

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ ДВУКРАТНОГО ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА

Ивашенко Н.А., Кавтарадзе З.Р., Миронычев М.А.¹, Блинов А.Д.¹
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, ¹ОАО «ЗМЗ», г. Заволжье

Опыт как отечественных, так и зарубежных исследований показывает, что топливные системы с управляемой характеристикой впрыскивания являются эффективным средством снижения вредных выбросов и «жесткости» рабочего процесса сгорания в быстроходных дизелях. Двукратное впрыскивание давно известно как удачное средство снижения шума двигателя, а последнее время его стали использовать и в целях уменьшения вредных выбросов, в частности оксидов азота.

Целью данной работы являлся исследование возможностей снижения оксидов азота в выпускных газах быстроходного двигателя ЗМЗ-5148.10 ($S/D=94/87$ мм/мм) путем применения двукратного впрыскивания.

Следует подчеркнуть, что в литературе широкое распространение находит термин «Двухфазное впрыскивание», однако он в данном случае неудачен, т.к. ассоциируется с подачей топлива в виде двух фаз - различных агрегатных состояниях веществ, что подразумевает совершенно другую схему топливоподачи. Поэтому в дальнейшем будут использованы термины «многократное впрыскивание», «двукратное впрыскивание».

Численные эксперименты проводились с применением математической модели, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана [1,2]. При этом были исследованы различные характеристики (законы) впрыскивания: Двукратное впрыскивание с пилотным (предварительным) впрыскиванием, трехкратное впрыскивание с двойным предварительным впрыскиванием, двукратное впрыскивание с дополнительным впрыскиванием, двукратное разделенное впрыскивание, двухступенчатое впрыскивание [3,4].

Анализ проведенных численных экспериментов позволяет сделать вывод, что для двигателя ЗМЗ-5148.10 наиболее перспективным является применение двукратного впрыскивания с предварительным (пилотным) впрыскиванием. Моделирование других видов законов впрыскивания показало, что они уступают с точки зрения экологических характеристик (оксиды азота, шум от рабочего процесса). Увеличение дозы предварительного впрыскивания приводит к повышению тепловыделения в первой фазе сгорания, одновременно с этим уменьшается тепловыделение во второй фазе сгорания. Уменьшение дозы предварительного впрыскивания заметно снижает давления и температуру в цилиндре и способствует снижению $[NO_x]$. В связи с этим, было установлено, что на исследуемых режимах работы двигателя ЗМЗ-5148.10 оптимальная массовая доля пилотного впрыскивания составляет 6 % от основного впрыскивания.

Таблица 1

Содержание оксидов азота в ОГ дизельного двигателя ЗМЗ-5148.10

Параметр	Двукратное впрыскивание топлива; $\epsilon=19,5$; число и диаметр сопловых отверстий - $z_c=6$ и $d_c=0,17$ мм)												$\Delta\varphi_{впр}$, П.К.В	NO_x %
Φ , ° П.К.В.	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152		
NO_x, ppm ($N_{к.мах}=51,4$ кВт / 1900 мин ⁻¹ ; $q_{ц}=49$ мг/ц; $C_u \approx 4,56$ м/с; $Z_c=6$; $d_c=0,173$ $p_{впр\ max}=1000$ бар)	6	25	59	114	187	273	382	494	589	644	675	697	8	0%
	10	40	92	174	281	398	509	602	674	728	767	795	14	+14%
	6	23	53	100	162	231	317	442	546	596	623	640	-14	-8%
NO_x, ppm ($N_{ном}=96$ кВт / 4000 мин ⁻¹ ; $q_{ц}=49$ мг/ц; $C_u \approx 15,67$ м/с; $Z_c=6$; $d_c=0,173$ $p_{впр\ max}=1500$ бар)	3	12	30	60	102	156	232	329	390	428	452	470	8	0%
	7	25	57	105	168	235	297	352	400	435	458	475	14	-1%
	8	32	72	134	214	302	397	485	566	619	649	668	-14	+42%

