

**Методика выполнения расчетно-
графической работы
«Согласование режимов работы
центробежного насоса с
двигателем пожарного
автомобиля» по курсу «Пожарная
техника»**

Расчетно-графическая работа по курсу «Пожарная техника» имеет целью:

- углубить знания по согласованию режимов эксплуатации пожарного насоса (ПН) и двигателя внутреннего сгорания пожарного автомобиля (ПА);
- приобрести опыт по анализу использования технических возможностей двигателя ПА;
- научиться определять расходы топлива при различных режимах работы ПН;
- уяснить влияние режимов работы ПН на содержание в отработавших газах двигателя $NxOx$.

Перед выполнением работы необходимо изучить главы 7 и 9 в учебниках, соответственно:

1. Безбородько М.Д. Пожарная техника. – М.: АГПС МЧС России, 2004.- с.550.
2. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / Под ред. Абросимова Ю.Г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – С.186.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Обозначения, используемые в методике, представлены в табл.1.

Условные обозначения

Таблица 1

№ пп	Наименование параметров	Обозначение	Размерность	Примечание
<u>Двигатель шасси ПА</u>				
1	Мощность	N	кВт	Символ i у обозначаемого параметра означает порядковый номер $i = 1, 2, 3 \dots$
2	Частота вращения коленчатого вала	n	об/мин	
3	Максимальное его значение	n_{max}	об/мин	
4	Крутящий момент	T	Н·м	
<u>Пожарный насос</u>				
5	Подача	Q	л/с	Символ i у обозначаемого параметра означает порядковый номер $i = 1, 2, 3 \dots$
6	Напор	H	м	
7	Частота вращения вала насоса	n_n	об/мин	
8	Потребляемая мощность	N_n	кВт	
<u>Трансмиссия</u>				
9	Коэффициент полезного действия	-	$\eta_{тр}$	
10	Передаточное отношение	-	i	

1. Задание для выполнения расчетно-графической работы.

Исходные данные для выполнения работы приводятся в табл.2. Их вариант для пожарных насосов выбирают по последней цифре номера зачетной книжки. Значения $n_{тр}$ выбирают по предпоследней цифре номера зачетной книжки.

Работу рекомендуется выполнять в последовательности, изложенной ниже.

Варианты заданий
(выбрать по последней цифре номера зачетной книжки)

Пожарные насосы	Вариант задания	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПН-40УВ $Q_{\max} = 40$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2700$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н1}}$										
	$n_{\text{н2}}$	2400	2300							2500	
	$n_{\text{н3}}$	1800	1900							1850	
ПН-60 $Q_{\max} = 60$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2500$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$				2500	2300					
	$n_{\text{н3}}$				1800	1900					
НЦПН-40/100 $Q_{\max} = 40$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2700$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$						2450	2500			
	$n_{\text{н3}}$						1900	1800			
НЦПВ-20/200 $Q_{\max} = 20$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2700$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$								2400		
	$n_{\text{н3}}$								1850		
Коэффициент полезного действия	η	0,88	0,88	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,86	0,86

1. Уяснить сущность работы по методическому пособию.
2. Изучить материал, изложенный в учебнике [1]:
глава 5, 5.3 – стр.140;
глава 5, 5.4 – стр.155;
глава 7, 7.4 – стр.220.
3. Выбрать задание.
4. Выполнить работу
 - 4.1. Рассчитать характеристику напора $H = f(Q)$ для частоты вращения вала насоса $n_{н1}$, $n_{н2}$, $n_{н3}$, изменяя расход Q .
Определить для частот вращения вала насоса $n_{н1}$, $n_{н2}$ и $n_{н3}$ мощность, потребляемую пожарным насосом.
Построить внешнюю скоростную характеристику двигателя $N = f(n)$ и определить границы рационального использования N и n .
Совместить поля мощностей, потребляемых пожарным насосом и развиваемых двигателем.
Проанализировать расход топлива двигателем внутреннего сгорания и количество содержащихся в отработавших газах окислов азота.

