

УДК 62-144:614.72

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ ПУТЁМ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ

И.Ф. Гумеров, к.т.н. / Р.Х. Хафизов / Е.Р. Борисенков / С.М. Кучев, ОАО «КамАЗ»,
В.В. Румянцев, к.т.н., ПФУ, г. Набережные Челны

Актуальными вопросами повышения качества жизни населения продиктовано принятие федеральных законов «О техническом регулировании», «Об охране атмосферного воздуха», «О защите прав потребителей» и других правовых актов, а также Соглашения о принятии единообразных технических предписаний для колёсных транспортных средств, предметов оборудования и частей, которые могут быть установлены или использованы на колёсных транспортных средствах, и об условиях взаимного признания официальных утверждений, выдаваемых на основе этих предписаний, подписанного в Женеве в 1958 г. по экологическим показателям (ЭП) отработавших газов (ОГ) автомобильных двигателей.

Известно, что ЭП дизельных двигателей регламентируются в Европе специальными Директивами или Правилами ЕЭК ООН № 49 с соответствующими поправками и дополнениями. В настоящее время на базе этих Правил с поправками серии 05 к Правилам № 49-05 действует технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ», который с последними изменениями, внесёнными Постановлением Правительства РФ от 20 января 2012 г. № 2, определяет ЭП с ОГ двигателей как «экологический класс» – ЭК (соответствующий показатель «Евро» [1, 2]) и устанавливает уровень требований по следующим компонентам выбросов вредных (загрязняющих) веществ (ВВВ), удельными значениями которых оцениваются ОГ:

- СО – оксид углерода;
- СmНn – углеводороды;
- NOx – оксиды азота;
- РТ – дисперсные (твёрдые) частицы.

Таблица 1. Даты введения и сроки действия норм требований Правил № 49-05

Технический регламент (Правила № 49-05)	Европа	РФ
	Срок введения	
ЭК-4 (Евро-4)	С 9 ноября 2006 г.	С 1 января 2013 г.
ЭК-5 (Евро-5)	С 1 октября 2008 г.	С 1 января 2016 г.

Эти регламентированные компоненты определены как особо вредные составляющие в ОГ для дизелей не только в Европе, но и в остальном мире. Поэтому уровень ВВВ с ОГ следует рассматривать как качественный показатель совершенства дизеля или использующего этот двигатель автомобиля в целом, то есть их можно считать экологическим показателем качества – ЭПК. При этом следует подчеркнуть, что методики испытаний по оценке указанных параметров в США и Японии отличаются от принятых в Европе, из-за чего однозначно сравнивать удельные показатели, полученные по разным методикам, некорректно.

В связи со спецификой экономических и природных условий даты введения и сроки действия требований ЭК к транспортным средствам (ТС) в Российской Федерации несколько отличаются от аналогичных показателей в европейских странах. Они установлены вышеназванным техническим регламентом (табл. 1).

Выполнение норм требований Правил № 49-05 технического регламента – это обязательное в России условие для всех коммерческих ТС с двигателями с воспламенением от сжатия и газовыми двигателями. В то же время этот регламент разрешает применение в Российской Федерации Правил № 96-02 для грузовых автомобилей повышенной проходимости. Следует отметить, что методики проведения испытаний по этим двум Правилам существенно отличаются. Для сравнения в табл. 2 приведены нормы ВВВ с ОГ по Правилам №№ 49-05 по стационарному циклу (ESC) и 96-02 для ЭК-4.

Как видно из таблицы, определённые сложности могут возникнуть при достижении норм требований Правил № 96-02 по сумме компонентов СmНn + NOx, так как условия их образования отличаются, но при этом существенно ниже значение показателя по РТ – одного из параметров, характеризующих оптимальность организации рабочих процессов двигателя.

