Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, А. В. Рожков,
В. М. Климовцов, С. В. Огурцов

Согласование режимов работы центробежного насоса с двигателем пожарного автомобиля

Контрольная работа по дисциплине «Пожарная и аварийно-спасательная техника»

Москва
2016

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы

М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, А. В. Рожков,
В. М. Климовцов, С. В. Огурцов

Согласование режимов работы центробежного насоса с двигателем пожарного автомобиля

Контрольная работа по дисциплине «Пожарная и аварийно-спасательная техника»

Москва
2016

УДК 614.844 (075.8)
ББК 38.960.2 – 52я73
П46

Р е ц е н з е н т ы:

С.В. Пузач, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, профессор, доктор технических наук;
С.А. Шкунов, начальник кафедры пожарной тактики и службы в составе УНК «Пожаротушение», доцент

П46 **Согласование режимов работы центробежного насоса с двигателем пожарного автомобиля** : контрольная работа по дисциплине «Пожарная и аварийно-спасательная техника» / Сост. М. Д. Безбородько, М. В. Алешков, А. В. Рожков, В. М. Климовцов, С. В. Огурцов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 16 с.

В пособии изложена методика согласования режимов работы пожарного насоса с двигателем внутреннего сгорания ПА, сформулированы индивидуальные задания и общая последовательность расчетов. В пособии приводится необходимый справочный материал для оценки расхода топлива и определения ряда веществ в отработавших газах двигателя. Приводится образец схемы графического анализа сопоставления режимов работы пожарного насоса и двигателя ПА.

Издано в авторской редакции.

УДК 614.844 (075.8)
ББК 38.960.2 – 52я73

© Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по курсу «Пожарная и аварийно-спасательная 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 N_xO_x.

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

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

Таблица 1

Условные обозначения

№ пп	Наименование параметров	Обозначение	Размерность	Примечание
	Двигатель шасси ПА			Символ i у обозначаемого параметра означает порядковый номер $i = 1, 2, 3$ …
1	Мощность	N	кВт	
2	Частота вращения коленчатого вала	n	мин$^{-1}$	
3	Минимальное его значение	n_{min}	мин$^{-1}$	
4	Его значение при максимальной мощности	n_N	мин$^{-1}$	
5	Крутящий момент	M	Н·м	
	Пожарный насос			
5	Подача	Q	л/с	
6	Напор	H	м	
7	Частота вращения вала насоса	$n_н$	мин$^{-1}$	
8	Потребляемая мощность	$N_н$	кВт	
	Трансмиссия			
9	Коэффициент полезного действия	$\eta_{тр}$	-	
10	Передаточное отношение	i	-	

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

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

Таблица 2

Исходные данные для выполнения контрольной работы

Пожарные насосы	**Вариант задания**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
ПН-40УВ Q_{max} = 40 л/с; $n_н$ = 2700 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$	2500							2400		
	$n_{н3}$	2200							2100		
ПН-60 Q_{max} = 60 л/с; $n_н$ = 2500 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$		2300							2400	
	$n_{н3}$		2000							2100	
НЦПН-20/100 Q_{max} = 20 л/с; $n_н$ = 2700 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$			2400							2500
	$n_{н3}$			2100							2200
НЦПН-40/100 Q_{max} = 40 л/с; $n_н$ = 2700 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$				2500						
	$n_{н3}$				2200						
НЦПН-70/100 Q_{max} = 40 л/с; $n_н$ = 2000 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$					1800					
	$n_{н3}$					1600					
НЦПН-100/100 Q_{max} = 100 л/с; $n_н$ = 2000 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$						1900				
	$n_{н3}$						1700				
НЦПВ-20/200 Q_{max} = 20 л/с; $n_н$ = 2700 мин$^{-1}$; Н = 100 м	$n_{н2}$							2500			
	$n_{н3}$							2200			
Коэффициент полезного действия	η	0,88	0,88	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,86	0,86

Работу рекомендуется выполнять в последовательности, изложенной ниже:

1. Уяснить сущность работы по методическому пособию.
2. Изучить материал, изложенный в учебнике «Пожарная и аварийно-спасательная техника» глава 9.1.
3. Выбрать задание.
4. Выполнить работу

4.1. Рассчитать характеристику $H = f(Q)$ для частоты вращения вала насоса $n_{н1}$, $n_{н2}$, $n_{н3}$, изменяя Q.