В результате работы должна быть построена графические зависимости параметров ПН и двигателя внутреннего сгорания. Принципиальное их изображение показано на рис.1.

Для оформления графической части работы необходимо заготовить координатную сетку на миллиметровой бумаге формата А4, позволяющей представлять необходимые параметры в масштабе:

напор H – 10 м в 1 см;

подача Q – 10 л/с в 2,5 см;

мощность N – 10 кВт в 1 см;

частота вращения вала двигателя n – 2000 об/мин в 1 см.

2а. Построение характеристики $H = f(Q)$

В первой четверти координат $H, м$ и $Q, л/с$ необходимо представить зависимости напора $H = f(Q)$ при различных постоянных значениях частоты вращения вала насоса $n_{н1}, n_{н2}$ и $n_{н3}$.

Для этого следует по формуле (1) определить напоры при $n_{н1} = 2700$ об/мин, $H = f(Q)$

$$H = A + BQ - CQ^2, м, \quad (1)$$

где A, B и C – коэффициенты указанные в табл.3. для всех пожарных насосов

Значения констант

№ пп	Параметры показателей	Размер ность	Константы		
			А	В	С
1	ПН-40УВ				
	Напор, <i>H</i> Мощность, <i>N</i>	м кВт	110,11 22,78	0,49 1,33	0,02 $8,85 \cdot 10^{-3}$
2	ПН-60				
	Напор, <i>H</i> Мощность, <i>N</i>	м кВт	104 48	0,038 0,42	$1,74 \cdot 10^{-3}$ $5,54 \cdot 10^{-3}$
3	НЦПН-40/100				
	Напор, <i>H</i> Мощность, <i>N</i>	м кВт	92,55 20,6	0,815 0,957	0,014 0
4	НЦПВ-20/200				
	Напор, <i>H</i> Мощность, <i>N</i>	м кВт	210 37,5	1,6 1,54	0,1 0

при $n_{HI} = 2700$ об/мин

$$H = A + BQ - CQ^2 = 110,11 + 0,49 \cdot 4 - 0,02 \cdot 4^2 = 111,75 \text{ м}$$

$$H = A + BQ - CQ^2 = 110,11 + 0,49 \cdot 10 - 0,02 \cdot 10^2 = 113,01 \text{ м}$$

$$H = A + BQ - CQ^2 = 110,11 + 0,49 \cdot 20 - 0,02 \cdot 20^2 = 111,91 \text{ м}$$

$$H = A + BQ - CQ^2 = 110,11 + 0,49 \cdot 30 - 0,02 \cdot 30^2 = 106,81 \text{ м}$$

$$H = A + BQ - CQ^2 = 110,11 + 0,49 \cdot 40 - 0,02 \cdot 40^2 = 97,71 \text{ м}$$

Значения расходов рекомендуется принимать равными 4,10,20,30 и 40 л/с. Для ПН-60 – 4,10,20,40,60 л/с, соответственно, а для НЦПВ 20/200 – 4,10,15 и 20 л/с.

Для расчетов $H = f(Q)$ при $n_{н2}$ и $n_{н3}$ (см. табл.2) следует воспользоваться теорией подобия

$$\frac{Q_1}{Q_i} = \frac{n_{H1}}{n_H}; \quad Q_i = Q_1 \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} \quad (2)$$

и

$$\frac{H_1}{H_i} = \left(\frac{n_{H1}}{n_{Hi}} \right)^2; \quad H_i = H_1 \left(\frac{n_{Hi}}{n_{H1}} \right)^2 \quad (3)$$

В пояснительной записке представить расчет $H = f(Q)$ только для $n_{н1}$. Для значений H и Q при $n_{н2}$ и $n_{н3}$ записать значения $\frac{n_{ni}}{n_{н2}}$ и $\left(\frac{n_{Hi}}{n_{H1}} \right)^2$, а результаты расчетов привести в таблице, как показано ниже.

