

УДК 629.113

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА

И.Ф. Гумеров, к.т.н. / Д.Х. Валеев, к.т.н. / Ф.Ф. Искандаров / Р.Х. Хафизов / А.С. Куликов / С.М. Кучев / А.И. Фардеев / Е.Р. Борисенков
НТЦ ОАО «КАМАЗ»

Н.А. Гатауллин, к.т.н. / КГТУ им. А.Н. Туполева

В соответствии с Техническим регламентом «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» [1] (далее — технический регламент) ОАО «КАМАЗ» с 2008 года приступил к выпуску автомобильной техники 3-го экологического класса. Автомобили и шасси КАМАЗ стали комплектоваться дизелями, сертифицированными на соответствие требованиям Правил № 49-04А (ЕВРО-3) и № 96-01 ЕЭК ООН.

В настоящее время серийно выпускаемые дизели КАМАЗ уровня ЕВРО-3 отличаются применяемыми в их конструкции системами топливоподачи:

- с V-образной топливной аппаратурой (далее — ТА) производства ОАО «ЯЗДА» типа 337-23 и электронным регулятором частоты вращения (рис. 1), диапазон полезной мощности двигателей 176÷265 кВт (240÷360 л.с.);
- с рядной ТА производства фирмы «БОШ» типа P7100 и электронным регулятором частоты вращения (рис. 2), диапазон полезной мощности двигателей 176÷294 кВт (240÷400 л.с.);
- с аккумуляторной системой топливоподачи типа «Common Rail» фирмы «БОШ» (далее — «CR») и электронной системой управления (рис. 3), диапазон полезной мощности двигателей 176÷309 кВт (240÷420 л.с.).

Преимущества систем топливоподачи типа «CR», максимально расширяющих возможности управления рабочим процессом дизелей, широко известны [2, 3]. Применение на семействе дизелей КАМАЗ

уровня ЕВРО-3 компонентов системы топливоподачи «CR» фирмы «БОШ» (насос высокого давления типа CP3.4, инжектор типа CRIN2, электронный блок управления EDC7UC31) позволило не только расширить мощностной диапазон двигателей до 420 л.с., но и снизить удельный расход топлива (табл. 1).

Дизели КАМАЗ семейства ЕВРО-3 по исполнению системы турбонаддува имеют следующие варианты установок:

- два турбокомпрессора типа: S2B фирмы «Borg Warner Turbo System» (далее — «BWTS») или ТКР7С-6 производства ОАО «КАМАЗ»;
- один турбокомпрессор типа S300G фирмы «BWTS».

Технические характеристики двигателей КАМАЗ уровня ЕВРО-3: мощность 240...420 л.с., максимальный крутящий момент 100...190 кгс·м, расход масла на угар не более 0,1% от расхода топлива. В табл. 2 приведены мощностные параметры семейства дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-3.

Ресурс серийных дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-3 составляет 800 тыс. км пробега автомобиля в услови-

Таблица 1. Технические характеристики дизелей КАМАЗ с вариантами ТА

Тип ТА	P _{max} вл. Бар	g _{emín}	геном	Мкр.мах	Мкр.ном
		г/л.с.·ч		кгс·м	
P7100	1200	156	184	161	141
CR	1600	150	167	163	143

Таблица 2. Технические характеристики дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-3

Модель	Параметры					
	Тип	DxS, мм	Рабочий объем, л	пном, мин-1	Ne, л.с.	Мкр.мах, кгс-м
740.64-420	V-8	120x130	11,76	1900	420	190
740.63-400					400	180
740.60-360					360	160
740.61-320					320	140
740.62-280					280	120
740.65-240					240	100

ях первой категории эксплуатации. Что обусловлено, в первую очередь, изменением конструкции деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), а именно, применением:

- гильз цилиндров из специального серого легированного чугуна и низкой маслосемкостью рабочей поверхности;
- верхних компрессионных колец с хромоалмазным покрытием рабочей поверхности повышенной износостойкости, имеющих в сечении форму двусторонней трапеции с углом 15°, рабочая поверхность кольца — смещенная к нижнему торцу бочка;
- вторых компрессионных колец — «минутных» из серого специального чугуна, без износостойкого покрытия;
- маслосъемных колец высотой 3 мм, улучшенной приспособляемости к гильзе цилиндров за счет уменьшения радиальной толщины.

