

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

**УДК 622.684.001.25**

**М.К. Ибатов**

### **КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА КАРЬЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ**

В рамках решения одной из сложных задач, связанной со снижением концентрации оксидов азота при эксплуатации дизельных путевых машин в тоннелях большой протяженности Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного комбината, нами, на основе сравнительной оценки эффективности существующих методов воздействия на рабочий процесс двигателя, был предложен комбинированный метод снижения токсичности отработавших газов.

Анализ отработавших газов дизельных путевых машин показал, что несмотря на то, что они оборудованы двухступенчатой системой нейтрализации (первая – каталитическая, вторая – жидкостная), концентрации основных токсичных компонентов, а именно оксида углерода и оксидов азота, превышают в 1,5÷2,5 раза установленные нормы. Задача более эффективной очистки отработавших газов от оксида углерода была решена заменой каталитического нейтрализатора модели НКД-241 экспериментальным образцом каталитического нейтрализатора модели ГКА, в реакторе которого катализатор работает по принципу кипящего слоя. Совершенствование каталитических систем нейтрализации является другим направлением наших исследований и в данной работе не рассматривается.

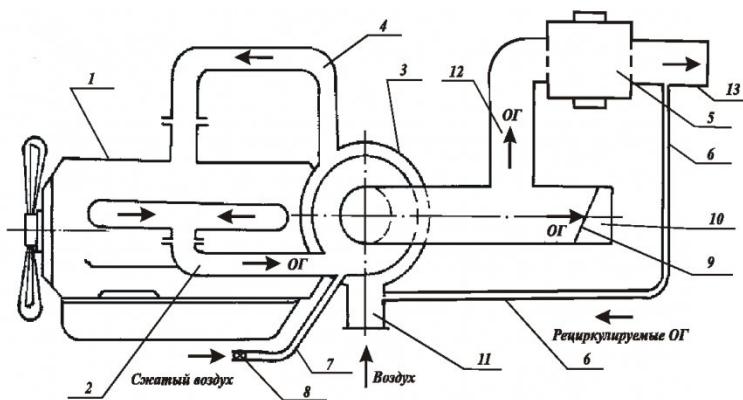
Для снижения концентрации оксидов азота нами был применен комбинированный метод, заключающийся в одновременном воздействии на рабочий процесс сгорания топли-

ва в двигателе двумя способами: изменением угла опережения впрыска топлива через форсунку и использованием способа рециркуляции отработавших газов. Эти два способа хорошо известны из литературы и нашли практическое применение на автомобильном транспорте общего пользования. Поэтому нами была предпринята попытка совместного их использования применительно к условиям работы карьерного транспорта. Принципиальная схема комбинированного метода снижения токсичности отработавших газов представлена на рис.1.

Уменьшение угла опережения впрыска топлива необходимо производить перед выездом из депо на всех дизельных путе-

вых машинах, проезжающих через тоннели. При движении путевой машины вне тоннелей система выключена, т.е. отработавшие газы дизеля 1 по выпускному коллектору 2 поступают в турбокомпрессор 3, где приводят во вращение газовую турбину, далее через выпускной трубопровод 10 и открытую дроссельную заслонку 9 выбрасываются в атмосферу. Вентиль 8 подачи сжатого воздуха закрыт. Отработавшие газы во впускной патрубок 12 не поступают ввиду газодинамического сопротивления нейтрализатора.

Перед въездом в тоннель выпускной трубопровод 10 перекрывают дроссельной заслонкой 9. Тогда отработавшие газы дизеля 1 по выпускному кол-



1 – дизель, 2 – выпускной коллектор, 3 – турбокомпрессор, 4 – впускной коллектор, 5 – каталитический нейтрализатор, 6 – перепускной трубопровод, 7 – трубопровод подачи сжатого воздуха, 8 – вентиль, 9 – дроссельная заслонка, 10 – выпускной трубопровод, 11 – впускной трубопровод, 12 – впускной патрубок каталитического нейтрализатора, 13 – выпускной патрубок каталитического нейтрализатора

*Рис. 1. Схема комбинированного метода снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей*

лектору 2 поступают в турбокомпрессор 3. Так как выпускной трубопровод 10 перекрыт заслонкой 9, то отработавшие газы направляются к выпускному патрубку 12 каталитического нейтрализатора 5. Большая часть отработавших газов, очищенных в нейтрализаторе от оксида углерода, выбрасывается в атмосферу. Меньшая часть по перепускному трубопроводу 6 поступает во впускной трубопровод 11 дизеля. Во избежание перегрева газовой турбины, одновременно с закрытием заслонки 9, открывается вентиль 8 подачи сжатого воздуха. При выезде из тоннеля заслонка 9 открывается, а вентиль 8 закрывается.

