

УДК 621.436.068

Б.Н. Азаматов, А.Е. Бакланов, Д.Н. Титов

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

А.А. Мельберт

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

**ВОЗМОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЕЙ**

На созданной математической модели процессов образования вредных веществ в цилиндре дизеля изучено влияние угла опережения начала подачи топлива, продолжительность подачи топлива, разрежения на впуске и противодействия на выпуске, температуры охлаждающей жидкости и других параметров на результирующие выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

Ранее была разработана математическая модель образования вредных веществ в цилиндре дизелей. Она позволяет заменить дорогостоящие длительные экспериментальные работы по определению влияния актуальных параметров на образования вредных веществ математическим моделированием [1].

Исходя из ранее проведенных экспериментальных работ [2], были определены отдельные направления математического моделирования процессов образования оксидов азота NO_x , углеводородов, оксидов углерода CO , твердых частиц (ТЧ) при изменении следующих параметров [3]:

- угла опережения начала подачи топлива θ , град. п.к.в до ВМТ;
- продолжительности подачи топлива по углу поворота коленчатого вала $\phi_{\text{вп.}}$, град. п.к.в.;
- разрежения на впуске $\Delta P_{\text{вп.}}$, мм.вод.ст.;
- противодействия на выпуске $\Delta P_{\text{вып.}}$, мм вод.ст.;
- температуры охлаждающей жидкости $t_{\text{охл.}}$, °С.;
- величины начала давления впрыска $P_{\text{в}}$, кПа;
- температуры воздуха после компрессора $T_{\text{к}}$, К;
- давления надувочного воздуха $P_{\text{к}}$, МПа;
- нагрузки $P_{\text{с}}$, МПа;
- частоты вращения коленчатого вала n , мин⁻¹.

Попытки моделирования на выбранной модели добавления топлива антидымных присадок, изменения угара масла, изменения цетанового числа топлива путем введения дополнительных расчетных блоков не увенчались успехом. Поэтому в настоящем исследовании сведения о них ограничены экспериментальными данными.

Настройка модели проводилась по индикаторным диаграммам, полученным в ходе экспериментальных исследований.

Далее приведены фрагменты моделирования и сравнения результатов с экспериментальными данными.

Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18 при изменении угла θ град. п.к.в до ВМТ свидетельствует о том, что при увеличении угла опережения начала подачи топлива наблюдается увеличение выбросов оксидов азота с 1,657 до 2,24 г/м³, снижение выбросов CO – с 1,611 до 1,420 г/м³, приходится наблюдать снижение выбросов CH с 0,20 до 0,221 г/м³, выбросы ТЧ (только сажа) – с 0,265 до 0,247 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NO_x – на + 11...+ 12 %, по CO – на

+ 5,5...+ 6 %, по СН на – 3,1...3,0 %, по ТЧ – на – 37...– 35 %. Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

*Расчеты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18
при изменении угла опережения начала подачи топлива*

№ шп	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	29	1,657	1,611	0,260	0,265	1,481	1,520	0,268	0,42
2	30,5	1,920	1,526	0,234	0,256	1,715	1,440	0,241	0,40
3	33	2,240	1,420	0,221	0,247	2,00	1,340	0,298	0,38

В табл. 2 приведены результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18 при изменении продолжительности впрыска топлива.

Таблица 2

*Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18
при изменении продолжительности впрыска топлива*

№ шп	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	35	3,136	1,431	0,557	0,235	2,800	1,349	0,581	0,62
2	30	3,472	1,388	0,470	0,221	3,100	1,309	0,49	0,46
3	25	4,536	1,378	0,354	0,195	4,05	1,300	0,369	0,31

В результате моделирования обнаружено, что при изменении продолжительности впрыска топлива выбросы оксидов азота увеличиваются с 3,136 до 4,536 г/м³, выбросы СО снижаются с 1,431 до 1,378 г/м³, выбросы углеводородов СН снижаются с 0,557 до 0,354 г/м³, выбросы ТЧ (сажа) снижаются с 0,235 до 0,105 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NOx – на + 12...– 13 %, по СО – на + 6 %, по СН – на – 3 %, по ТЧ – на 38...40 %.

Последнее объясняется тем, что при моделировании процесса идет только расчет образования и выгорания сажи топливного происхождения, тогда как на выпуске на фильтры дымомера попадают все частицы, образовавшиеся в цилиндре.

Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18 при изменении разрежения на впуске свидетельствуют о том, что при увеличении разрежения со 100 до 500 мм вод. ст. наблюдается снижение выбросов оксидов азота с 1,721 до 1,501 г/м³, увеличение выбросов СО с 0,593 до 0,631 г/м³, выбросы углеводородов СН увеличиваются с 0,154 до 0,161 г/м³, выбросы ТЧ возрастают с 0,258 до 0,285 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NOx – на 11...12 %, по СО – на 6 %, по СН – на 3...4 %, по ТЧ – на 27...28 %.

В табл. 3 приведены результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18 при изменении противодавления на впуске.

Таблица 3

Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18

при изменении разрежения на впуске

№ п/п	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	100	1,721	0,593	0,154	0,258	1,54	0,560	0,166	0,41
2	300	1,557	0,614	0,151	0,277	1,39	0,579	0,162	0,44
3	500	1,501	0,631	0,161	0,285	1,34	0,595	0,168	0,46

Результаты моделирования вредных выбросов при изменении противодавления на выпуске приведены в таблице 4.

Таблица 4

*Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 6 ЧН 15/18
при изменении противодавления на выпуске*

№ п/п	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	350	1,721	0,593	0,154	0,290	1,54	0,569	0,166	0,41
2	700	1,800	0,585	0,131	0,277	1,62	0,563	0,138	0,46
3	1400	1,845	0,566	0,117	0,309	1,63	0,540	0,115	0,52

В результате моделирования обнаружено, что при изменении $\Delta P_{\text{вып}}$ с 350 до 1400 мм вод.ст. выбросы оксидов азота увеличиваются с 1,721 до 1,845 г/м³, выбросы CO снижаются с 0,593 до 0,566 г/м³, выбросы углеводородов CH снижаются с 0,154 до 0,117 г/м³, выбросы ТЧ (сажа) возрастают с 0,290 до 0,309 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NOx – на 11,7...12 %, по CO – на 3...4 %, по CH – на 2...3 %, по ТЧ – на 29...31 % вследствие того, что расчеты велись лишь для сажи топливного происхождения.

Несомненный интерес вызывают данные о влиянии температуры охлаждающей жидкости на уровне вредных выбросов с отработавшими газами, приведенные по данным математического моделирования и эксперимента в табл. 5.

Таблица 5

*Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18
при изменении температуры охлаждающей жидкости*

№ п/п	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	90	6,653	1,375	0,359	0,234	5,94	1,310	0,37	0,35
2	80	5,950	1,390	0,460	0,258	5,41	1,340	0,49	0,41
3	70	5,598	1,460	0,56	0,277	5,136	1,360	0,59	0,47

Результаты моделирования вредных выбросов дизелей 4 ЧН 15/18 при изменении температуры охлаждающей жидкости свидетельствуют о том, что при увеличении $t_{\text{охл}}$ с 70 до 90 °C наблюдается рост выбросов оксидов азота с 5,598 до 6,653 г/м³, снижение выбросов

СО с 1,46 до 1,375 г/м³, выбросы ТЧ падают по саже с 0,277 до 0,234 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NO_x – на 9...12 %, по СО – на 5...7 %, по СН – на 3...5 %, по ТЧ – на 23...31 %.

В таблице 6 приведены результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18 при изменении давления впрыска.

В результате моделирования обнаружено, что при изменении Р_в с 185 до 140 кПа выбросы оксидов азота падают с 5,93 до 4,37 г/м³, выбросы СО возрастают с 4,22 до 6,82 г/м³, выбросы углеводородов СН возрастают с 0,026 до 0,065 г/м³, выбросы ТЧ возрастают с 0,236 до 0,495 г/м³. При уменьшении Р_в до 1500 кПа прогнозируется изменение выбросов оксидов азота до 2,43 г/м³, оксида углерода – до 0,72 г/м³, углеводородов до 0,24 г/м³, твердых частиц – до 0,02 г/м³.

Здесь не моделировался закон впрыска по «Common Rail», а лишь принималось значение давления впрыска.