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 4 \cdot \frac{2400}{2700} = 3,55 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 10 \cdot \frac{2400}{2700} = 8,8 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 20 \cdot \frac{2400}{2700} = 17,8 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 30 \cdot \frac{2400}{2700} = 26,7 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 40 \cdot \frac{2400}{2700} = 35,5 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 4 \cdot \frac{1800}{2700} = 2,67 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 10 \cdot \frac{1800}{2700} = 17,8 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 20 \cdot \frac{1800}{2700} = 17,8 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 30 \cdot \frac{1800}{2700} = 26,7 \text{ л/с}$$

$$Q_i = Q_1 \cdot \frac{n_{Hi}}{n_{H1}} = 40 \cdot \frac{1800}{2700} = 35,5 \text{ л/с}$$

при n_{Hi}

2400 об/мин

при n_{Hi}

1800 об/мин

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 111,75 (2400/2700)^2 = 88,5 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 113,01 (2400/2700)^2 = 89,5 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 111,91 (2400/2700)^2 = 88,6 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 106,81 (2400/2700)^2 = 84,6 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 97,71 (2400/2700)^2 = 77,4 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 111,75 (1800/2700)^2 = 50,2 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 113,01 (1800/2700)^2 = 89,5 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 111,91 (1800/2700)^2 = 88,6 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 106,81 (1800/2700)^2 = 84,6 \text{ м}$$

$$H_i = H_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^2 = 97,71 (1800/2700)^2 = 77,4 \text{ м}$$

при n_{Hi}

2400 об/мин

при n_{Hi}

1800 об/мин

Таблица 4

$n_{H1}=2700$ об/мин	$Q, л/с$	4	10	20	30	40
	$H, м$	111,75	113,01	111,91	106,81	97,71
$n_{H2}=2400$ об/мин	$Q, л/с$	3,5	8,8	17,7	26,7	35,5
	$H, м$	88,5	89,5	88,6	84,6	77,4
$n_{H3}=1800$ об/мин	$Q, л/с$	2,67	6,67	13,3	20,0	26,66
	$H, м$	50,2	50,7	50,23	47,95	43,86

Выполнив графическое представление полученных результатов, необходимо обозначить граничные точки a , b , c и d , как показано на рис.1.