Применение указанного комплекта ЦПГ, позволяет обеспечить расход масла на угар не более 0,1% от расхода топлива, что, в свою очередь, способствует выполнению технического норматива на выброс твердых частиц с отработавшими газами дизелей КАМАЗ.

Снижение номинальной частоты вращения дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-3, в сравнении с двигателями уровня ЕВРО-2, с 2200 мин⁻¹ до 1900 мин⁻¹, в сочетании с применением электронной системы управления нагрузочно-скоростными режимами работы двигателя — эффективные технические решения, обеспечивающие вышеуказанный ресурс дизелей ЕВРО-3.

Следующий этап развития двигателей КАМАЗ — создание конкурентоспособных дизелей уровня ЕВРО-4 (рис. 4).

Разработка проведена на базе двигателя ЕВРО-3 с топливной аппаратурой «CR», что позволило снизить объем необходимых инвестиций для технологической подготовки производства.

Выполнение технического норматива по выбросам частиц у семейства дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-4

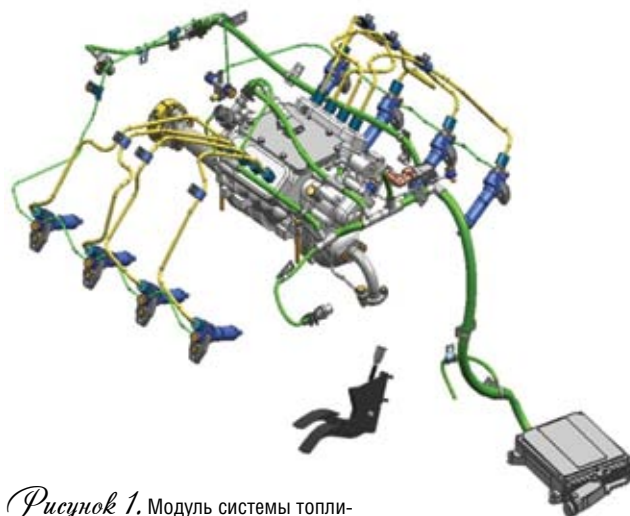


Рисунок 1. Модуль системы топливоподачи на базе ТНВД ОАО «ЯЗДА» с электронным регулятором

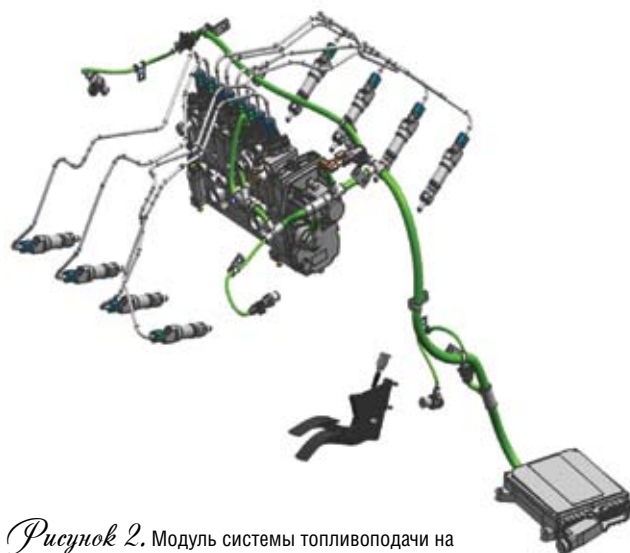


Рисунок 2. Модуль системы топливоподачи на базе ТНВД фирмы «БОШ» с электронным регулятором