4.2. Определить для частот вращения вала насоса $n_{н1}$, $n_{н2}$ и $n_{н3}$ мощность, потребляемую пожарным насосом.

4.3. Построить внешнюю скоростную характеристику двигателя $N = f(n)$ и определить границы рационального использования N и n.

4.4. Совместить поля мощностей, потребляемых пожарным насосом и развиваемых двигателем.

4.5. Проанализировать расход топлива двигателем внутреннего сгорания и количество содержащихся в отработавших газах окислов азота.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

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

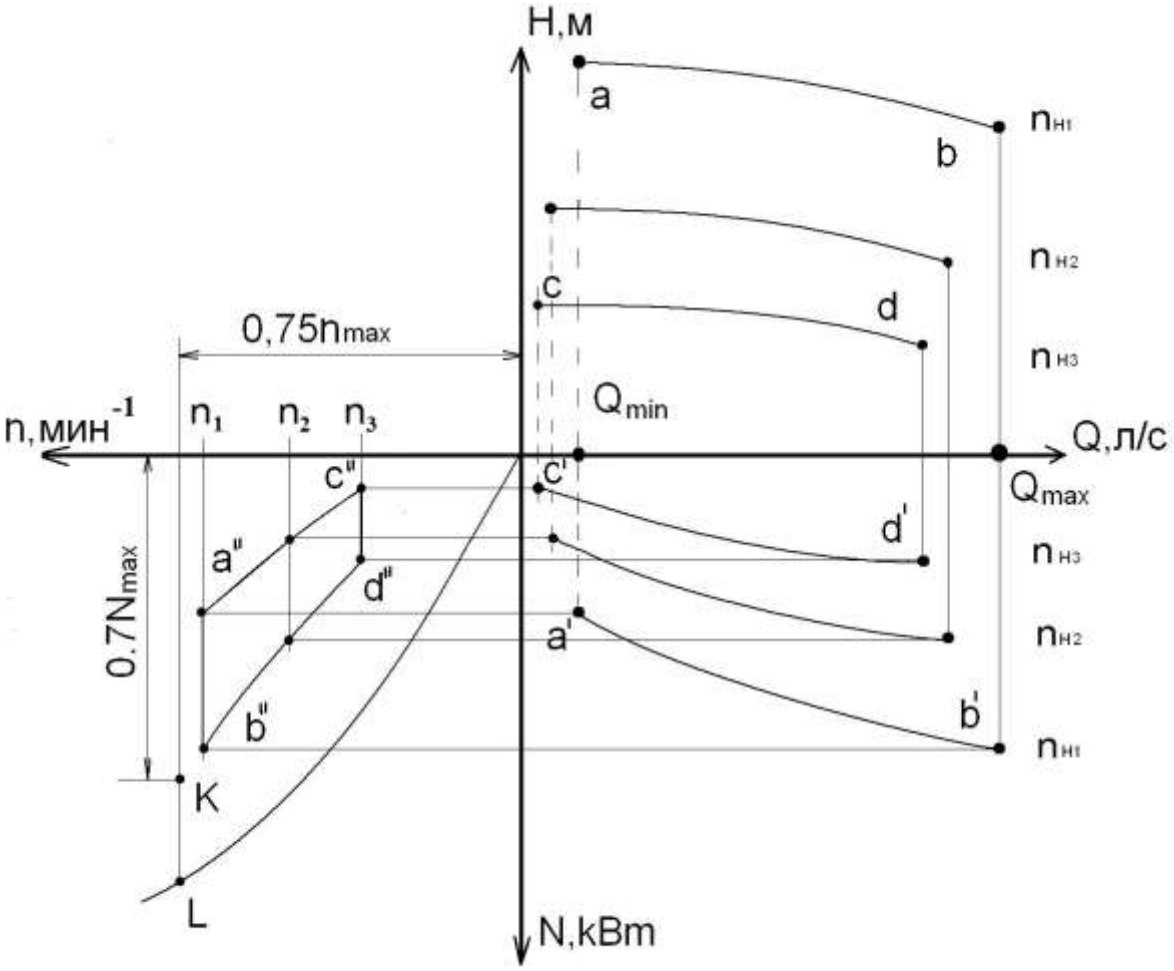

Рис.1. Построение характеристики *H = f(Q)*

В первой четверти координат *H,* м и *Q*, л/с необходимо представить зависимости *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 *H = f(Q)*

$H = A + BQ - CQ^2$, м , (1)

где А, В и С – коэффициенты указанные в табл.3. для всех пожарных насосов при $n_{н1}$.

Таблица 3

Коэффициенты для расчета основных параметров пожарного насоса

№ пп	Параметры показателей	Размерность	Константы		
			A	B	C
1	**ПН-40УВ**				
	Напор, *H*	м	110,11	0,49	0,02
	Мощность, *N*	кВт	22,78	1,33	$8{,}85\cdot10^{-3}$
2	**ПН-60**				
	Напор, *H*	м	104	0,038	$1{,}74\cdot10^{-3}$
	Мощность, *N*	кВт	48	0,42	$5{,}54\cdot10^{-3}$
3	**НЦПН-20/100**				
	Напор, *H*	м	139,47	0,3	$3{,}37\cdot10^{-2}$
	Мощность, *N*	кВт	20,57	1,08	0
4	**НЦПН-40/100**				
	Напор, *H*	м	92,55	0,815	0,014
	Мощность, *N*	кВт	20,6	0,957	0
5	**НЦПН-70/100**				
	Напор, *H*	м	109,45	0,14	$1{,}8\cdot10^{-3}$
	Мощность, *N*	кВт	72,1	1,08	0
6	**НЦПН-100/100**				
	Напор, *H*	м	106,05	0,11	$3\cdot10^{-4}$
	Мощность, *N*	кВт	72,3	0,8	0
7	**НЦПВ-20/200**				
	Напор, *H*	м	210	1,6	0,1
	Мощность, *N*	кВт	37,5	1,54	0

Для насосов ПН-40УВ, НЦПН-40/100 значения расходов рекомендуется принимать равными 4, 10, 20, 30 и 40 л/с.

Для НЦПН - 20/100 и НЦПВ 20/200 – 4, 10, 15 и 20 л/с.

Для ПН-60 – 4, 10, 20, 40 и 60 л/с.