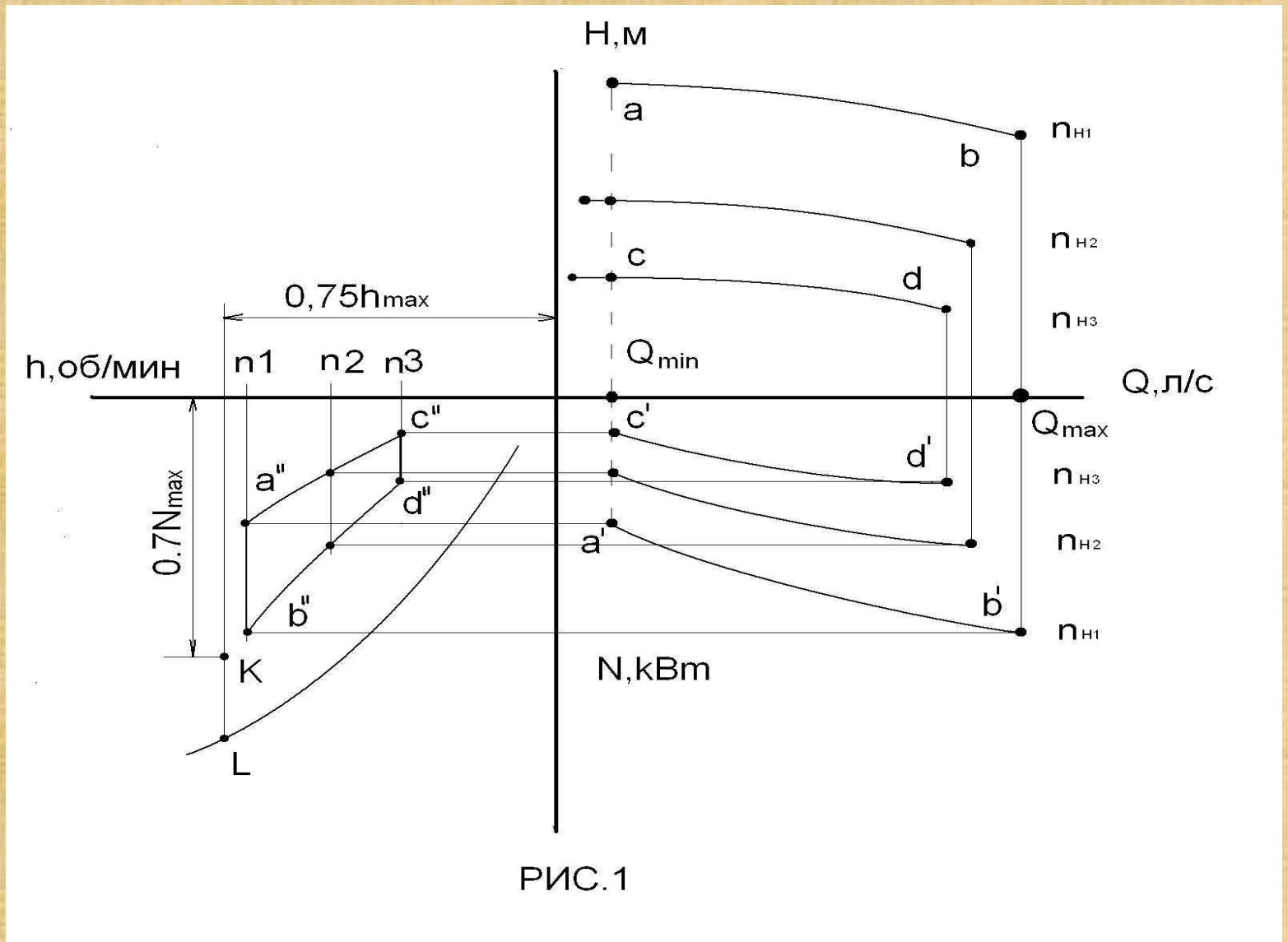


РИС.1

Во второй четверти координат следует представить зависимость мощности, потребляемой пожарным насосом $N = f(Q)$, при заданных значениях частот вращения вала насоса $n_{н1}$, $n_{н2}$ и $n_{н3}$. Для частоты вращения $n_{н1}$ ее вычисляют по формуле

$$N' = A + BQ - CQ^2, \text{ кВт} , \quad (4)$$

где A, B и C – коэффициенты, указанные для всех ПН в табл.3.

Мощность, отдаваемая двигателем должна определяться с учетом ее потери в трансмиссии

$$N = \frac{N'}{\eta_{тр}}, \quad (5)$$

где $\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии (см. табл.2).

По вычисленным значениям мощности N при $n_{н1}$ следует построить зависимость $N_{н1} = f(Q)$.

Для построения зависимостей $N = f(Q)$ для частот вращения вала насоса $n_{н2}$ и $n_{н3}$ следует воспользоваться теорией подобия

$$\frac{N_1}{N_{Hi}} = \left(\frac{n_{н1}}{n_{Hi}} \right)^3 ; \quad N_{Hi} = N_1 \left(\frac{n_{Hi}}{n_{н1}} \right)^3 \quad (6)$$

$$N' = A + BQ - CQ^2 = 22,78 + 1,33 \cdot 4 - 8,85/10^3 \cdot 4^2 = 27,96 \text{ κBm}$$

