

УДК 629.113

ФОРМИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ (КЭПКД) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ КАМАЗ

И.Ф. Гумеров, к.т.н. / Р.Х. Хафизов
ОАО «КамАЗ»

Важным показателем качества двигателей для современных автомобилей является соответствие их экологических параметров действующим нормативным требованиям, а параметров топливной экономичности — ожиданиям потребителя. На основе этих требований предлагается формирование общего критерия для оценки уровня качества двигателей — КЭПКД.

Проблемы качества продукции в современных рыночных условиях являются важными, особенно в автомобилестроительной отрасли промышленности, в связи с принятием ведущими странами мира жёстких законодательных требований по защите окружающей среды от загрязнений атмосферного воздуха выбросами вредных веществ (ВВВ) с отработавшими газами (ОГ) двигателей. Известное понятие качества, определяемое как мера, которую необходимо обеспечить, отвечая ожиданиям потребителя и при этом соблюдая законодательные и другие нормативно-технические требования к продукции, безусловно, относится к автомобилям и их двигателям, в том числе по экологическим показателям ОГ. Это условие является обязательным также для грузовых (коммерческих) автомобилей, автобусов большой вместимости и автомобилей повышенной проходимости, основной производитель которых в Российской Федерации — ОАО «КамАЗ».

Главные требования ко всем автотранспортным средствам (АТС) в РФ определены техническим регламентом «О безопасности колёсных транспортных средств», который устанавливает порядок и условия их выпуска в обращение. Центральным из них считается соответствие характеристик их двигателей по экологическим параметрам ОГ действующим нормам. Эти требования относятся как к продукции собственных производителей, так и к импортируемым АТС. Поэтому обеспечение соответствия экологических показателей двигателей по

ВВВ с ОГ действующим нормативам — необходимое условие вывода АТС на рынок для эксплуатации на всей территории РФ. Анализируя указанные требования и соотнося их с определением понятия качества, приходим к выводу, что нормативный уровень ВВВ с ОГ можно рассматривать как некий уровень качественного показателя двигателя и АТС в целом.

Экологические параметры ОГ двигателей АТС в настоящее время во всём мире оцениваются четырьмя регламентированными компонентами и определяются путём стендовых испытаний по специальным методикам. Пока в мире не принята единая методика испытаний: США и некоторые государства, находящиеся под их влиянием, пользуются одной методологией, Япония — другой, а европейские страны — специальными Директивами или Правилами ЕЭК ООН (Европейской экономической комиссии Организации Объединённых Наций) с соответствующими поправками и дополнениями. В РФ же в настоящее время на базе этих Правил с поправками серии 05 к Правилам № 49 и серии 02 к Правилам № 96 действует технический регламент «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации (РФ), вредных (загрязняющих) веществ», который с последними изменениями, внесёнными постановлением Правительства РФ № 2 от 20 января 2012 года, определяет экологические показатели (ЭП) с ОГ двигателей как «экологический класс» — ЭК (соответствующий показатель Евро [1, 2]). Правила № 49-05 и 96-02 устанавливают, например, уровень требований по регламентированным компонентам для АТС с двигателями ЭК-4 с началом действия с 1 января 2013 года (табл. 1).

Сравнительный анализ уровня ВВВ с ОГ по этим двум методикам показывает значительную разницу между ними по удельным значениям компонентов: так, выбросы по СО и РТ намного жёстче регулируются Правилами № 49, а отличия по СН и NO_x незначительные. Необходимо также отметить, что режимы испытаний по этим Правилам существенно

отличаются, в связи с чем однозначно сравнивать их некорректно. В настоящей статье рассмотрены результаты работ по Правилам № 49, а именно с оценкой уровня ВВВ с ОГ, как параметр качества двигателей.

Для обоснования и практического применения понятия качества для оценки экологических показателей дизелей в этой работе использованы результаты испытаний двигателей КамАЗ ЭК-4 [3, 4, 5]. В табл. 2 приведены результаты контрольных испытаний, проведённых на начальном этапе, в сравнении с параметрами после проведения комплекса доводочных работ перед началом их серийного производства.