Для НЦПН - 70/100 – 10, 20, 30, 50 и 70 л/с.

Для НЦПН - 100/100 – 20, 40, 60, 80 и 100 л/с.

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

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

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

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 $\frac{n_{ni}}{n_{n2}}$ и $\left(\frac{n_{Hi}}{n_{H1}}\right)^2$, а результаты расчетов привести в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов

$n_{н1}$ =	Q, л/с					
	H, м					
$n_{н2}$ =	Q, л/с					
	H, м					
$n_{н3}$ =	Q, л/с					
	H, м					

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

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

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

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

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

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

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

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, мин$^{-1}$ следует, прежде всего,

построить внешнюю скоростную характеристику двигателя внутреннего сгорания $N = f(n)$, устанавливаемого на пожарных автоцистернах.

Внешнюю скоростную характеристику двигателя построить по следующим значениям:

Таблица 5

Данные для построения внешней скоростной характеристики двигателя

Параметр	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
n, мин$^{-1}$	900	1300	1700	2100	2500
N, кВт	65	104	141	171	191

Согласование режимов работы пожарного насоса (ПН) и двигателя внутреннего сгорания (ДВС) осуществляется по двум параметрам: мощности, потребляемой насосом $N_н$ и развиваемой двигателем N, а также частотой вращения вала насоса $n_н$ и коленчатого вала двигателя n. При этом установлены ограничения по мощности, потребляемой насосом $N_н \le 0{,}75\ N_{max}$ и частотой вращения его вала $n_{н1} \le 0{,}75\ n_{max}$ 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 – L» должен составлять 10...15%.