Цикличность работы комбинированного метода вызвана тем, что при его использовании невозможно избежать незначительных потерь мощности и уменьшения топливной экономичности. Поэтому его использование является целесообразным только в тоннелях, т.е. в условиях ограниченного воз-

душного пространства.

В целях планирования эксперимента и отработки комбинированного метода нами на стеновых испытаниях была получена токсическая характеристика дизельного двигателя УД6-250ТК (рис. 2), являющаяся приводом дизельной путевой машины АДМ-80. Анализ ее показывает, что наибольшее количество оксидов азота выделялось на номинальных нагрузках и при высоких числах оборотов коленчатого вала дизельных двигателей.

Для снижения концентрации оксидов азота в отработавших газах был использован метод, заключающийся в выборе рациональных параметров при совместном применении уменьшения угла опережения впрыска топлива и рециркуляции отработавших газов.

Степень рециркуляции  $R'$  определяется отношением рециркулируемой массы  $G_{P.M.}^{OR}$  к нерециркулируемой массе

$G_{H.M.}^{OR}$  отработавших газов, т.е.

$R' = G_{P.M.}^{OR} / G_{H.M.}^{OR}$ . Величина уменьшения угла опережения впрыска топлива определяется выражением:

$$\Delta\theta = \theta_{УСТ} - \theta ,$$

где  $\theta_{УСТ}$  - установленный угол опережения впрыска топлива в градусах поворота коленчатого вала до верхней мертвоточки;

$\theta$  - текущий угол опережения впрыска топлива в градусах поворота коленчатого вала до верхней мертвоточки.

При этом определение  $R'$  и  $\Delta\theta$  производится расчетным путем таким образом, чтобы требуемая величина снижения уровня концентрации оксидов азота достигалась при минимальной потере мощности и незначительном ухудшении топливной экономичности. Для этой цели были разработаны алгоритм и программа расчета на ЭВМ.

