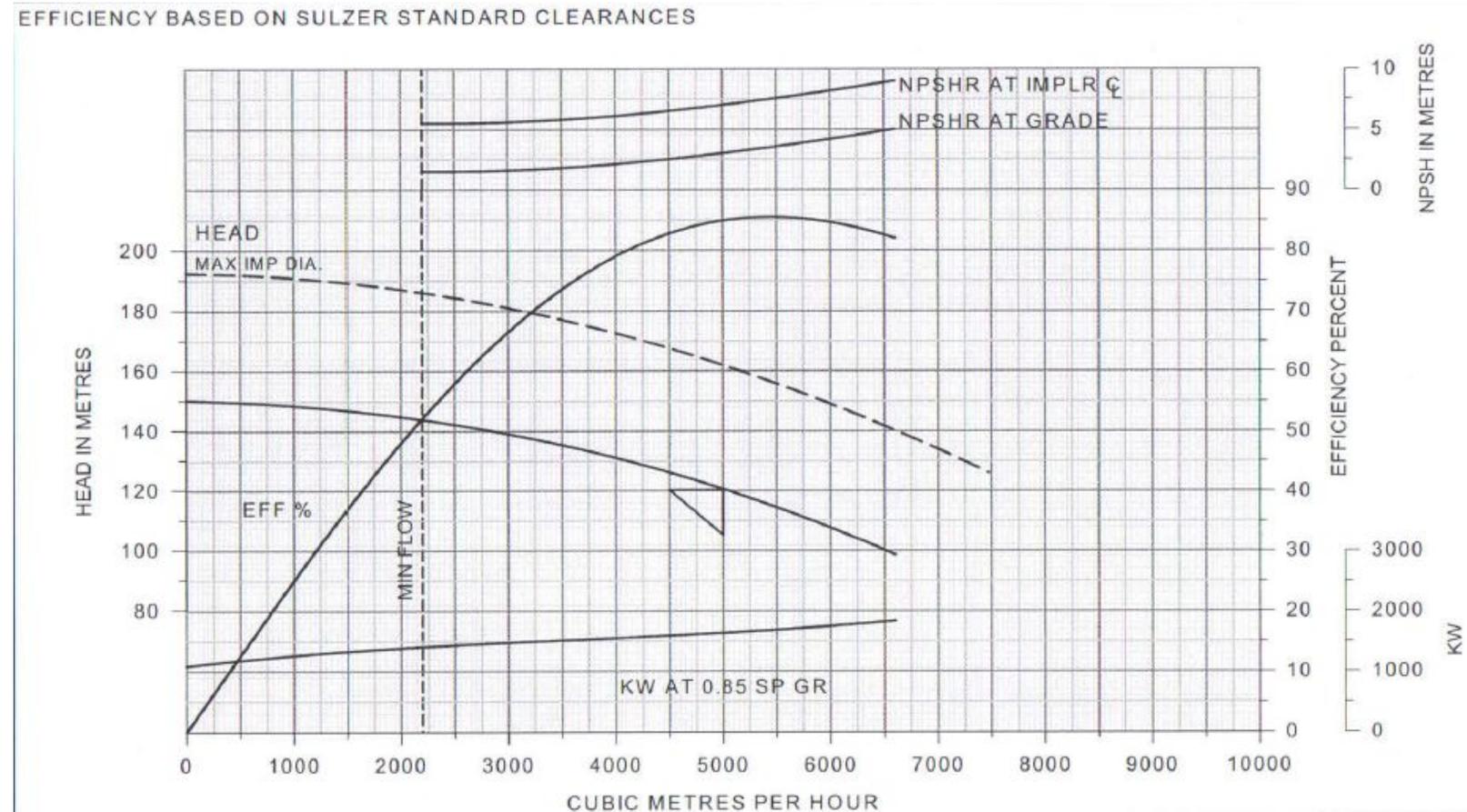


Рис. Характеристика насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D



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

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



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