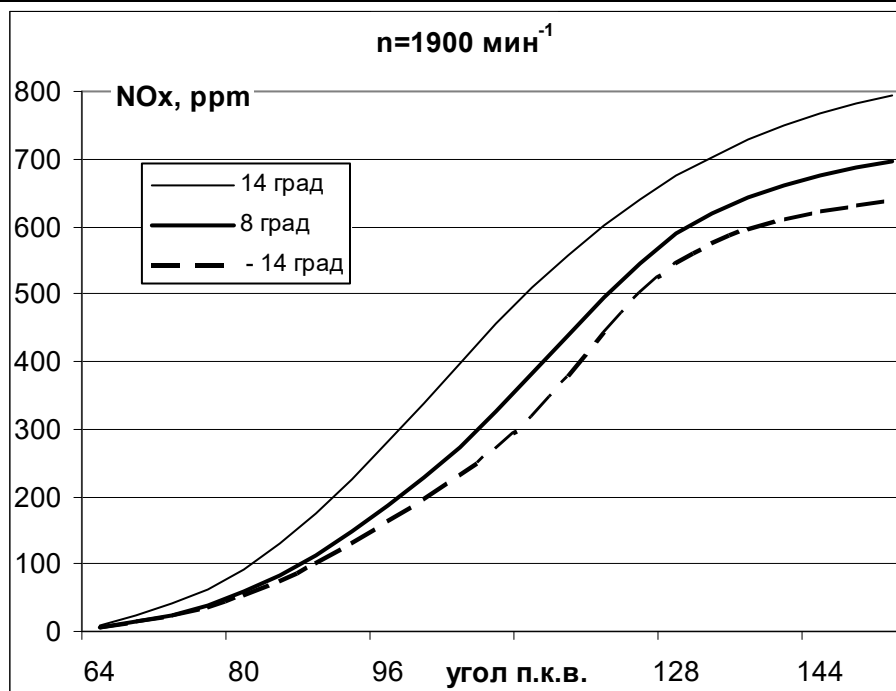


Рис.1. Влияние продолжительности (в градусах у.п.к.в.) между предварительным и основным впрыскиванием на изменение концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля ЗМЗ-5148.10 ($N_{к.мах}=51,4$ кВт)

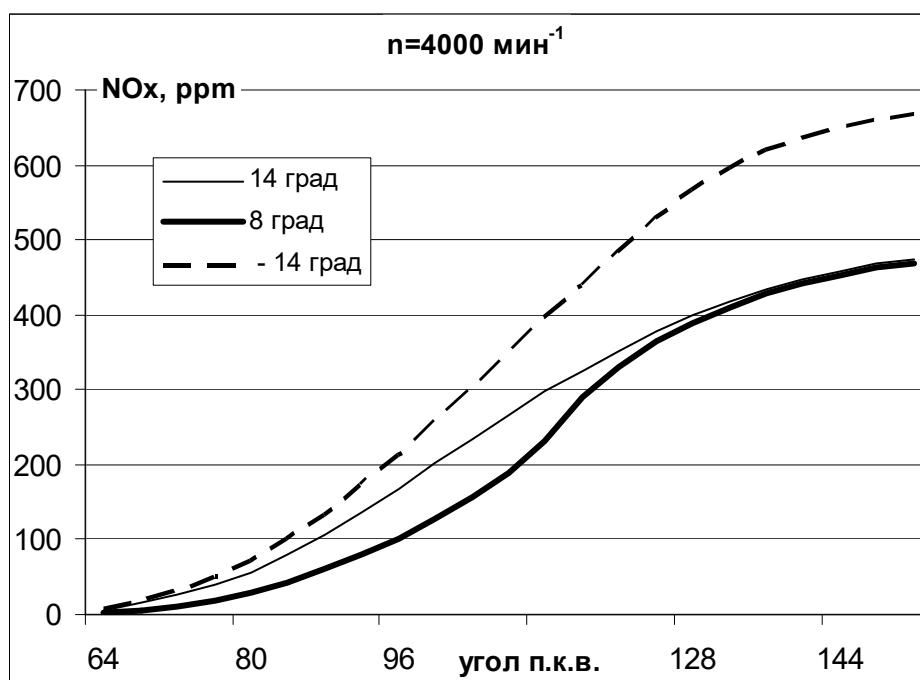


Рис.2. Влияние продолжительности (в градусах у.п.к.в.) между предварительным и основным впрыскиванием на изменение концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля ЗМЗ-5148.10 ($N_{ном}=96$ кВт)

В таблице 1 и на рисунках 1 и 2 приведены результаты численных экспериментов, проведенных в целях определения оптимальной продолжительности между предварительным и основным впрыскиванием для дизеля ЗМЗ-5148.10. Значение $\Delta\varphi_{впр} = -14^\circ$ означает, что рассматривается двукратное впрыскивание, при котором сначала впрыскивается основная доля цикловой подачи, а через 14° – дополнительная доля. Соотношение между долями такое же, что и при пилотном впрыскивании.