В табл. 2 введён также параметр $ge\ min$ — минимальный удельный эффективный расход топлива двигателя — один из регламентируемых нормативно-технической документацией параметров, отражающий эффективность организации рабочих процессов и — косвенно — уровень КПД двигателя. Безразмерная форма этих характеристик может представляться обобщённым показателем, оценивающим как экологический уровень по ВВВ с ОГ, так и топливную экономичность двигателя, — комплексным экологическим показателем качества двигателя, который записывается в виде формулы:

$$ЭПКД = \Sigma (KCO + KCH + KNO_x + KPT + Kge) / 5, \quad (1)$$

где $KCO = CO_p / CO_n$; $KCH = CH_p / CH_n$; $KNO_x = NO_{xp} / NO_{xn}$; $KPT = PT_n / PT_p$; $Kge\ min = ge\ min_p / ge\ min_n$,
 где индекс «н» — нормированное значение, «р» — полученное в результате испытаний.

Формула (1) обобщает экологический уровень и топливную экономичность, а также (косвенно) эффективный КПД двигателя, то есть представляет собой комплексный критерий ЭПКД — экологический показатель качества двигателя. При соответствии результатов испытаний нормативным требованиям (теоретически возможный вариант) ЭПКД = 1.

Анализ представленных в табл. 2 результатов испытаний показывает обоснованность введения данного критерия для оценки уровня качественных свойств дизелей определённого ЭК. В результате доводочных работ по рабочим процессам и улучшению эффективности уплотнений в цилиндро-поршневой группе в части уменьшения расхода масла на угар удалось уменьшить критерий ЭПКД с 0,65 до 0,51, то есть снизить общий уровень показателя по экологии и топливной экономичности двигателя на $\Delta ЭПКД = 0,14$. Для подтверждения выдвинутой версии обоснования критерия ЭПКД на рис. 1 представлена гистограмма результатов сравнительных испытаний двигателя ЭК-4 с вариантами турбокомпрессоров с различными значениями общего уровня КПД: первый вариант — 0,5, второй — 0,47. Приведённые данные показывают,

Таблица 1. Значения ВВВ с ОГ по Правилам № 49-05 (ESC — Европейский стационарный цикл испытаний) и 96-02 для ЭК-4

Варианты Правил ЕЭК ООН	CO	CH	NO _x	PT
	г/квт·ч			
Правила № 49-05	1,5	0,46	3,5	0,02
Правила № 96-02	3,5	4,0		0,2

Таблица 2. Сравнительные результаты испытаний двигателей КамАЗ ЭК-4 до и после доводочных работ

Варианты испытаний	CO	CH	NO _x	PT	ge min	ЭПКД
	г/квт·ч					
2008 г.	0,56	0,03	3,28	0,018	148	0,65
2012 г.	0,37	0,03	2,37	0,012	144	0,51

что незначительные отличия эффективности компонентов двигателя отражаются в значениях критерия ЭПКД, ещё раз подтверждая возможность практического применения этого параметра для оценки общего уровня ВВВ с ОГ относительно нормативных показателей и топливной экономичности дизеля.

Приведённые данные основаны на результатах испытаний двигателей КамАЗ и показывают их шаги развития по экологии ОГ и удельному расходу топлива. Но при этом критерий ЭПКД представляет только общий уровень, не определяя, по сути, сложности и затратности обеспечения нормативных требований отдельными составляющими компонентов формулы (1). Для этого на опыте достижения и анализа полученных показателей по результатам испытаний предлагается введение для каждого компонента значения весового коэффициента (ВК) с учётом рейтинга по формулам (3) и (4) и используя приведённые в табл. 2 данные. Равноценность ВК для каждого элемента обеспечивается формулой (3) с осреднением показателей по результатам двух испытаний (для вывода более достоверных значений ВК возможно использование данных по результатам большего количества испытаний):

$$A\{(KCO_1 + KCO_2)/2 + (KCH_1 + KCH_2)/2 + (KNO_{x1} + KNO_{x2})/2 + (KPT_1 + KPT_2) + (Kge\ min_1 + Kge\ min_2)\} = 5, \quad (3)$$

значения которых определяются группой формул (4):

$$\begin{aligned} BKCO &= A \times KCO; \quad BKCH = A \times KCH; \\ BKNO_x &= A \times KNO_x; \quad BKPT = A \times KPT; \\ BKge &= A \times Kge\ min. \end{aligned} \quad (4)$$

На основе формул (1) и (4) формируется обобщающий критерий — коэффициент экологического показателя качества двигателей — КЭПКД, который записывается формулой (5):

$$КЭПКД = \Sigma (BKCO \times KCO + BKCH \times KCH + BKNO_x \times KNO_x + BKPT \times KPT + BKge \times Kge\ min) / 5. \quad (5)$$