$$N' = A + BQ - CQ^2 = 22,78 + 1,33 \cdot 10 - 8,85/10^3 \cdot 10^2 = 35,2 \text{ κBm}$$

$$N' = A + BQ - CQ^2 = 22,78 + 1,33 \cdot 20 - 8,85/10^3 \cdot 20^2 = 45,84 \text{ κBm}$$

$$N' = A + BQ - CQ^2 = 22,78 + 1,33 \cdot 30 - 8,85/10^3 \cdot 30^2 = 54,7 \text{ κBm}$$

$$N' = A + BQ - CQ^2 = 22,78 + 1,33 \cdot 40 - 8,85/10^3 \cdot 40^2 = 61,82 \text{ κBm}$$

$$N' = A + BQ - CQ^2$$

$$N = N' / \eta_{mp} = 27,96 / 0,88 = 31,77 \text{ кВт},$$

$$N = 35,2 / 0,88 = 40,0 \text{ кВт}$$

$$N = 45,84 / 0,88 = 52,09 \text{ кВт}$$

$$N = 54,7 / 0,88 = 62,16 \text{ кВт}$$

$$N = 61,82 / 0,88 = 70,25 \text{ кВт}$$

$$N_{Hi} = N_1 \cdot (n_{Hi} / n_{H1})^3$$

$$N_{Hi} = 31,77 \cdot (2400 / 2700)^3 = 21,89 \text{ кВт}$$

$$N_{Hi} = 40,0 \cdot (2400 / 2700)^3 = 27,56 \text{ кВт}$$

$$N_{Hi} = 52,09 \cdot (2400 / 2700)^3 = 35,9 \text{ кВт}$$

$$N_{Hi} = 62,16 \cdot (2400 / 2700)^3 = 55,3 \text{ кВт}$$

$$N_{Hi} = 70,25 \cdot (2400 / 2700)^3 = 48,4 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{Hi}} = 31,77 \cdot (1800/2700)^3 = 9,6 \text{ кВТ}$$

$$N_{\text{Hi}} = 40,0 \cdot (1800/2700)^3 = 11,5 \text{ кВТ}$$

$$N_{\text{Hi}} = 52,09 \cdot (1800/2700)^3 = 15,0 \text{ кВТ}$$

$$N_{\text{Hi}} = 62,16 \cdot (1800/2700)^3 = 17,9 \text{ кВТ}$$

$$N_{\text{Hi}} = 70,25 \cdot (1800/2700)^3 = 20,2 \text{ кВТ}$$

$n_{H1}=2700$ об/мин	<i>Q, л/с</i>	4	10	20	30	40
	<i>N', кВт</i>	27,96	35,2	45,84	54,7	61,82
	<i>N, кВт</i>	31,77	40,0	52,09	62,16	70,25
$n_{H2}=2400$ об/мин	<i>N, кВт</i>	21,89	27,56	35,9	55,3	48,4
$n_{H3}=1800$ об/мин	<i>N, кВт</i>	9,6	11,5	15	17,9	20,2

В пояснительной записке представить расчеты $N = f(Q)$ только для частоты вращения вала насоса $n_{н1}$. Результаты для других частот $n_{н2}$ и $n_{н3}$ записать в виде таблицы, как было указано для $H = f(Q)$. На представленных кривых $N_{Hi} = f(Q)$ следует определить точки a' , b' , c' и d' и соединить их с точками a , b , c и d функции $H = f(Q)$.

В третьей четверти с координатами мощности двигателя N , кВт и частотой вращения его коленчатого вала n , об/мин следует, прежде всего, построить внешнюю скоростную характеристику двигателя внутреннего сгорания $N = f(n)$, устанавливаемого на пожарных автоцистернах. Для ее построения заданы координаты точек в приводимой ниже табл.5.