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

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

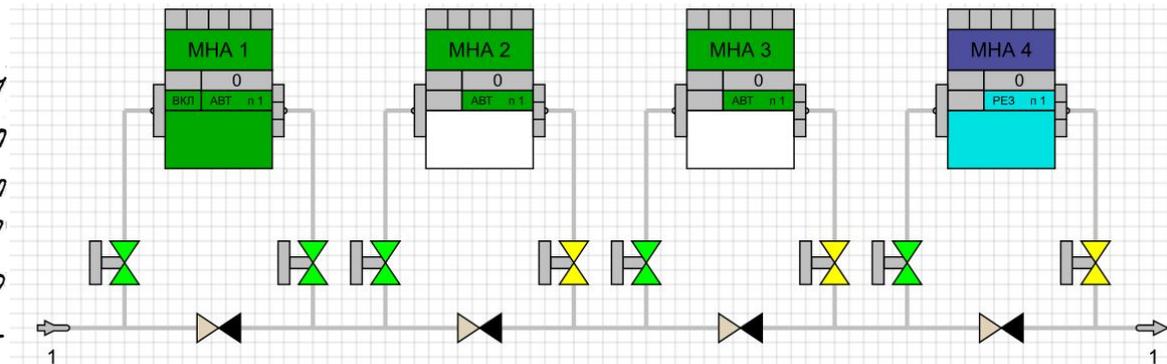
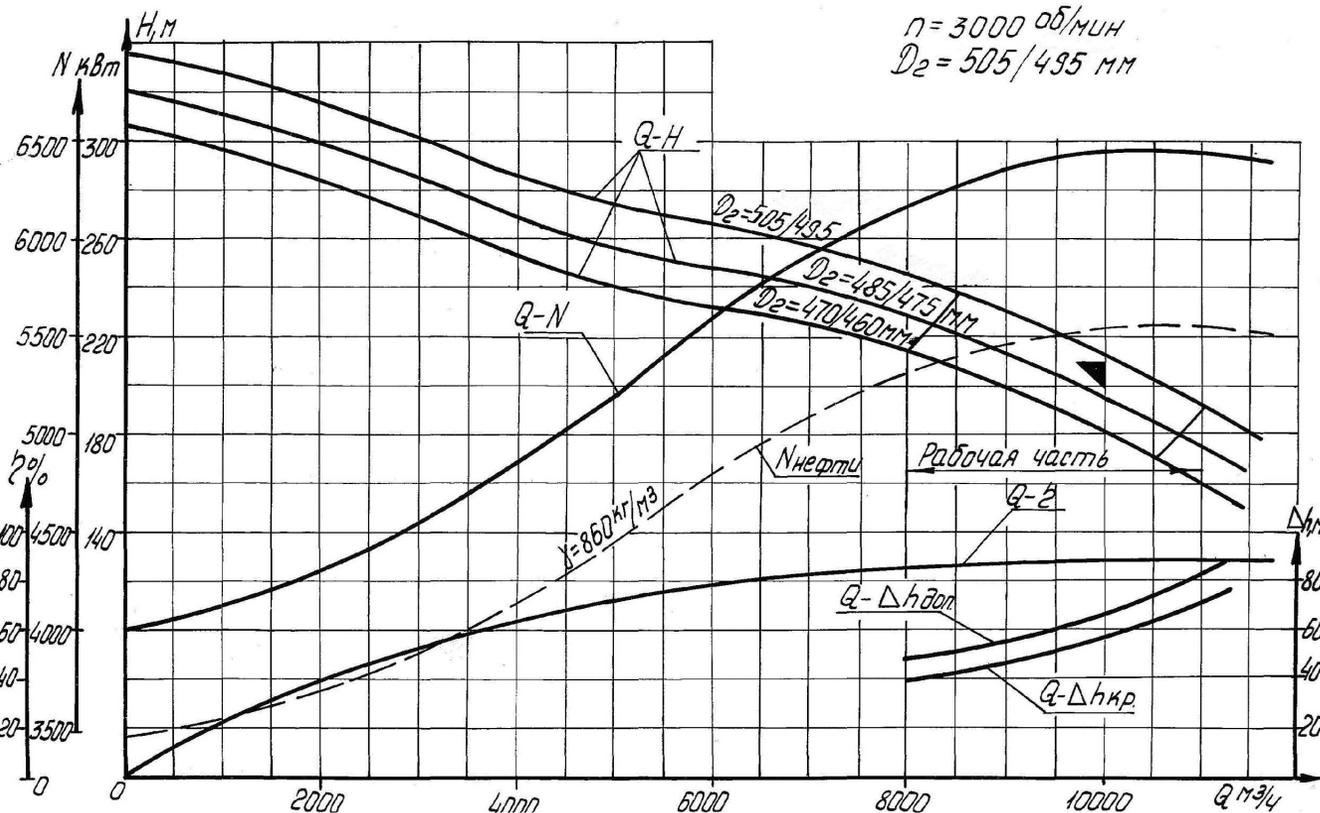
Q-H)-характеристика насоса Sulzer VCR-D (693/608) в диапазоне расходов от 2000 до 4000 [м<sup>3</sup>/ч] имеет следующий вид:

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



# 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:

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

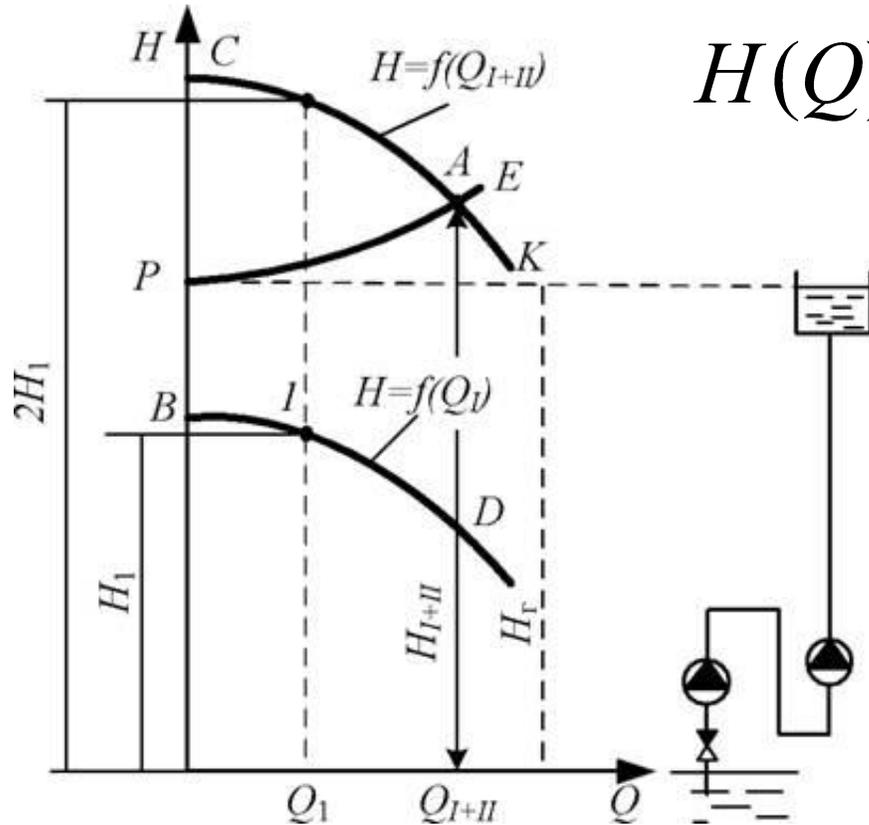


Рис. Каждый насос в отдельности не может поднять воду на заданную высоту  $H_t$ .