Таблица 6
Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18
при изменении давления впрыска

№ пп	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		С _{NO_x}	С _{СО}	С _{СН}	С _{ТЧ} сажа	С _{NO_x}	С _{СО}	С _{СН}	С _{ТЧ} все частицы ОГ
1	185	5,929	4,22	0,026	0,236	5,44	3,88	0,028	0,35
2	160	4,928	4,92	0,046	0,39	4,48	4,64	0,048	0,62
3	140	4,369	6,82	0,065	0,495	4,009	6,49	0,067	0,75
4	1500	12,643	2,01	0,003	0,02	-	-	-	-

Таблица 7
Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18
при изменении температуры воздуха после турбокомпрессора

№ пп	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		С _{NO_x}	С _{СО}	С _{СН}	С _{ТЧ} сажа	С _{NO_x}	С _{СО}	С _{СН}	С _{ТЧ} все частицы ОГ
1	383	3,23	2,809	0,276	0,026	2,96	2,65	0,285	0,039
2	343	2,614	2,373	0,593	0,025	2,42	2,26	0,612	0,036
3	303	2,376	1,903	0,677	0,023	2,18	1,83	0,720	0,033

Результаты моделирования вредных выбросов дизелей 4 ЧН 15/18 при изменении температуры воздуха после турбокомпрессора свидетельствует о том, что при снижении Т_к с 383 до 303 К наблюдается снижение выбросов оксидов азота с 3,23 до 2,37 г/м³, снижение выбросов СО с 2,809 до 1,903 г/м³, выбросы углеводородов СН увеличиваются с 0,276 до 0,677 г/м³, выбросы ТЧ снижаются с 0,026 до 0,023 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NO_x – на 8...9 %, по СО – на 4...6 %, по СН – на 3...4 %, по ТЧ – на 30...33 %. Результаты сведены в таблицу 7.

В таблице 8 приведены результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18 при изменении степени сжатия.

Таблица 8
Результаты моделирования вредных выбросов дизеля 4 ЧН 15/18
при изменении степени сжатия

№ пп	Значение угла θ град. п.к.в до ВМТ	Расчетные данные, г/м ³				Экспериментальные данные, г/м ³			
		C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} сажа	C _{NOx}	C _{CO}	C _{CH}	C _{ТЧ} все частицы ОГ
1	13,5	3,915	3,62	0,562	0,028	2,925	3,48	0,346	0,045
2	14,5	3,729	3,34	0,530	0,027	3,390	3,15	0,510	0,042
3	15,5	6,00	2,96	0,418	0,025	5,505	2,82	0,402	0,039

В результате моделирования обнаружено, что при увеличении ϵ с 13,5 до 15,5 выбросы оксидов азота возрастают с 3,915 до 6,00 г/м³, выбросы CO снижаются с 3,62 до 2,96 г/м³, выбросы углеводородов CH снижаются с 0,562 до 0,418 г/м³, выбросы ТЧ снижаются с 0,028 до 0,025 г/м³. Экспериментальные данные отличаются от расчетных: по NOx – на 9...10 %, по CO – на 4...6 %, по CH – на 3...4 %, по ТЧ – на 34...36 %.

Результаты моделирования позволяют проследить тенденции уменьшения уровней вредных выбросов дизелей с отработавшими газами при изменении отдельных параметров.

Список литературы

1. Алексенко С.И. Математическое моделирование и исследование процессов в ДВС: Учеб. пособие / С.И. Алексенко, В.В Арапов, В.С Бабкин и др.; Под ред. В.А Вагнер, Н.А. Иващенко, В.Ю. Русакова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 198 с.
2. Новоселов А.Л. Снижение вредных выбросов дизелей/ А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 139 с.
3. Новоселов А.Л. Основы инженерной экологии в двигателестроении / А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, С.Л. Беседин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1993. – 98 с.

Получено 25.11.2010

УДК 005.591.6:621.31.22

Ж.К. Азаматова, Б.Н. Азаматов
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОЦИКЛОНОВ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Проблема инженерной защиты атмосферного воздуха от техногенных выбросов промышленных предприятий в мире и в России чрезвычайно актуальна. По данным ООН ежегодно в атмосферу выбрасывается 2,5 млн т пыли. По прогнозам министерства природных ресурсов с 2030 года первенство в топливно-энергетическом балансе займут уголь и атомная энергетика, что потребует конструктивного и технологического совершенствования пылеочистного оборудования.

В отечественной промышленности для очистки газа от пыли в основном используются низкоэффективные, малопроизводительные циклоны. Высокую эффективность очистки могут обеспечить высокопроизводительные прямоточные циклоны с изменяемой геометрией, основными преимуществами которых являются: возможность стабильного и эффективного разделения в широком диапазоне варьирования расхода газа и концентрации пыли при сравнительно небольшом гидравлическом сопротивлении.

Гидроциклон – аппарат, предназначенный для обесшламливания, сгущения шламов и продуктов флотации, осветления оборотных вод, классификации рудной пульпы в стадиях тонкого измельчения в замкнутом цикле с шаровыми мельницами и обогащения тонких фракций угля и руд в водной среде и тяжелых суспензиях в центробежном поле, соз-