Таблица 5

N , кВт	37,5	66	110	130	136
n , об/мин	800	1400	1500	2000	2200

Согласование режимов работы пожарного насоса (ПН) и двигателя внутреннего сгорания (ДВС) осуществляется по двум параметрам: мощности, потребляемой насосом N_H и развиваемой двигателем N , а также частотой вращения вала насоса n_H и коленчатого вала двигателя n . При этом установлены ограничения по мощности, потребляемой насосом $N_H \leq 0,75 N_{max}$ и частотой вращения его вала $n_{H1} \leq 0,75 n_{max}$ двигателя внутреннего сгорания.

Первое ограничение должно гарантировать некоторый запас мощности N , во избежание перегрева ДВС, эксплуатируемого в стационарном (не транспортном!) режиме работы двигателя пожарного автомобиля (ПА). Второе ограничение исключает работу ДВС в области, близкой к максимальным значениям n , во избежание большой интенсивности изнашивания его деталей.

На основании изложенного, в третьей четверти координат, построив внешнюю характеристику ДВС $N = f(n)$ (кривая 1), на оси абсцисс следует провести вертикальную линию на расстоянии от начала координат, равном $0,75 n_{max}$. На этой же линии необходимо отметить точку K , соответствующую $0,7 N_{max}$. Запас мощности «К – е» должен составлять 10...15%.

Установив допустимое предельное значение частоты вращения вала двигателя, определяют максимальное значение передаточного числа

$$i = \frac{0,75 \cdot n_{max}}{n_{H1}}, \quad (7)$$

где n_{\max} – максимальная частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин (табл.5); n_{Hi} – частота вращения вала пожарного насоса, об/мин (табл.2).

Частота вращения коленчатого вала двигателя n_j (где $j= 1,2,3$), соответствующая частотам вращения вала пожарного насоса n_{Hi} (n_{H2} и n_{H3}) определяется

$$n_j = i n_{Hi}, \text{ об/мин,} \quad (8)$$

где i – передаточное отношение; n_{Hi} – частоты вращения вала пожарного насоса, об/мин при n_{H2} и n_{H3} (см.табл.2).

$$n_{i1} = i n_{Hi}$$

$$n_{i1} = 1 \cdot 2700 = 2700 \text{ об/мин}$$

$$n_{i1} = 2 \cdot 2400 = 4800 \text{ об/мин}$$

$$n_{i1} = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ об/мин}$$

По найденным значениям n_j проводят вертикальные линии n_1 , n_2 и n_3 (см. рис.1). Они и характеризуют скоростные режимы двигателя, соответствующие частотам вращения вала насоса $n_{нi}$. Проведя горизонтальные линии от точек c' и d' до пересечения с линией, проведенной через n_3 , будет определен отрезок c'' и d'' , характеризующий мощность, потребляемую ПН. Аналогично определяют точки a'' и b'' , а также две промежуточные точки, соответствующие $n_{н2}$.