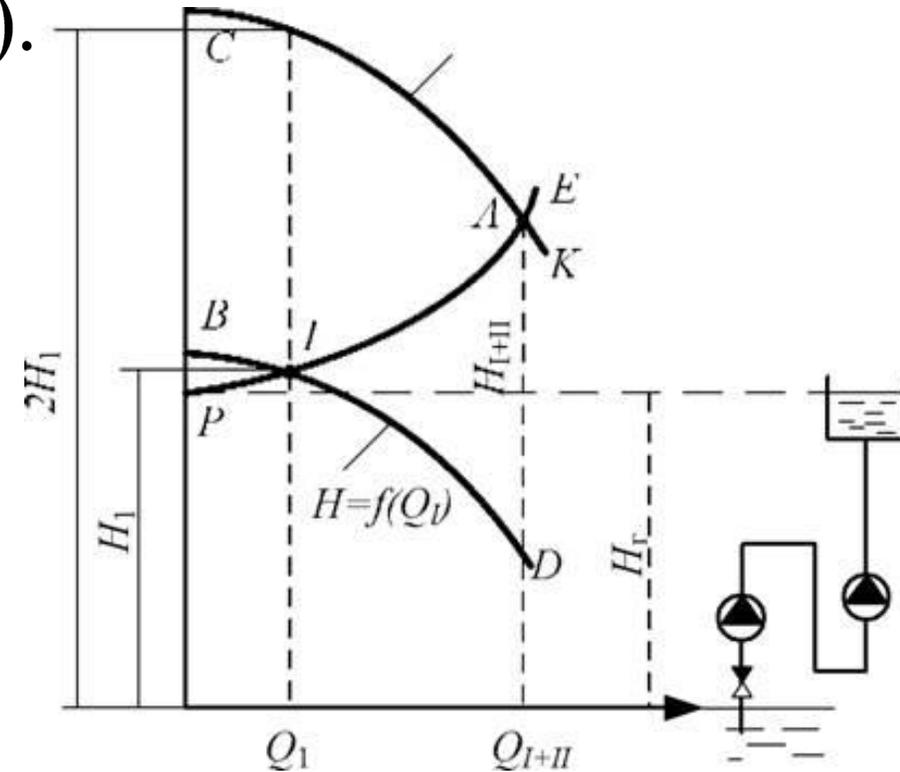
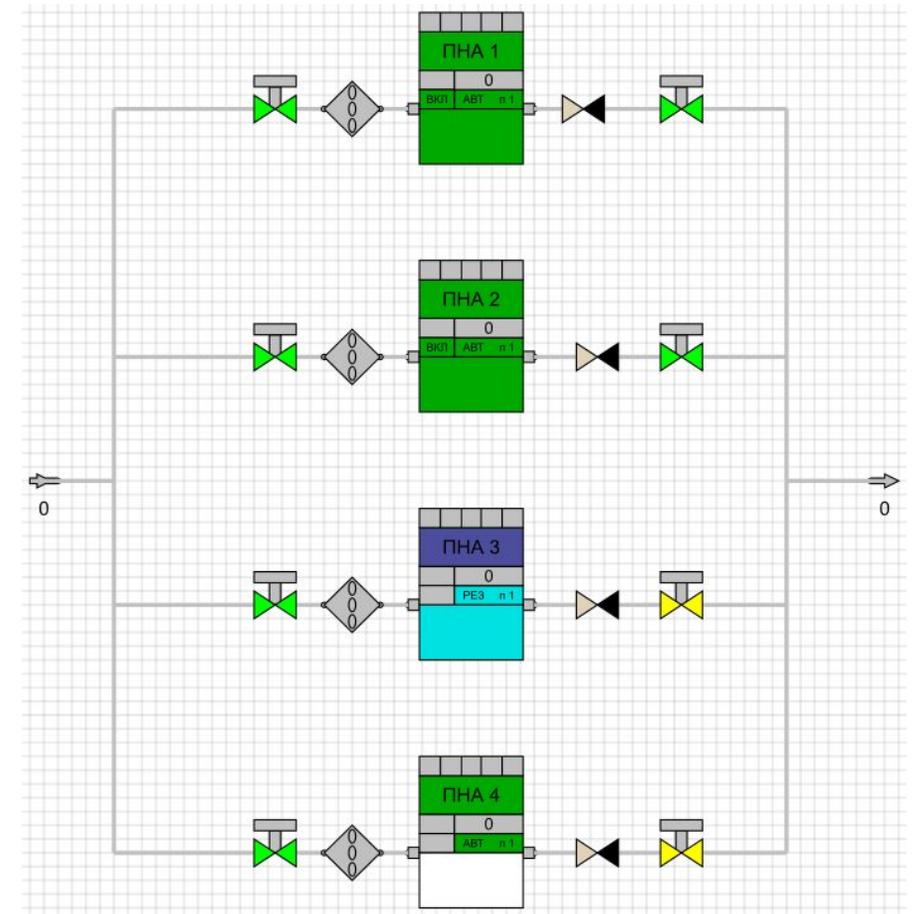
