



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

Факультет Проектирования, сооружения и
эксплуатации систем трубопроводного
транспорта.

Эксплуатация насосных станций.

**Аппроксимация характеристик насосов
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 , [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.



Основные рабочие параметры насоса:

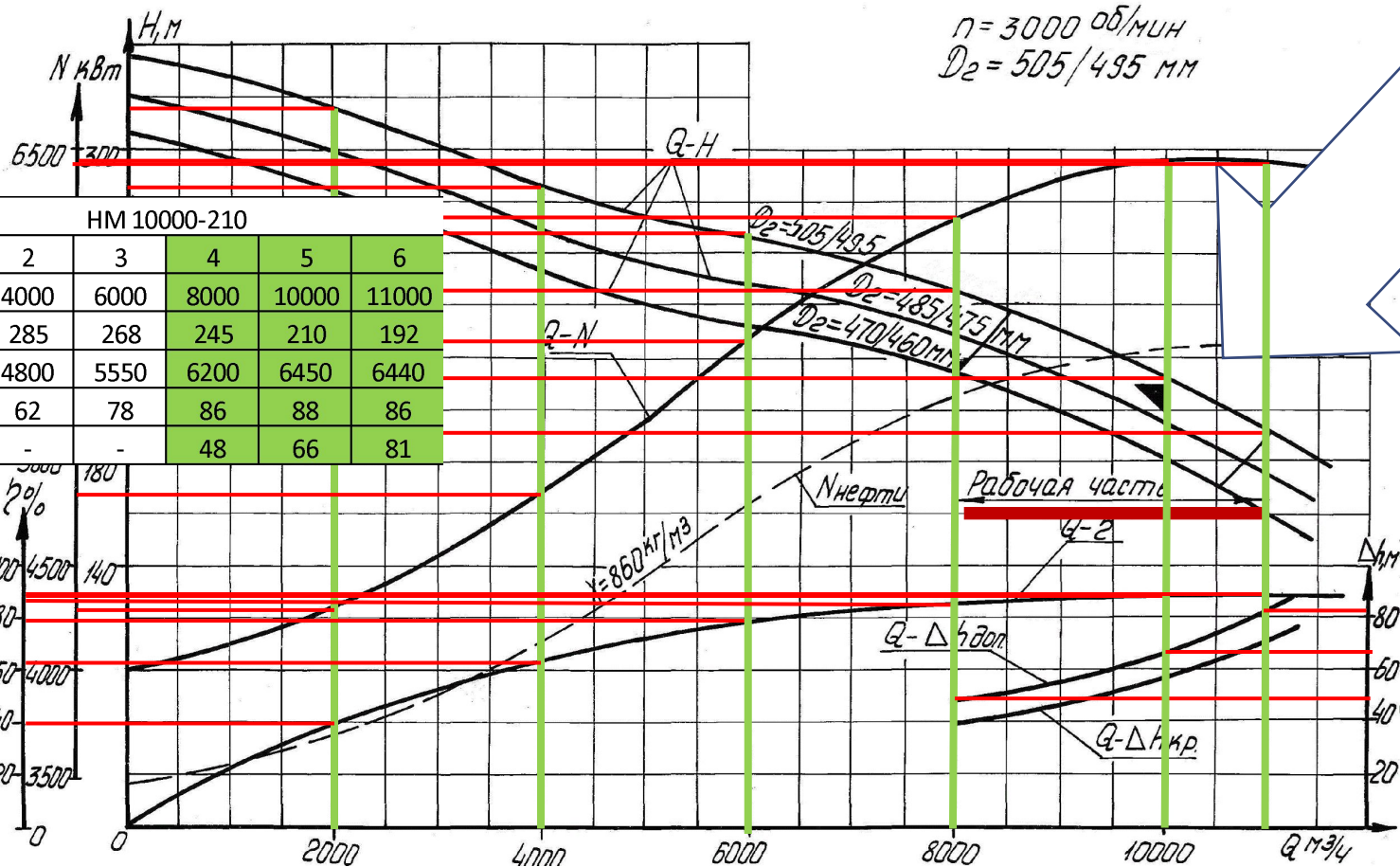
Подача насоса – объем жидкости, даваемой насосом за единицу времени. Расход жидкости через напорный патрубок, измеряется расход, как правило, в [л/мин] или [м³/ч].