Изучению влияния различных факторов на ЭП с ОГ дизелей посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов [3–7 и др.]. В то же время

Таблица 2. Значения ВВВ с ОГ по Правилам №№ 49-05 и 96-02 для ЭК-4

Варианты Правил ЕЭК ООН	CO	CmHn	NOx	PT
	г/кВт/час			
Правила № 49-05	1,5	0,46	3,5	0,02
Правила № 96-02	3,5	4,0		0,2

Таблица 3. Сравнение результатов испытаний двигателя КамАЗ с вариантами ТА по циклу ESC

Вариант ТА	Pmax впр., бар	CO	CmHn	NOx	PT	ge min	ge ном
		г/кВт/час				%	
P7100	1200	0,58	0,19	4,89	0,094	100	100
CR	1600	0,80	0,20	11,11	0,017	96	91

Таблица 4. Результаты сравнительных испытаний двигателя КамАЗ ТКР с вариантами корпусов турбины по циклу ESC

Вариант корпуса турбины	CO	CmHn	NOx	PT	Gв ном	ge ном
	г/кВт/час				%	
A/R-0,76	0,79	0,21	5,87	0,083	100	100
A/R-0,85	0,92	0,22	5,83	0,088	96	101
A/R-1,00	1,06	0,26	5,78	0,104	92	102

эти исследования можно разделить по определённым факторам на два основных направления. Первое – снижение ВВВ с ОГ за счёт внутренних резервов:

- совершенствования рабочих процессов путём применения топливных аппаратур с высоким давлением и многофазным впрыскиванием топлива при помощи многосопловых распылителей;
- применения высокоэффективной системы наддува с охлаждением наддувочного воздуха;
- регулирования систем питания топливом и воздухом, в том числе рециркуляции ОГ, и управления ими.

Второе направление – применение внешней системы обработки (нейтрализации) ОГ.

Для целенаправленной постановки задач исследований необходимо представление об условиях образования этих компонентов. Принято многими учёными и исследователями, теоретически и экспериментально подтверждено, что, за исключением NOx, остальные составляющие являются результатом неполного сгорания топливовоздушной смеси – несгоревшими продуктами.

В доказательство этого можно привести сравнение результатов испытаний двигателя КамАЗ с вариантами топливных аппаратур (ТА), а также с турбокомпрессорами (ТКР) с тремя вариантами корпусов турбины с одинаковым общим уровнем КПД (табл. 3 и 4).

Общепризнанный характер имеет сравнение результатов испытаний двигателя с вариантами традиционной рядной ТА типа P7100 и аккумуляторного

типа – Common Rail (CR) фирмы Bosch. С повышением эффективности сгорания снижаются с ОГ выбросы CO, CmHn, PT, а также удельный расход топлива – минимальный (ge min) и в режиме номинальной мощности (ge ном), то есть практически по всей внешней характеристике двигателя, при этом несколько возрастают выбросы NOx, что говорит об ином характере образования указанного компонента (табл. 4).

Подобный результат дают также сравнительные испытания двигателя с вариантами корпусов турбины. Увеличение расхода воздуха (Gв ном) при снижении пропускной способности корпуса турбины (A/R) приводит к сокращению удельных выбросов ЭП по продуктам неполного сгорания (CO, CmHn, PT), уменьшается также и удельный расход топлива – это и есть показатель качества дизеля – его условный КПД (табл. 4).

Из представленных в табл. 3 и 4 данных следует, что результатом оптимизации рабочих процессов двигателя является не только снижение уровня ВВВ с ОГ по трём компонентам, но и улучшение топливной экономичности, то есть повышение общего уровня качества двигателя.