Таблица 3. Технические характеристики дизелей КАМАЗ уровня Евро-4

Модель	Параметры					
	Тип	DxS, мм	Рабочий объем, л	пном, мин-1	№, л.с.	Мкр.тах, кгс-м
740.75-440	V-8	120x130	11,76	1900	440	210
740.74-420					420	190
740.73-400					400	180
740.72-360					360	160
740.71-320					320	140
740.70-280					280	120

Таблица 4. Технические характеристики дизелей КАМАЗ уровня Евро-5

Модель	Параметры					
	Тип	DxS, мм	Рабочий объем, л	пном, мин-1	№, л.с.	Мкр.тах, кгс-м
750.10-500	V-8	120x130	11,76	1900	500	230
750.11-460					460	210
750.12-420					420	200
750.13-380					380	180
750.14-340					340	160

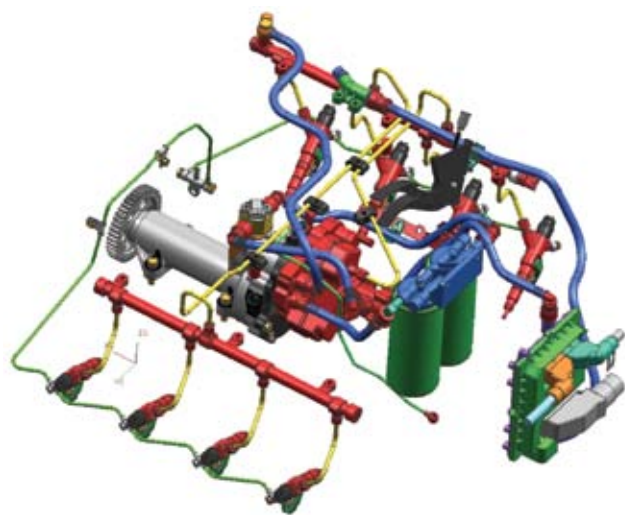


Рисунок 3. Модуль системы топливоподачи аккумуляторного типа на базе «Common Rail»

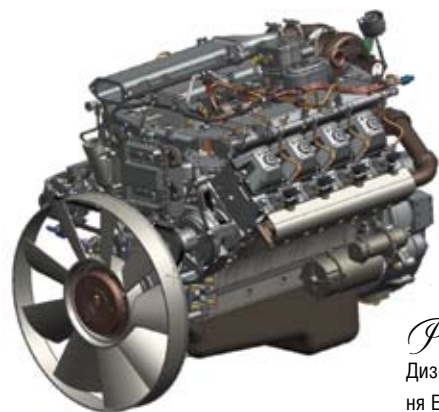


Рисунок 4. Дизель КАМАЗ уровня Евро-4

достигнуто за счёт дальнейшего форсирования их процесса топливоподачи по давлению впрыскивания топлива, оптимизации характеристик впрыскивания топлива, а также элементов камеры сгорания. Выполнение технического норматива по оксидам азота обеспечено применением системы селективной обработки отработавших газов («SCR») — добавкой мочевины в каталитический нейтрализатор. Таким образом, реализация цели ЕВРО-4 была достигнута без кардинального изменения конструкции двигателя КАМАЗ.

Работы по выбору комплектации и согласованию документации для первых опытных образцов двигателей с системой «SCR» на основе компонентов системы «Denoxtronic-2» фирмы «Bosch» (рис. 5) были завершены в 2006 году. В 2007 году были изготовлены образцы для проведения стендовых испытаний в составе двигателя и опытного образца автомобиля. В 2008 году двигатели КАМАЗ с системой «SCR» успешно прошли приемочные и сертификационные испытания.

В настоящее время в системах «SCR» для двигателей КАМАЗ уровня Евро-4 применяются системы дозирования «AdBlue» (мочевины) на базе компонентов системы «Denoxtronic-2» фирмы «Bosch» и на базе компонентов фирмы «Grundfos» («Emitec»). Варианты глушителей-нейтрализаторов комплектуются каталитическими блоками производства фирм «BASF», «Haldor Topsoe», «Emitec».