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].



Характеристические кривые насоса



НМ 10000-210

	1	2	3	4	5	6
Подача Q, [м ³ /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 $h_{\text{доп}}$, [м]	-	-	-	48	66	81



Задача №1

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?

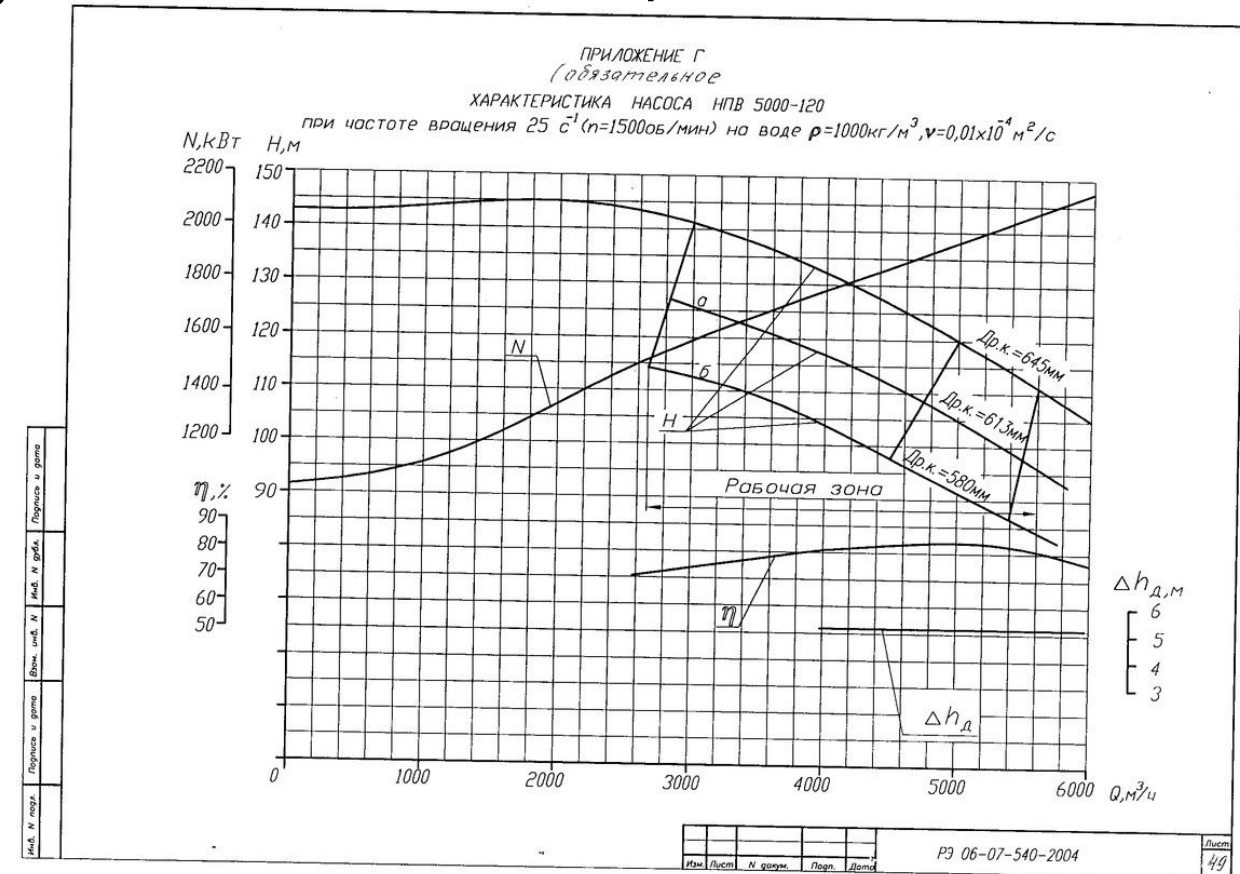


Рис. Характеристика насоса НПВ 5000-120



Характеристические кривые насоса

	НМ 10000-210						НПВ 5000-120				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
Подача Q, [м ³ /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 _{доп} , [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 ³ /ч	Q ²	H·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	$4,1 \cdot 10^{15}$
Σ	1096		$2,0575 \cdot 10^8$	$4,2986 \cdot 10^{10}$	$9,6 \cdot 10^{15}$