С точки зрения влияния на уровень ВВВ с ОГ процессы регулирования и управления неоднозначны. Например, регулирование давления наддувочного воздуха для двигателей КамАЗ с номинальной частотой вращения коленчатого вала 1900 об/мин⁻¹ не имеет большого эффекта на ЭП из-за ограниченного диапазона регулирования при испытаниях по Пра-

Таблица 5. Результаты оценки ВВВ с ОГ двигателя КамАЗ с регулированием давления наддувочного воздуха путём перепуска ОГ мимо турбины и без перепуска по циклу ESC

Варианты испытаний	CO, г/кВт/час	СmHn, г/кВт/час	NOx, г/кВт/час	PT, г/кВт/час
Без перепуска	0,23	0,21	10,69	0,018
С перепуском	0,25	0,22	10,53	0,018

Таблица 6. Сравнительные значения по ЭП двигателя КамАЗ с различными вариантами давления топлива в аккумуляторе по циклу ESC

Давление топлива в аккумулят., бар	CO, г/кВт/час	СmHn, г/кВт/час	NOx, г/кВт/час	PT, г/кВт/час
1600	0,70	0,14	9,51	0,011
1800	0,74	0,14	10,58	0,006

Таблица 7. Результаты испытаний двигателя КамАЗ с системой SCR и опытным вариантом системы рециркуляции по циклу ESC

Варианты испытаний	CO	СmHn	NOx	PT
	г/кВт/час			
Без нейтрализации	0,35	0,20	10,04	0,010
С системой SCR	0,36	0,06	2,94	0,009
С рецир. 2... 12,9%	0,80	0,19	6,79	0,024

вилам № 49-05. А управление началом впрыскивания и давлением топлива в аккумуляторной системе типа CR значительно влияет на все регламентированные компоненты в ОГ (табл. 5 и 6).

Особо опасными с точки зрения влияния на человека и окружающую среду считаются выбросы NOx и PT, эти же компоненты являются сложными и затратными в процессе их нейтрализации.

Общепризнанны два метода снижения выбросов NOx:

- применение для обработки ОГ селективной системы нейтрализации при помощи раствора мочевины (AdBlue) – типа SCR;
- рециркуляция ОГ – метод возврата части ОГ во впускную систему.

На КамАЗе для двигателей ЭК-4 и ЭК-5 применяется система SCR. Результаты испытаний двигателя с системой SCR и опытным вариантом системы рециркуляции приведены в табл. 7.

Выполнение требований по выбросам PT для двигателей ЭК-4 и ЭК-5 обычно обеспечивают оптимизацией рабочих процессов за счёт применения ТА с давлением впрыскивания 1600–1800 бар и высокоэффективной системы турбонаддува с охлаждением наддувочного воздуха, а также повышением качества цилиндра-поршневой группы, то есть путём снижения расхода масла на угар, что также достигнуто и на двигателях КамАЗ уровня Евро-4.

Общий анализ вышеприведённых результатов даёт возможность ещё раз подтвердить, что снижение ВВВ с ОГ, то есть повышение экологического уровня двигателя за счёт снижения выбросов регла-

ментированных компонентов в ОГ с одновременным ростом топливной экономичности, – это и есть направление комплексного улучшения экологических показателей качества и дальнейшего развития двигателей КамАЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правила ЕЭК ООН № 49-05. «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе, и транспортных средств, оснащённых двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на сжиженном нефтяном газе, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ».
2. Правила ЕЭК ООН № 96-02. «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных тракторах и внедорожной технике в отношении выброса загрязняющих веществ этими двигателями».
3. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.
4. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
5. Новиков Л.А. Анализ потенциала модернизации дизелей семейства ЧН21/21 для достижения действующих норм вредных выбросов // Двигателестроение. – 2011. – № 4 (246). – С. 31–38.
6. Мельник Г.В. Технологии снижения вредных выбросов дизелей. Состояние и перспективы развития. По материалам конгресса СИМАС-2010 // Двигателестроение. – 2011. – № 4 (246). – С. 48–56.
7. Мельник Г.В. Тенденции развития двигателестроения за рубежом. По материалам конгресса СИМАС // Двигателестроение. – 2012. – № 2 (248). – С. 39–53.