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

$$i = \frac{0{,}75 \cdot n_{\max}}{n_{н1}} \quad , \qquad (7)$$

где n_{max} – максимальная частота вращения коленчатого вала ДВС, мин$^{-1}$ (табл.5); $n_{н1}$ – частота вращения вала пожарного насоса, мин$^{-1}$ (табл.2).

Частота вращения коленчатого вала двигателя n_j (где j= 1,2,3), соответствующая частотам вращения вала пожарного насоса $n_{нi}$ ($n_{н2}$ и $n_{н3}$) определяется

$$n_j = i n_{нj}, \ \text{мин}^{-1}, \qquad (8)$$

где i – передаточное отношение; $n_{нi}$ – частоты вращения вала пожарного насоса, мин$^{-1}$ при $n_{н2}$ и $n_{н3}$ (см.табл.2).

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 $n_{н2}$.

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).

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

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 a'', b'', c'' и d'':

$$M = 9550\ \frac{N}{n}, Нм, \qquad (9)$$

2.3. Используя рис.3 и 4, по вычисленным значениям M и соответствующим им частотам оборотов n вала двигателя, в точках a'', b'', c'' и d'' определить:

- удельные расходы топлива g_e г/кВт·ч;
- выбросы окислов азота C = г/кг сгоревшего топлива.

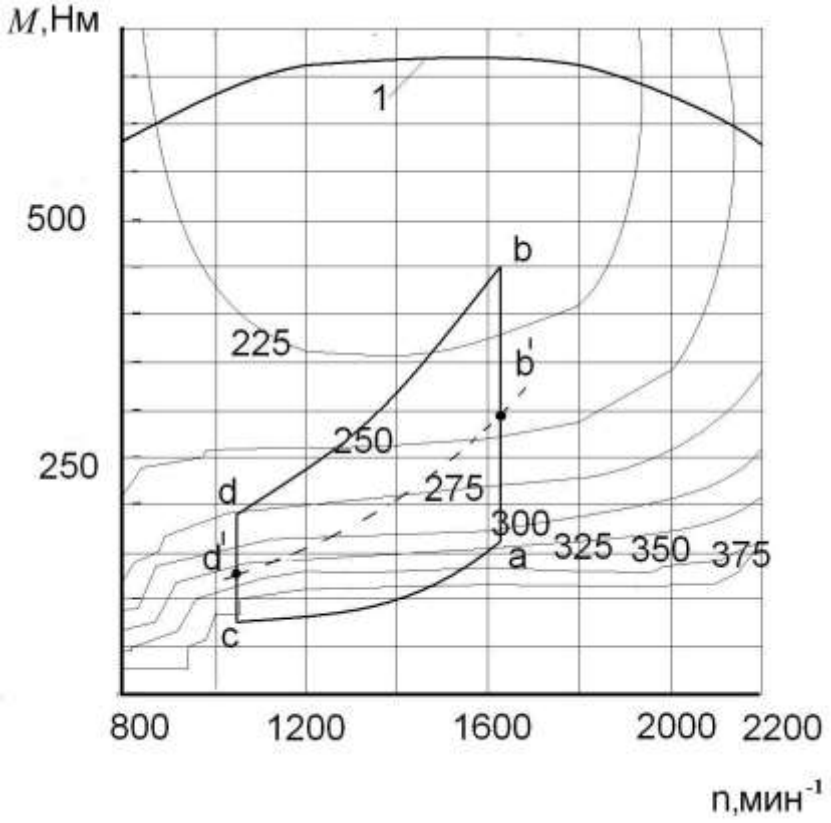

Рис.2. Изолинии равных удельных расходов топлива g_e, г/кВт·ч.