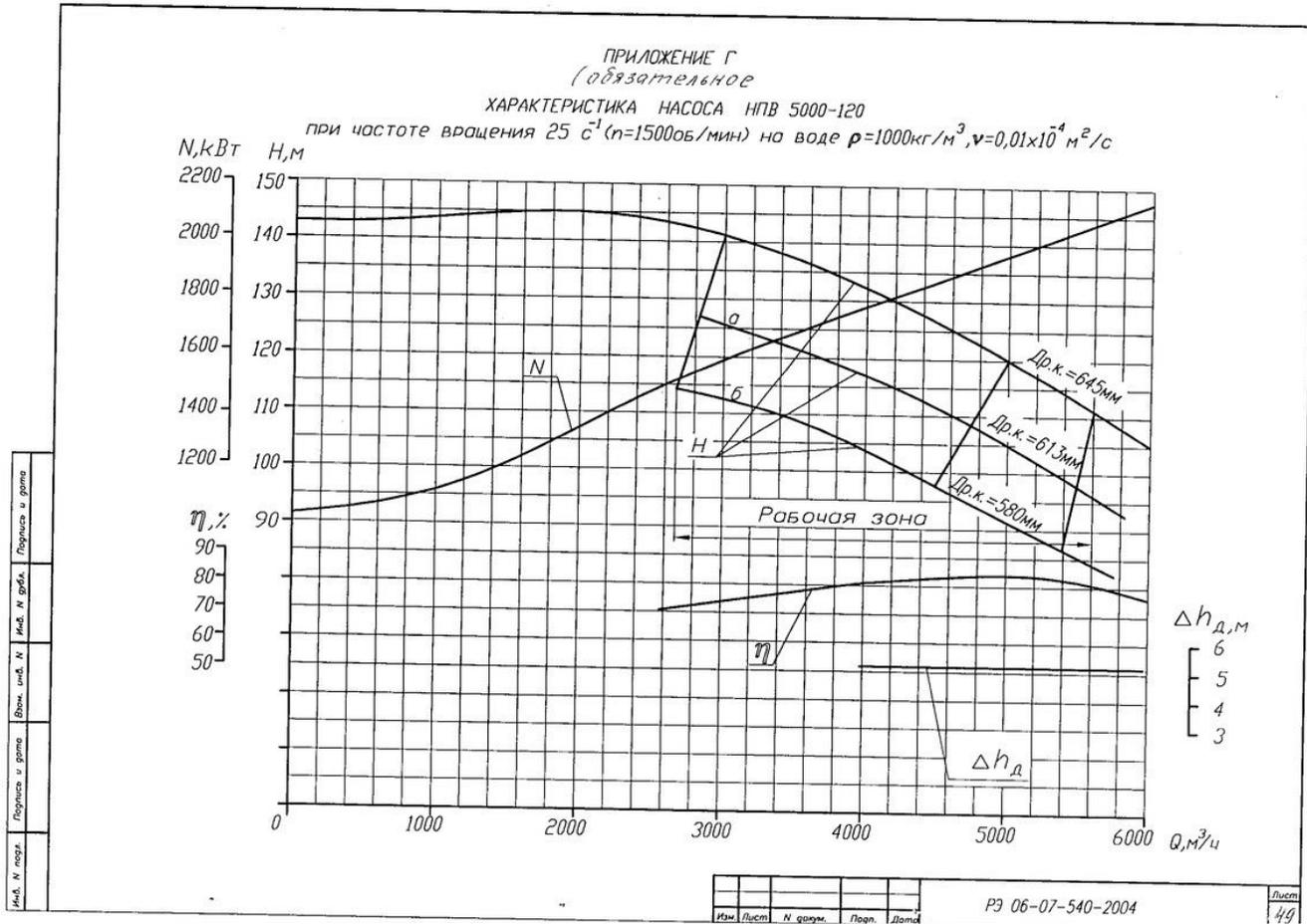