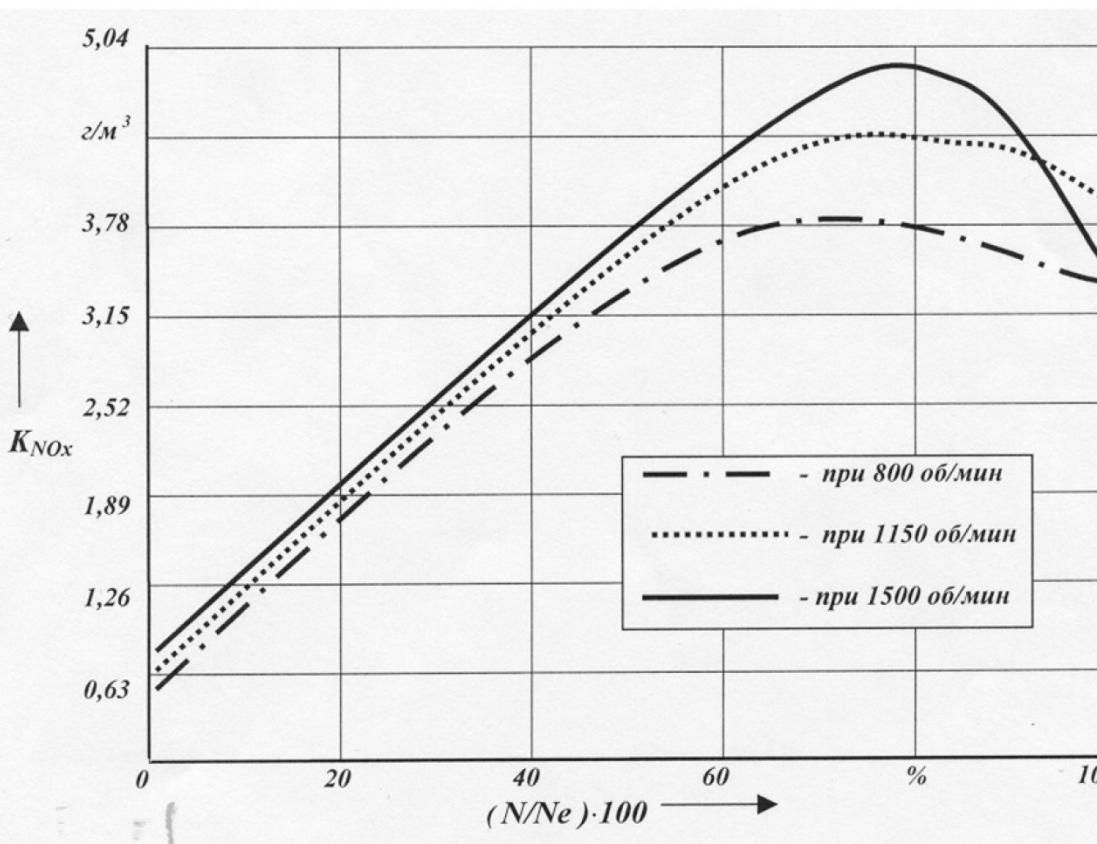


Рис. 2. Токсическая характеристика дизельного двигателя УД6-250ТК

Степень уменьшения поступления свежего воздуха  $a_{C.B.}$  при работе дизельного двигателя с рециркуляцией определяется отношением массы воздуха  $G_{P.P.}^B$ , поступающей за рабочий цикл в дизель при рециркуляции, к массе воздуха  $G_{B.P.}^B$ , поступающего за рабочий цикл без рециркуляции, т.е.  $a_{C.B.} = G_{P.P.}^B / G_{B.P.}^B$ .

В программу соответственно введены данные по температуре рециркулируемых газов  $T_p$ , а также значения изменений мощности  $\Delta N$  при работе дизеля с рециркуляцией отработавших газов и уменьшенным углом опережения впрыска топлива в отношении к эффективной мощности  $Ne$  дизеля без рециркуляции отработавших газов и изменения угла опережения впрыска топлива.

Для связи  $a_{C.B.}$  и  $R^r$  использовалась формула:

$$R^r = (1 - a_{C.B.}) \frac{T^{O.C.}}{T_p},$$

где  $T^{O.C.}$  - температура окружающей среды, К;

$T_p^r$  - температура рециркулируемых отработавших газов, К.

На основании разработанных алгоритма и программы на

Результаты расчета концентрации оксидов азота  
(в пересчете на  $NO_2$ ) в отработавших газах

Текущий угол опережения впрыска топлива, $\theta$ , град.	Изменение угла опережения впрыска топлива, $\Delta\theta$ , град.	Степень уменьшения поступления свежего воздуха, $a_{C.B.}$	Температура рециркулируемых газов, $T_p^r$ , К	Степень рециркуляции, $R^r$	Потери мощности, $\frac{\Delta N}{Ne} \cdot 100$ , %	Концентрация оксидов азота, $K_{NO_X}$ , г/м <sup>3</sup>
29	0	1,00	660	0	0	4,73
		0,96	673	0,0175	0,85	4,50
		0,92	689	0,0343	1,48	4,29
		0,88	697	0,0510	2,13	4,10
		0,84	716	0,0660	1,86	3,85
		0,80	736	0,0800	2,63	3,60
		0,76	757	0,0935	3,45	3,34
		0,71	789	0,1084	4,62	2,90
27	2	1,00	656	0	1,62	3,56
		0,96	671	0,0176	2,14	3,35
		0,92	634	0,0345	2,70	3,14
		0,88	693	0,0511	3,28	2,90
		0,84	712	0,0663	3,95	2,66
		0,80	736	0,0801	5,84	2,30
		0,76	756	0,0937	6,09	2,09
		0,71	786	0,1088	6,23	1,37
25	4	1,00	648	0	4,81	2,48
		0,95	665	0,0222	4,32	2,24
		0,90	685	0,0431	5,00	1,96
		0,85	705	0,0627	5,82	1,66
		0,80	732	0,0806	6,58	1,51
		0,75	761	0,0969	7,57	0,93
		0,74	766	0,1000	7,78	0,86
		0,73	775	0,1028	8,00	0,79
		0,72	781	0,1058	8,21	0,74
		0,71	785	0,1089	8,44	0,66

