

**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
<b>ПН-40УВ</b> $Q_{\max} = 40$ 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	
<b>ПН-60</b> $Q_{\max} = 60$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2500$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$				2500	2300					
	$n_{\text{н3}}$				1800	1900					
<b>НЦПН-40/100</b> $Q_{\max} = 40$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2700$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$						2450	2500			
	$n_{\text{н3}}$						1900	1800			
<b>НЦПВ-20/200</b> $Q_{\max} = 20$ л/с; $\Pi_{\text{н}} = 2700$ об/мин; $H = 100$ м	$n_{\text{н2}}$								2400		
	$n_{\text{н3}}$								1850		
Коэффициент полезного действия	$\eta$	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,  $H = f(Q)$

$$H = A + BQ - CQ^2, \text{ м}, \quad (1)$$

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	<b>ПН-40УВ</b>				
	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	<b>ПН-60</b>				
	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	<b>НЦПН-40/100</b>				
	Напор, <i>H</i> Мощность, <i>N</i>	м кВт	92,55 20,6	0,815 0,957	0,014 0
4	<b>НЦПВ-20/200</b>				
	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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

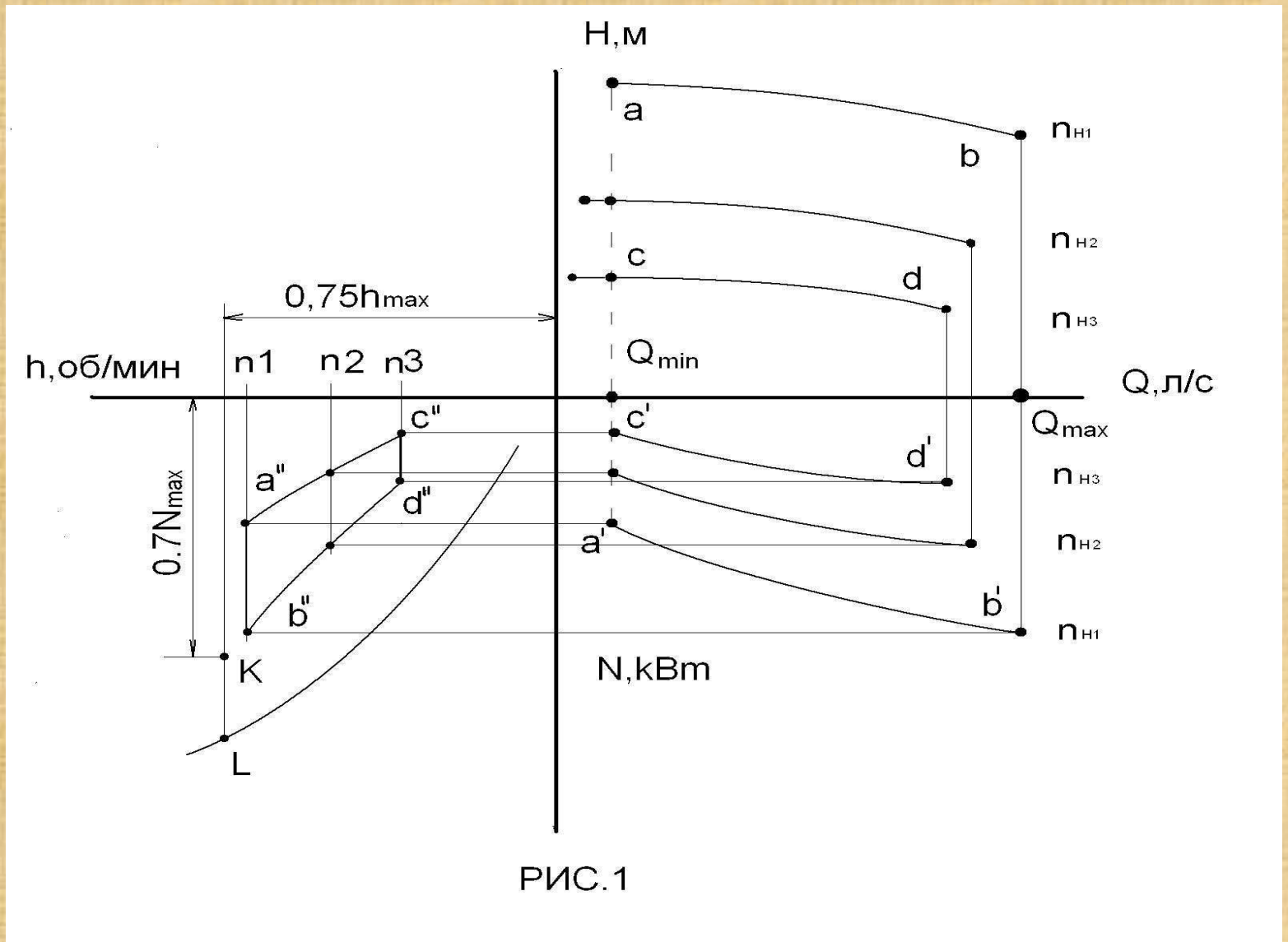


РИС.1

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><b>Q, л/с</b></i>	4	10	20	30	40
	<i><b>N', кВт</b></i>	27,96	35,2	45,84	54,7	61,82
	<i><b>N, кВт</b></i>	31,77	40,0	52,09	62,16	70,25
$n_{H2}=2400$ об/мин	<i><b>N, кВт</b></i>	21,89	27,56	35,9	55,3	48,4
$n_{H3}=1800$ об/мин	<i><b>N, кВт</b></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  $n_{н2}$ .

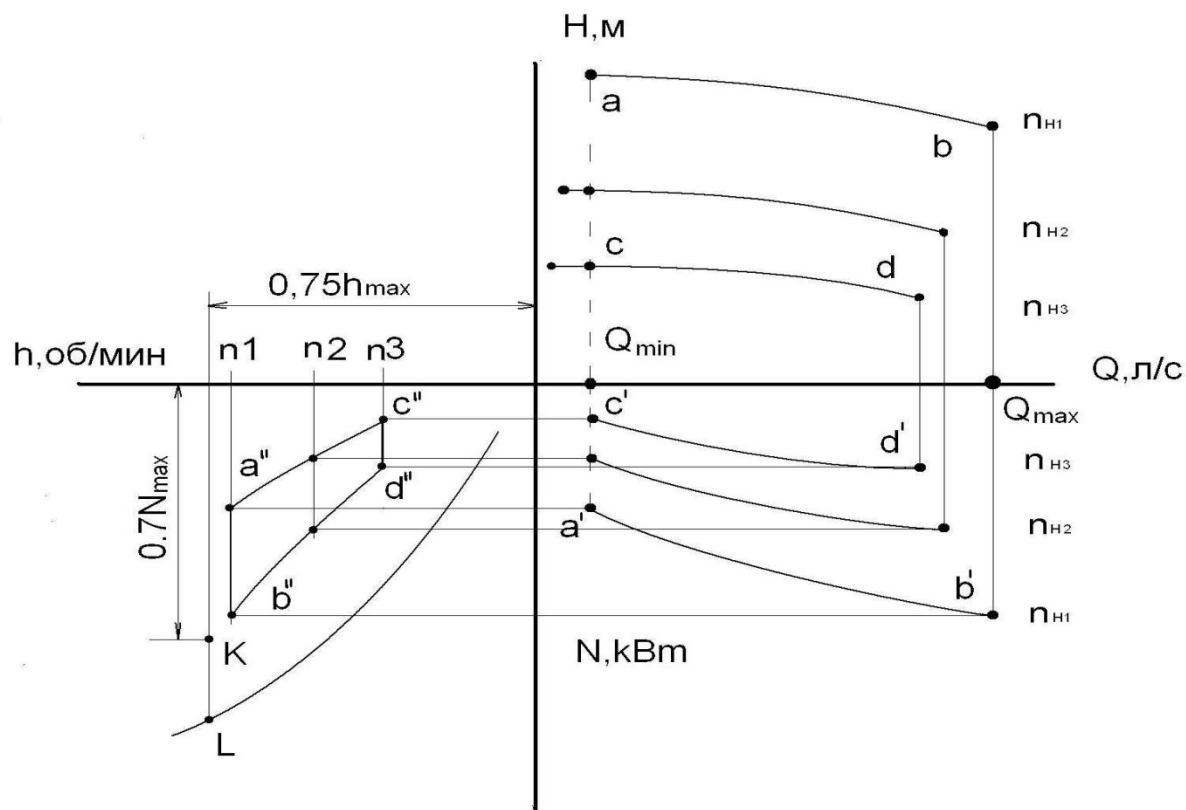


РИС.1

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.