Рис. Один насос в состоянии подать воду в систему, но не обеспечивает заданного расхода



# 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:

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

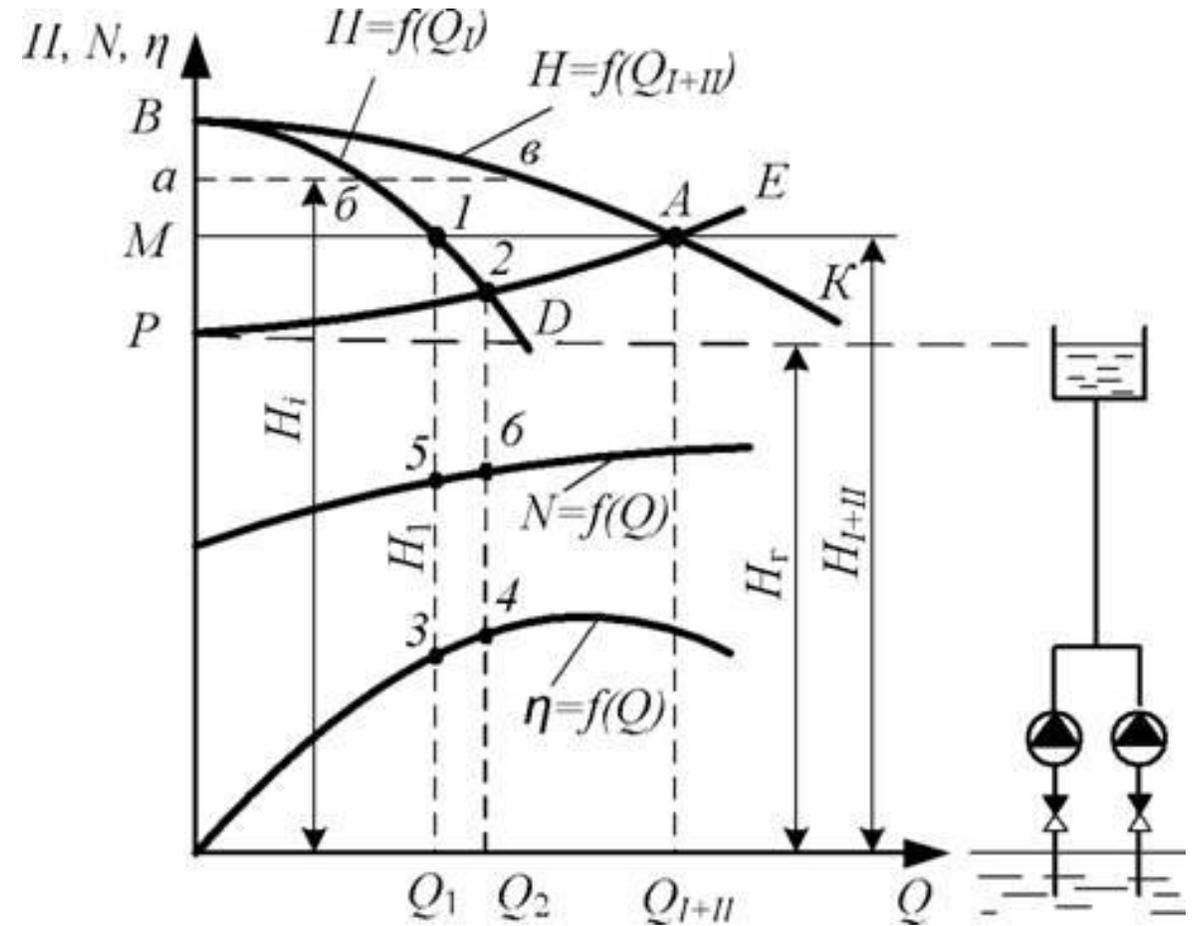


Рис. Характеристики параллельной работы  
двух одинаковых насосов на одну систему



# Задача №5.

**Дано:** головная перекачивающая станция;  
МНС: 3xHM10000-210,  
ПНС: 2xНПВ-5000-120;  
Уровень взлива в РП = 7 [м].

**Определить** по графическим характеристикам насосов  
для ПНС, МНС, ГНПС:  
 $H, N, \eta, \Delta h_{\text{дон}} (NPSHr)$ ,  
если производительность трубопровода  $Q = 9300 \text{ [м}^3/\text{ч]}$ .