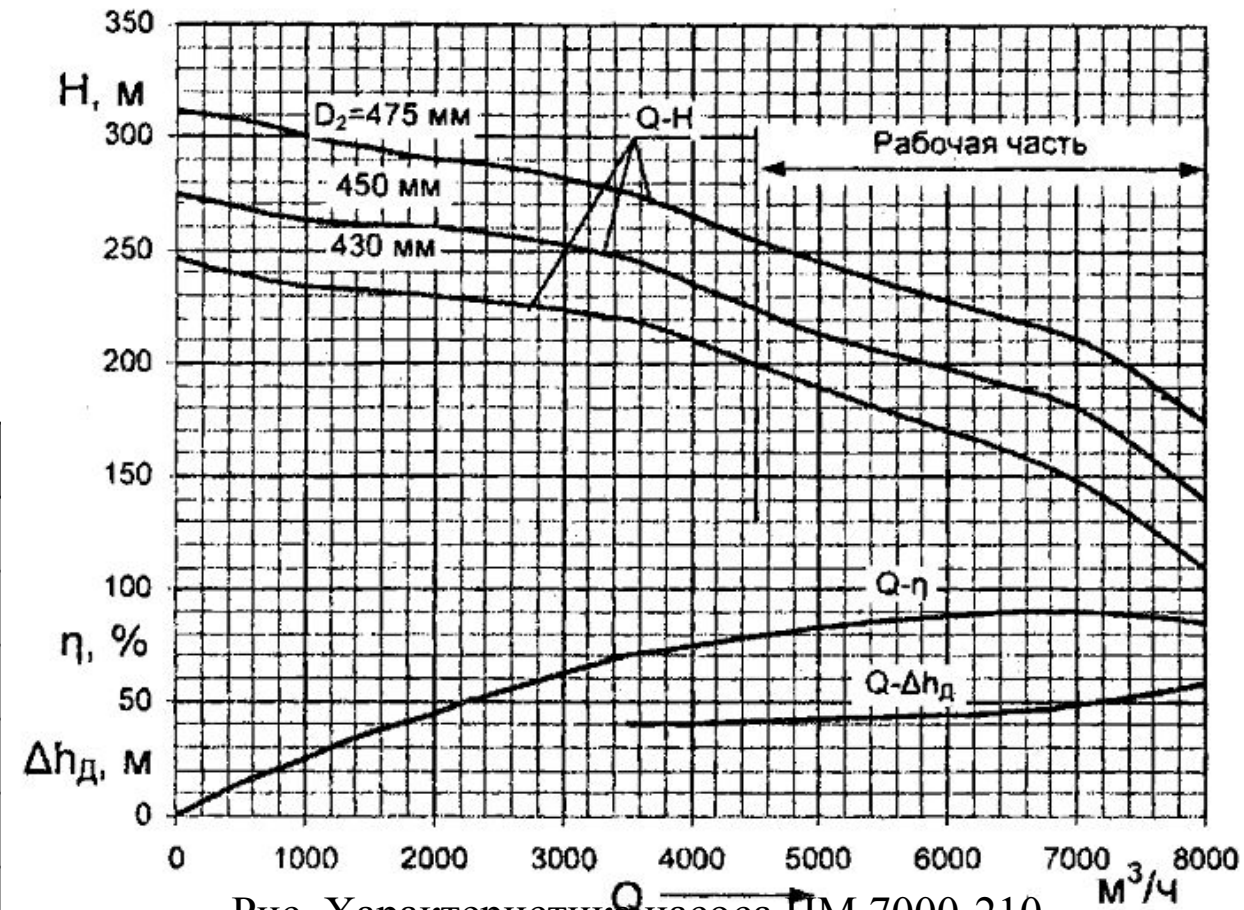


Рис. Характеристика насоса НМ 7000-210



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

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



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 ¹⁴
2	236	5500	30250000	7139000000	9,2·10 ¹⁴
3	216	6500	42250000	9126000000	1,8·10 ¹⁵
4	208	7000	49000000	10192000000	2,4·10 ¹⁵
5	176	8000	64000000	11264000000	4,1·10 ¹⁵
Σ	1096		2,0575·10 ⁸	4,2986·10 ¹⁰	9,6·10 ¹⁵

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

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



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

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

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

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

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

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



Произвести аппроксимацию паспортной (Q-H) – характеристики насоса НПВ 3600-90.