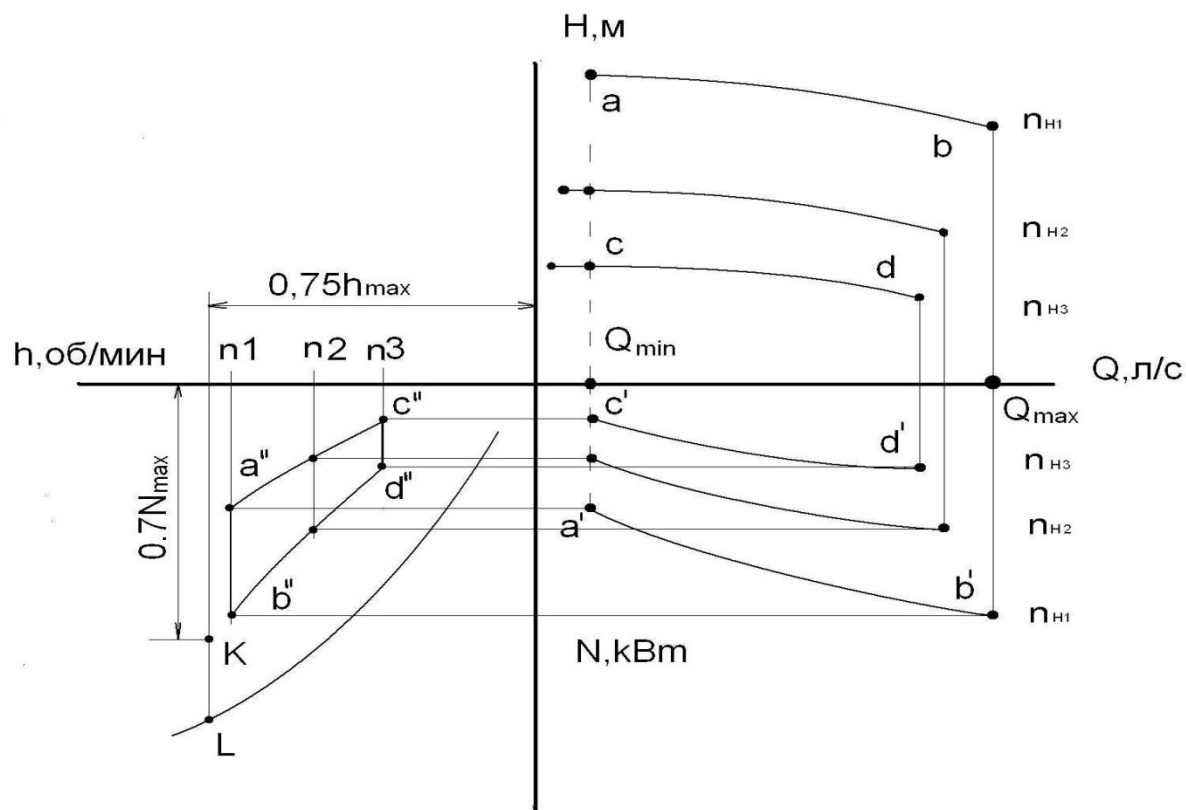


РИС.1

В результате изложенных процедур будет установлена область a'' , b'' , c'' , d'' , характеризующая поле мощности, потребляемой ПН.

На основании сопоставления полей мощности, развиваемой двигателем и потребляемой насосом, необходимо:

1. Доказать, имеется ли необходимый запас мощности двигателя, обеспечивающий его эксплуатацию на всех возможных режимах работы ПН.
2. Определить расходы топлива и выбросы окислов азота при мощностях двигателя и частоте оборотов его вала, характерных для точек a'' , b'' , c'' и d'' (см.рис.1).

Изолнии удельных расходов топлива q_e г/кВт·ч и выбросы окислов азота $C =$ г/кг сгоревшего топлива представлены на рис.3 и 4 в поле, характеризуемом зависимостью крутящего момента, развиваемого двигателем T , Нм от частоты вращения его коленчатого вала, n об/мин (кривая 1 на рис.2 и 3). Поэтому решение поставленной задачи должно осуществляться в такой последовательности.