Вариант исполнения системы газотурбинного надува с одним турбокомпрессором (типа S300G —

фирмы «BWTS») на два полублока позволяет упростить систему выпуска двигателей ЕВРО-4, сократить расстояние от турбокомпрессора до глушителя-нейтрализатора, создаёт более благоприятные условия протекания реакций восстановления азота на каталитическом блоке.

С целью повышения ресурса дизелей КАМАЗ уровня ЕВРО-4 была проведена оптимизация конструкции корпусных деталей. Как вариант проведения мероприятий, направленных на дальнейшее повышение надежности блока цилиндров, предложена замена материала блока — на чугун с вермикулярным графитом ЧВГ35 — вместо применяемого в настоящее время серого чугуна СЧ25.

Для комплексной оценки эффективности замены материала совместно с КГТУ им. А.Н. Туполева (КАИ) были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния и сравнительные усталостные испытания блока цилиндров в различных исполнениях. Анализ результатов показал, что замена материала блока цилиндров с СЧ-25 на ЧВГ-35 при прочих равных условиях является, с точки зрения повышения усталостной прочности, мероприятием эффективным и для двигателей экологического класса ЕВРО-4 мощностью более 400 л.с. может рассматриваться как основной вариант.

Пульсирующий характер нагрузок от топливного насоса приводит к возбуждению крутильных колебаний в приводе, которые с ростом форсировки двигателя и давления впрыскивания топлива повышают энергию ударных явлений в зубчатых соединениях. Для повышения надежности привода, кроме комплекса работ, направленных на повышение надежности деталей, участвующих в передаче момента к топливному насосу, была проведена работа по оценке эффективности установки гасителя крутильных колебаний (далее — ГКК) вязкостного типа [6, 7]. Как показали результаты испытаний, установка ГКК на вал ведомой шестерни топливного насоса высокого давления позволила снизить амплитуды углов закрутки и моментов в приводе, что позволило полностью исключить разрушение деталей приводов ТНВД и вспомогательных агрегатов. После подтверждения результатов торсиографирования и тензометрирования длительными моторными испытаниями было принято решение об установке ГКК на вал ведомой шестерни ТНВД на двигателях КАМАЗ, независимо от типа ТНВД и мощности двигателя.

Для оценки работоспособности поршней при максимальном давлении сгорания были выполнены расчеты теплового, напряженно-деформированного состояния поршней и проведены испытания поршней из сплава S2N производства фирмы

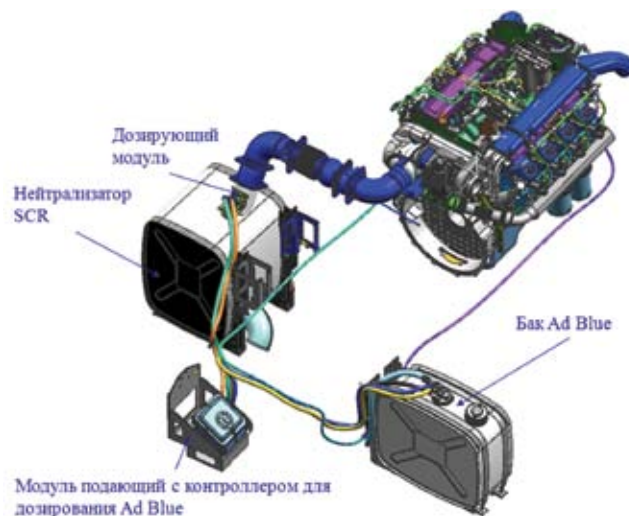


Рисунок 5. Схема системы «SCR»



Рисунок 6. Опытный образец



Рисунок 7. Двигатель КАМАЗ уровня Евро-5

«Federal Mogul» (США). В результате выполненных работ принято решение об изготовлении поршней из алюминиевого сплава с улучшенными механическими характеристиками и повышенной теплоустойчивостью S2N. Работы по выбору конструкции поршня, по выбору материала и микрогеометрии рабочей поверхности гильзы цилиндра, подшипников коленчатого вала также проводились совместно с зарубежными партнерами.