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

(Q-H) — характеристика насоса НПВ 3600-90 в диапазоне расходов от 2000 до 4000 [м³/ч] имеет следующий вид:

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

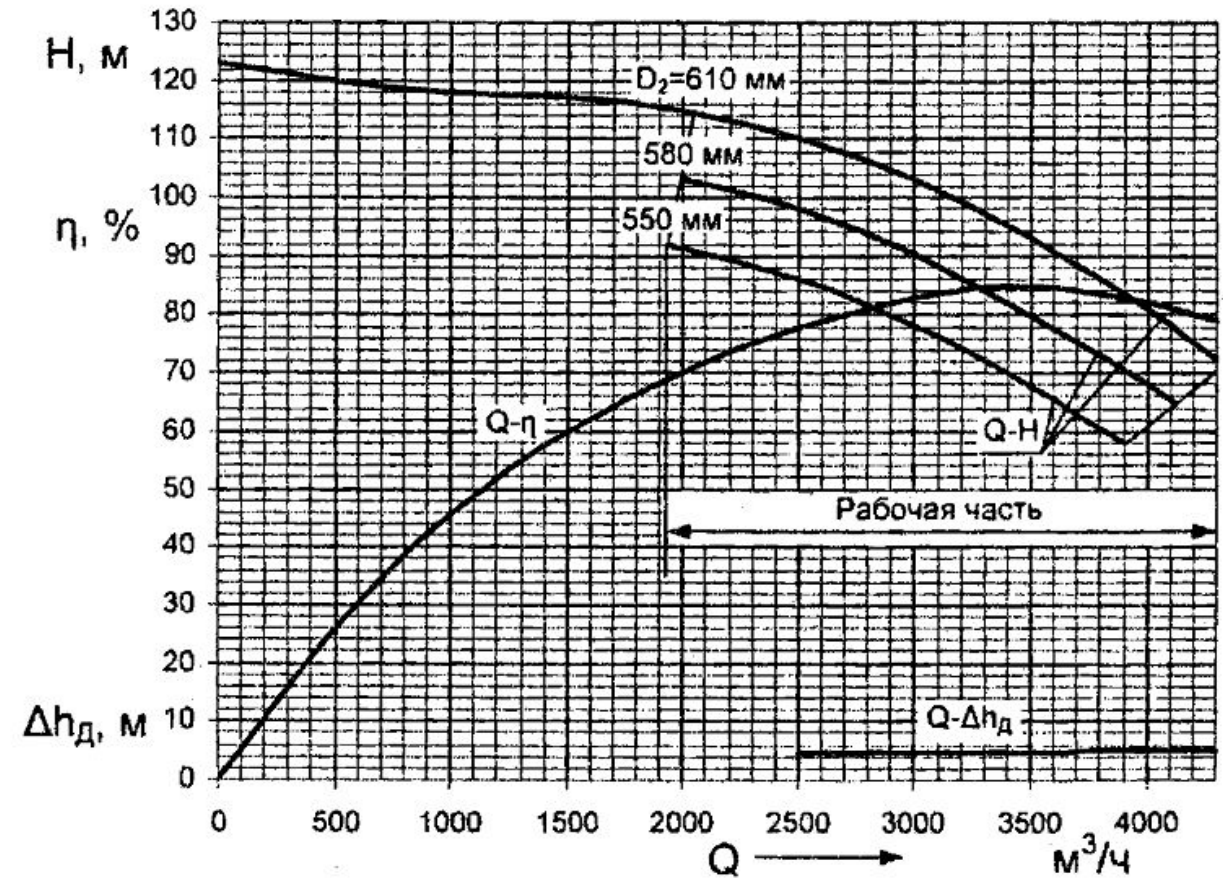


Рис. Характеристика насоса НПВ 3600-90



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.
3. Запишите характеристику насоса в аналитическом виде.