Как видно, для данных режимов работы оптимальный интервал составляет $\Delta\varphi_{впр} = 8^\circ$. На частичном режиме $n=1900 \text{ мин}^{-1}$ дополнительное впрыскивание приводит к небольшому снижению концентрации оксидов азота, но одновременно к ее значительному увеличению на номинальном режиме работы двигателя (рис.1 и рис.2). Это объясняется спецификой двукратного впрыскивания, в частности тем, что предварительное впрыскивание более эффективно при высоких нагрузках [5]. С уменьшением нагрузки абсолютная доза предварительного впрыскивания уменьшается, и тепловыделение от первой фазы сгорания становится практически незаметным.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Система Common Rail в условиях работы на дизеле ЗМЗ-5148.10 без формирования оптимальных долей в двукратном впрыскивании не

имеет явных преимуществ перед системой с ТНВД VE, применяемой на двигателе ЗМЗ-5145.10, с точки зрения компромисса между g_e и $[NO_x]$.

2. Оптимальным для дизеля ЗМЗ-5148.10 при $p_{впр} = 1500$ бар (на номинальном режиме $N_e = 96$ кВт) является осуществление двукратного впрыскивания, при котором массовая доля предварительного впрыскивания составляет 6 % от основного впрыскивания с интервалом между ними, равном 8° по углу поворота коленчатого вала.

3. Установленный оптимальный закон впрыскивания при базовом варианте форсунки ($d_c = 0,17$ мм) с учетом прогнозируемой интенсивности закрутки воздуха при впуске приводит к следующим суммарным значениям $[NO_x]$ в продуктах сгорания двигателя ЗМЗ-5148.10: $[NO_x] = 470$ ppm на номинальном режиме, и $[NO_x] = 697$ ppm – на режиме максимального крутящего момента. Дальнейшее снижение $[NO_x]$ на режиме максимального крутящего момента может быть достигнуто путем регулирования давления впрыскивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко Н.А., Кавтарадзе Р.З., Голосов А.С., Кавтарадзе З.Р., Скрипник А.А. Метод расчета локальных концентраций оксидов азота в поршневых двигателях с внутренним смесеобразованием на основе многозонной модели. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». №1, 2004. С. 43-59.

2. Голосов А.С., Кавтарадзе З.Р., Онищенко Д.О., Скрипник А.А. Расчетно-экспериментальное исследование локальных температур и локальных концентраций оксидов азота в камере сгорания дизеля. Труды III Российской национальной конференции по теплообмену. Том 8. Москва, изд-во МЭИ, 2002. С. 114-117.

3. Иващенко Н.А., Миронычев М.А., Блинов А.Д., Кавтарадзе З.Р. Расчетно-экспериментальное исследование концентраций оксидов азота в выпускных газах дизельного двигателя ЗМЗ-5145.10. Известия Волгоградского ГТУ. Серия «Транспортные наземные системы». Выпуск 1, № 3. 2004. С. 3-7.

4. Разработка многозонной модели рабочего процесса дизеля ЗМЗ-5148.10 с аккумуляторной системой для многофазного впрыска топлива и согласование ее работы с регулируемой системой впуска-выпуска и рециркуляции охлаждаемых ОГ: Отчеты ООО «ОЗИЦ» по этапам 2-4 договора № 01/02. Орехово-Зуево, 2003. ОАО «ЗМЗ», Арх. №№ 7530, 7628, 7642.

5. Chmela F.G., Jager P., Herzog P., Wirbeleit F. Emissionsverbesserung mit Direkteinspritzung mittels Einspritzverlaufsformung. MTZ, N 9. 1999. S. 552-558.