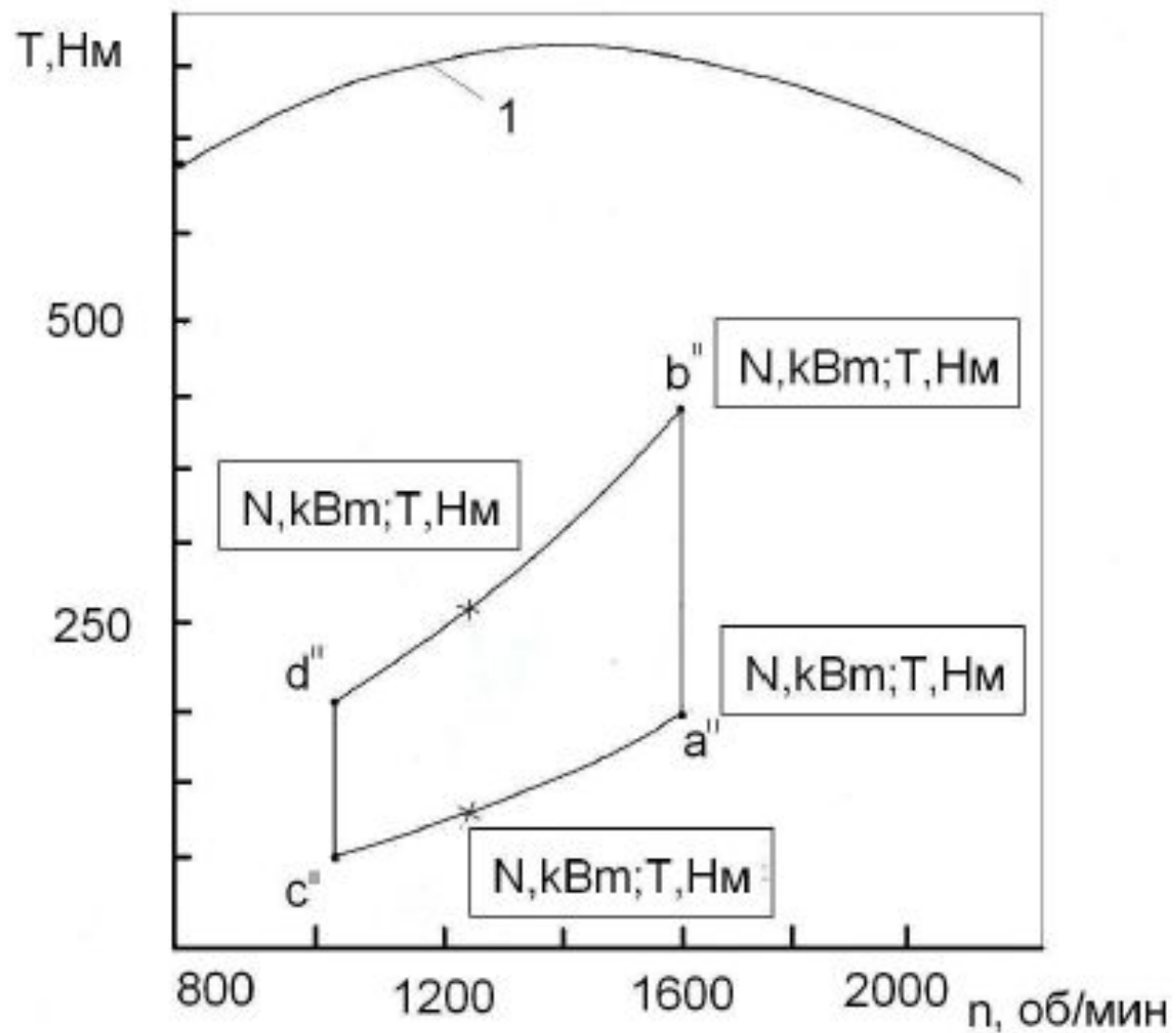


РИС.2

2.1 Определить мощности N и частоты вращения вала двигателя в точках a'' , b'' , c'' , d'' рис. 1).

$a''=34$ кВт, $b''=73$ кВт, $c''= 10$ кВт, $d''= 20$ кВт

2.2 Вычислить значения величин крутящих моментов в указанных точках

$$T= 9550$$

2.1. Определить мощности N и частоты вращения вала двигателя в точках a'' , b'' , c'' и d'' (по рис.1).

2.2. Вычислить значения величин крутящих моментов в указанных точках

$$T = 9550 \frac{N}{n}, \text{ Нм}, \quad (9)$$

2.3. Построить характеристику $T = f(n)$, как показано на рис.2. На этом рисунке по вычисленным значениям T и величинам n указать точки a'' , b'' , c''