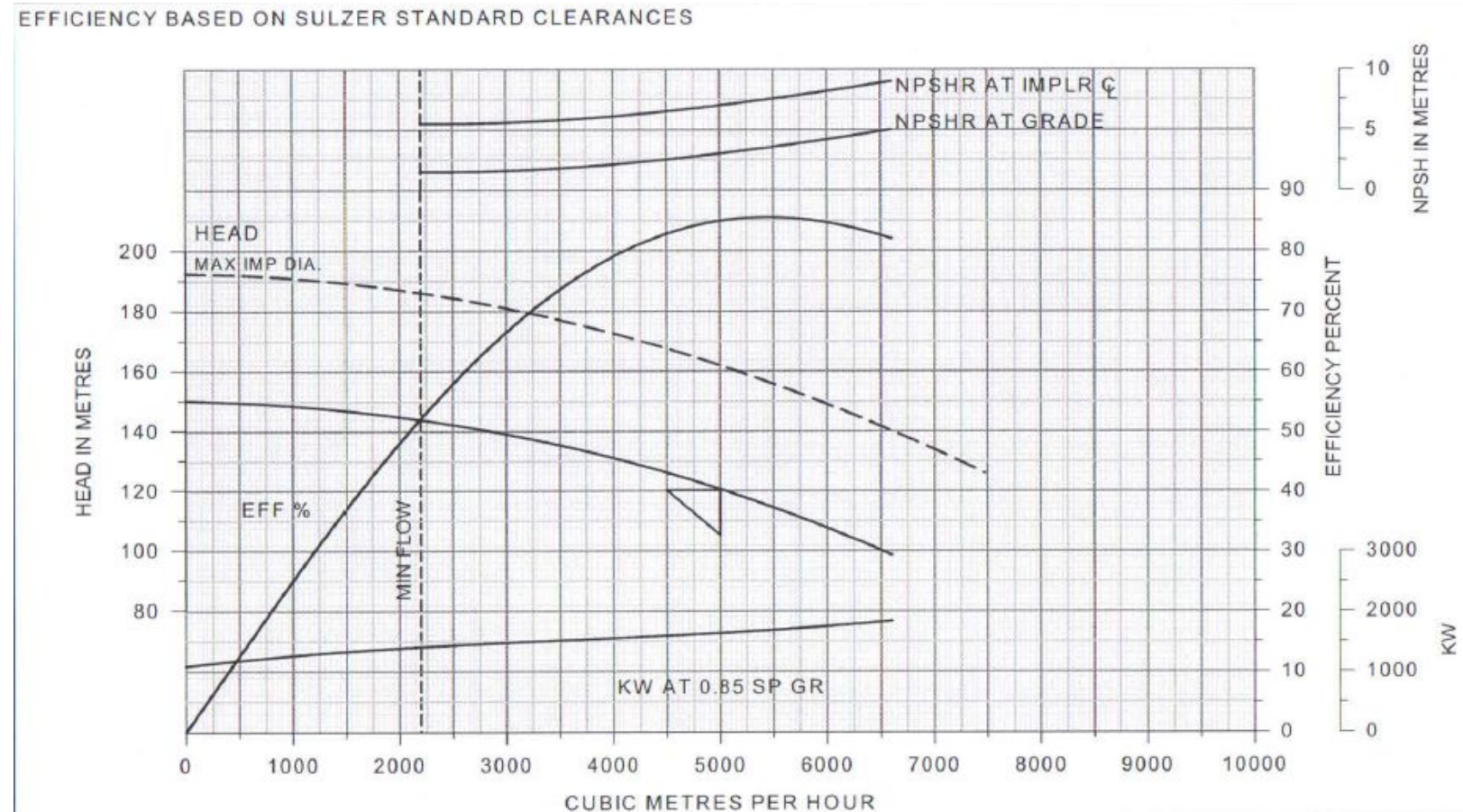


Рис. Характеристика насоса Sulzer 30 x 40 40B VCR-D



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

№ точки	H, [м]	Q, [м 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				



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

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

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

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

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



Задача №4.

Дано: головная перекачивающая станция;
МНС: $3 \times \text{НМ10000-210}$,
ПНС: $2 \times \text{НПВ-5000-120}$;

Построить: характеристику насосной станции.