Таблица 1

Таблица 2

## Результаты стендовых испытаний комбинированного метода

Режим работы двигателя, % от максимальной мощности двигателя	Концентрация вредных веществ без изменения угла опережения впрыска топлива и рециркуляции ОГ, % об.		Концентрация вредных веществ с изменением угла опережения впрыска топлива и рециркуляцией ОГ, % об.	
	оксид углерода $CO$	оксины азота $NO_x$	оксид углерода $CO$	оксины азота $NO_x$
25	0,3021	0,0366	0,0151	0,0158
50	0,4752	0,0804	0,0563	0,0496
75	0,4953	0,0819	0,0762	0,0446
100	0,5467	0,0558	0,0804	0,0168

ЭВМ были получены результаты расчета, фрагмент которых приведен в табл. 1.

В ней представлена сложная зависимость многочисленных параметров и закономерность их изменения, позволяющая при соответствующем анализе рекомендовать оптимальный вариант, при котором достигается возможность работы двигателя с соответствующими регулировками в пределах допустимых норм по выбросу оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ), имея минимальные потери мощности и незначительное ухудшение топливной экономичности.

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что при уменьшении  $\theta$  до  $25^\circ$  (против установленных заводской регулировкой  $29^\circ$ ) и при соответствующей степени рециркуляции  $R^r = 0,10 \div 0,11$  можно было бы получить очень низкое содержание оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ) в отработавших газах ( $0,66 \div 0,86 \text{ г/м}^3$ ). Но при этом потеря мощности составила бы значительную величину  $7,8 \div 8,4\%$ , следовательно, должна резко снизиться топливная экономичность.

При полученных расчетных данных целесообразнее было бы выбрать вариант, при котором потери мощности менее значительны, а значения концентрации оксидов азота находились в допустимых пределах. Этому

соответствует уменьшение угла опережения впрыска топлива  $\Delta\theta = 4^\circ$ , степень рециркуляции  $R^r = 0,063$ , при потере мощности 5,82%.

Однако этот вариант был бы целесообразен при постоянной работе дизельной путевой машине в тоннеле. Так как в общем балансе времени она большую часть времени работает вне тоннеля, то рециркуляцию на этот период времени можно отключить, тем самым достигается минимальная потеря мощности при достаточном снижении концентрации  $NO_2$ .

Окончательно выбираем вариант  $\Delta\theta = 2^\circ$ ,  $R^r = 0,109$ ,  $(\frac{\Delta N}{N_e} \cdot 100) = 6,23\%$ ,  $K_{NO_x} = 1,37 \text{ г/м}^3$ . Таким образом, выбранные оптимальные расчетные параметры были рекомендованы к стендовым испытаниям.

Перед установкой дизельного двигателя на моторный стенд в соответствии с теоретическими расчетами был уменьшен угол опережения впрыска топлива на  $2^\circ$ . Перепуск отработавших газов из системы выпуска во впускной тракт двигателя осуществлялся с помощью дроссельной заслонки, установленной в соединительном тройнике выпускного патрубка. В соответствии с теоретическими расчетами производилась ре-

циркуляция отработавших газов в количестве до 10% от всего выброса на каждом режиме работы двигателя.

Анализ результатов стендовых исследований, приведенных в табл. 2, показывает, что на всех режимах работы дизельного двигателя содержание оксидов азота (в пересчете на  $NO_2$ ) и оксида углерода (средние значения по пятикратному отбору проб на каждом режиме) не превышало норм ПДК, которые составляют соответственно 0,05 и 0,08 об.%. При этом наблюдалась высокая степень очистки оксида углерода (до 95%) экспериментальным образцом катализитического нейтрализатора.

Таким образом, анализ результатов стендовых исследований показывает, что определенный теоретическим расчетом оптимальный вариант параметров комбинированного метода снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей при незначительном снижении мощности двигателей и их топливной экономичности позволяет снизить концентрацию оксидов азота на всех режимах до требуемых норм. Результаты стендовых испытаний позволяют рекомендовать комбинированный метод к промышленным испытаниям в реальных условиях эксплуатации карьерного транспорта.

□ Автор статьи:

Ибатов

Марат Кенесович

- канд. техн. наук, доц.

(Карагандинский государственный технический университет)