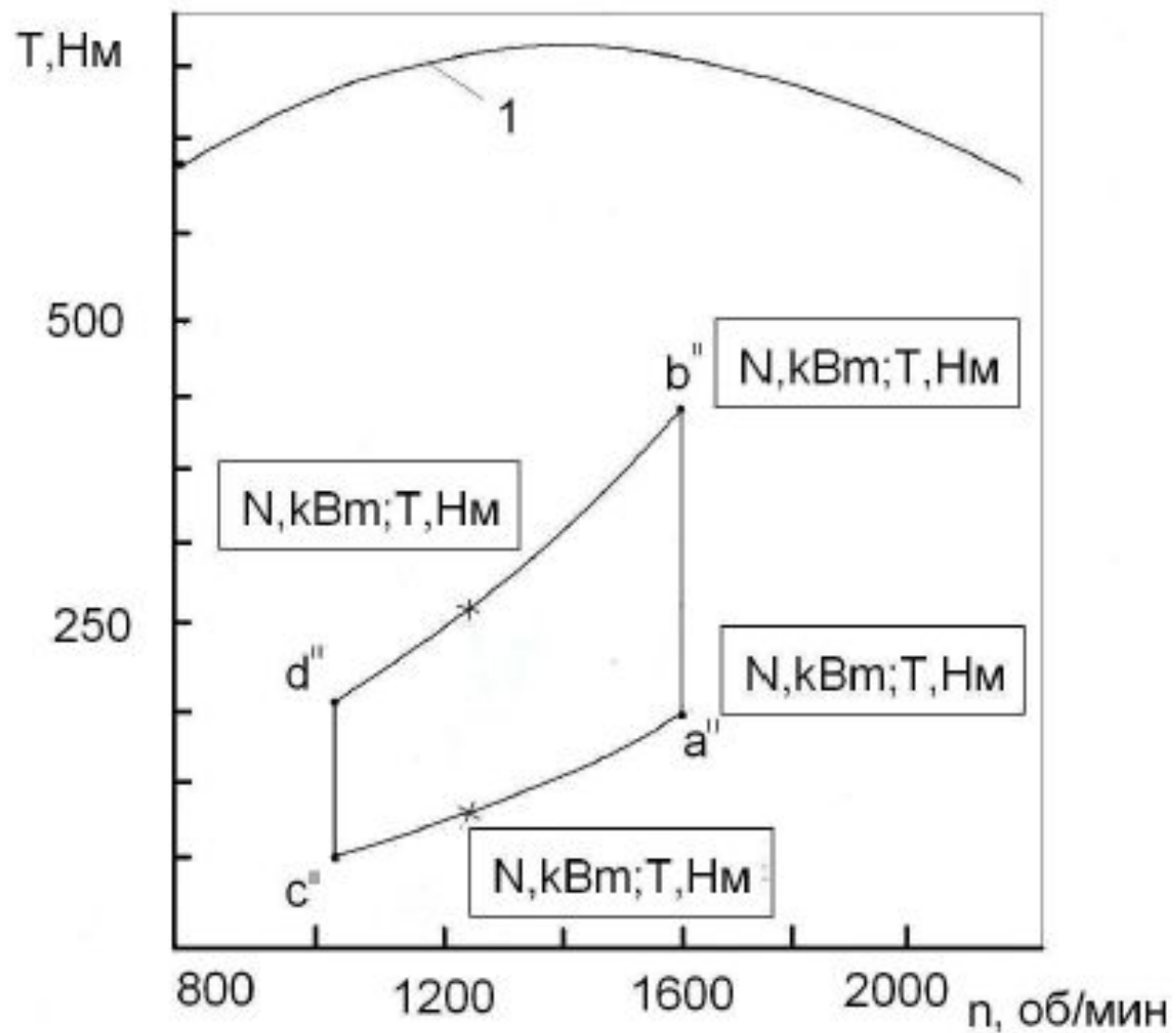


РИС.2

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  $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$