Таблица 3. Распределение весовых коэффициентов между регламентированными компонентами и обобщённые результаты расчётов критерия КЭПКД по результатам испытаний двигателей КамАЗ ЭК-4

Параметры	CO	CH	NO _x	PT	ge min	ЭПКД	КЭПКД
	г/квт·ч						
Рез. 2012 г.	0,37	0,03	2,37	0,012	144	0,51	0,71
КСО	0,25	0,07	0,68	0,6	0,96	–	–
ВКСО	0,49	0,14	1,33	1,17	1,87	–	–

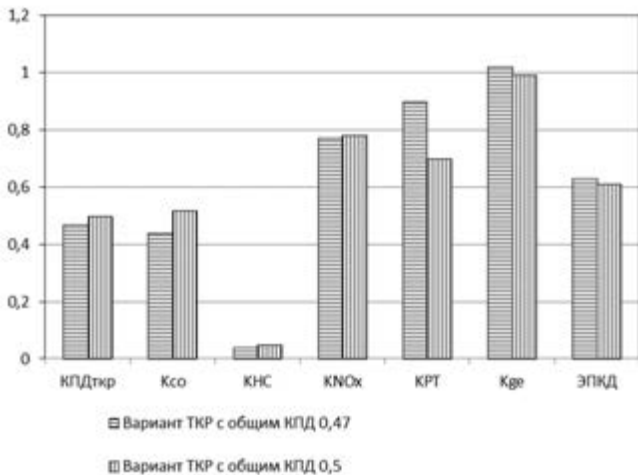


Рисунок 1. Результаты сравнительных испытаний двигателя с вариантами ТКР

Результаты расчётов по формулам (1)... (5) обобщены в табл. 3. Анализ полученных данных показывает, что если значение критерия ЭПКД = 0,51 (это качественный показатель по ВВВ с ОГ и топливной экономичности двигателей по результатам конкретных испытаний в 2012 году), то критерий КЭПКД = 0,71, рассчитанный с введением ВК, является обобщающим показателем для двигателей выбранного ЭК. Это подтверждается, например, расчётом указанного показателя по результатам испытаний двигателя КамАЗ в 2008 году (табл. 2). При этом рассматриваемый критерий КЭПКД = 0,96.

Разница в показателях между критериями ЭПКД и КЭПКД около 0,2 показывает уровень обобщения, связанный с техническими сложностями достижения нормативных значений отдельных компонентов и их конечными значениями. А это является результатом введения ВК, которые в данном случае показывают уровень приближения комплексного критерия экологического показателя качества двигателя к предельному значению, то есть речь идёт об уровне совершенства двигателей по перечисленным параметрам. Сравнительный анализ обобщающего критерия по результатам двух испытаний двигателей ЭК-4 демонстрирует уровни их показателей по ВВВ с ОГ и топливной экономичности с учётом тех-

нических аспектов их достижения. Этот обобщающий критерий КЭПКД может быть использован как критерий для ранжирования различных двигателей одного ЭК, а в дальнейшем — и для оценки их рыночной стоимости (например, при условии введения государством льгот по экологическим показателям двигателей и их топливной экономичности).

Таким образом, в настоящей статье по результатам испытаний двигателей КамАЗ ЭК-4 предлагается введение нового обобщающего критерия — КЭПКД — коэффициента экологического показателя качества двигателей. Этот показатель может применяться для ранжирования двигателей по уровню ВВВ с ОГ и топливной экономичности, а в дальнейшем — для сравнительной оценки их стоимости с учётом возможного влияния на окружающую среду в процессе эксплуатации.

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. Повышение экологических показателей качества автомобильных дизелей КамАЗ — основное направление их развития / И.Ф. Гумеров, Р.Х. Хафизов, Е.Р. Борисенков и др. // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 31-37.
4. Повышение экологических показателей качества двигателей КамАЗ путём исследований выбросов вредных веществ с отработавшими газами / И.Ф. Гумеров, Р.Х. Хафизов, Е.Р. Борисенков и др. // Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 1 (78). — С. 13-15.
5. Гумеров И.Ф., Хафизов Р.Х. Снижение выбросов твёрдых частиц с отработавшими газами на двигателях V8 // Транспорт на альтернативном топливе. — 2013. — № 2 (32). — С. 60-62.