Заявленный уровень технических характеристик двигателей Евро-4: расход масла на угар не более 0,06% от расхода топлива, ресурс не менее 1 млн. км пробега автомобиля. В табл. 3 приведены мощностные параметры семейства дизелей КАМАЗ уровня Евро-4.

В 2008 году был завершен полный цикл НИОКР (за исключением пробеговых испытаний автомобилей) по семействам двигателей КАМАЗ уровня Евро-4 и конструкторская документация была выдана на технологическую подготовку производства.

Работы по дальнейшему совершенствованию двигателей марки КАМАЗ направлены на снижение удельного эффективного расхода топлива и на увеличение литровой мощности. Для решения этих задач, как приоритетные, были выделены два крупных наукоемких направления — создание четырехклапанной чугунной головки цилиндра и системы двухступенчатого газотурбинного наддува.

Эти работы были развернуты в 2007 году, и в 2009 году для проведения предварительных испытаний был собран первый опытный образец двигателя с индивидуальными четырехклапанными головками цилиндров и с двухступенчатым газотурбинным наддувом (рис. 6).

Результаты расчетов и комплекс испытаний, проведенных с применением самого современного исследовательского оборудования, легли в основу проекта создания конкурентоспособного дизельного двигателя уровня Евро-5.

Конструкцию дизелей КАМАЗ (рис. 7) уровня Евро-5 отличает применение:

- чугунной моноголовки цилиндров с четырьмя клапанами на цилиндр;
- аккумуляторной системы топливоподачи типа «Common Rail» с максимальным давлением впрыскивания топлива до 2200 бар и центральным расположением форсунок;
- модифицированной системы селективной обработки отработавших газов («SCR»);
- бортовой диагностической системы для контроля выбросов вредных веществ в период эксплуатации автомобиля;
- в перспективе двухступенчатого газотурбинного наддува.

Заявленный уровень технических характеристик двигателей Евро-5 представлен в табл. 4.

Выполнение законодательных требований, предъявляемых к автомобильным дизелям КАМАЗ уровня Евро-4 и Евро-5 (технические нормативы вредных выбросов, долговечность вредных выбросов, система бортовой диагностики, эксплуатационное соответствие), базируется на рациональной модернизации их конструкции и применении компонентов мировых лидеров.

Расширение и увеличение объемов выпуска двигателей КАМАЗ собственного производства, отвечающих требованиям технического регламента по выбросам вредных веществ, современным требованиям по надёжности, ресурсу и топливной экономичности — одно из основных направлений развития ОАО «КАМАЗ» в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» (утвержден постановлением Правительства РФ от 12 октября 2005 г., № 609) с изменениями от 27.11.2006 г., 26.11.2009 г.
2. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. С40 Первое русское издание. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулём», 2004 г. — 480 с.
3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для Вузов. — Легион-Автодата, 2004. -344 с.
4. Гатауллин Н.А. Комплекс конструкторско-исследовательских работ по повышению надёжности привода ТНВД двигателя КАМАЗ — 740.50-360 / Н.А. Гатауллин, Е.Р. Борисенков, С.М. Леонов и др. // Силовым агрегатам КАМАЗ — высокую надёжность: Сборник статей. — Наб. Челны: Изд-во Камского госуд. политехн. ин-та, 2005. — С 15-19.
5. Гумеров И.Ф. Исследование угловых колебаний в приводе ТНВД с целью повышения надёжности и снижения шума автомобильного дизеля / И.Ф. Гумеров, Н.А. Гатауллин, Р.Х. Хафизов и др. // Сборник трудов межд. науч.-техн. конференции. Часть 1, книга 2. — Наб. Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-эконом. академии, 2010. — С. 40-43.