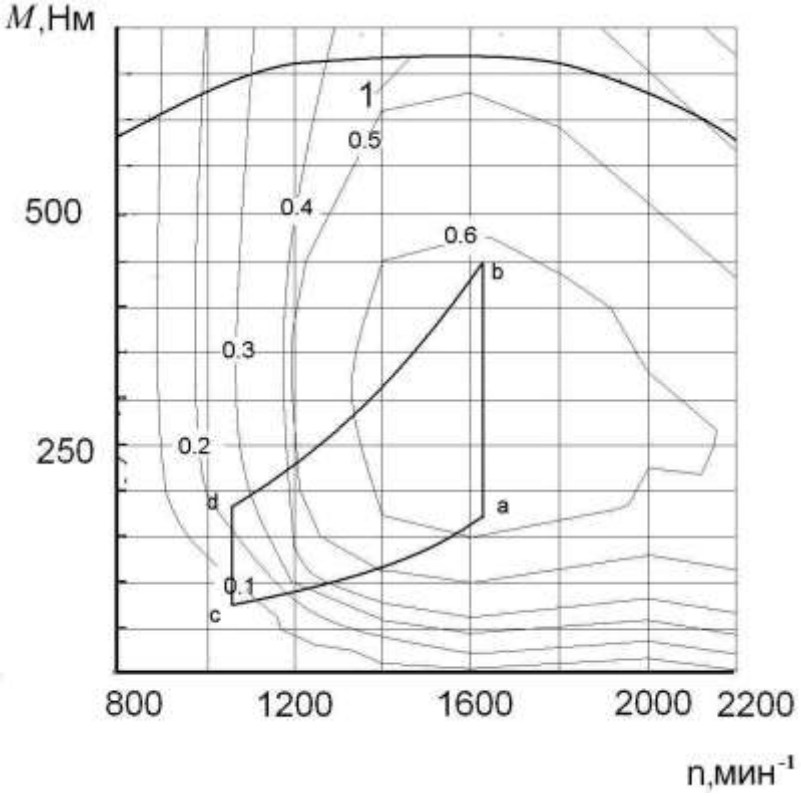

Рис.3. Изолинии удельных величин содержания окислов азота NO_x

Примечания:

1. На рис.2 представлены изолинии равных удельных расходов топлива e g_e г/кВт·ч. В области, ограниченной кривой $M = f(n)$ и изолинией расхода топлива 225 г/кВт·ч, удельные расходы принимать равными 225 г/кВт·ч.

2. На рис.3 представлены изолинии удельных величин содержания окислов азота NO_x в отработавших газах двигателя в *г* на *кг* сгоревшего топлива (q г/кг топлива). В области, ограниченной изолинией 0,6 г/кг топлива, содержание NO_x считать равным 0,6 г/кг топлива.

Найденные значения N, T, g_e и NO_x записать в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчетов

Наименование параметров	**Размер-ность**	**Значение параметров в точках**			
		a"	***b"***	***c"***	***d"***
Мощность двигателя, N	кВт				
Крутящий момент, T	Нм				
Удельный расход топлива, g_e	г/кВт·ч				
Удельный выброс окислов азота, q	г/кг топлива				
Расход топлива на подачу всей воды, G	кг				
Выброс окислов азота при подаче всей воды, Q	г				

3. В заключение работы необходимо определить расход топлива и

количество окислов азота, поступивших в атмосферу, при условии, что в течение одного месяца из пожарной автоцистерны было подано 20 т воды на тушение пожаров.

Полученные результаты следует также записать в табл.6.

В результате выполненных расчетов укажите наиболее рациональные режимы работы пожарного насоса по расходу топлива двигателем и выбросам в атмосферу окислов азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Учебник «Пожарная и аварийно-спасательная техника» в 2 частях под редакцией доктора технических наук, профессора М.Д. Безбородько. – М : Академия ГПС, 2013 – 355 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 4
2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 4
3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 6

Учебное издание

ПОЖАРНАЯ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

СОГЛАСОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С ДВИГАТЕЛЕМ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

Составители
Безбородько Михаил Дмитриевич
Алешков Михаил Владимирович
Рожков Алексей Владимирович
Климовцов Василий Михайлович
Огурцов Сергей Владимирович

Подписано в печать _____. Формат 60×90 $^{1}/_{16}$.
Печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,1.
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ_____

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4