

УДК 621.436

**Разработка маслоотделителя системы вентиляции картера
современного дизельного двигателя**

С.М. Андриянов, Р.Х. Хафизов, Л.И. Фардеев

НТЦ ПАО «КАМАЗ»

**The development of the oil separator of the crankcase ventilation system
the modern diesel engine**

S.M. Andrianov, R.H. Hafizov, L.I. Fardeev

STC of PTC «KAMAZ»

Аннотация: в данной статье представлены актуальные на сегодняшний день проблемы связанные с системой вентиляции картера дизельных двигателей. Выделены основные проблемы, а также пути их решения. Представлены основные источники образования картерных газов дизельного двигателя. Приведены основные критерии количественной оценки состояния и работы системы вентиляции картера. Особое внимание уделяется основному элементу системы вентиляции картера дизеля – маслоотделителю. Представлены данные по результатам стендовых моторных испытаний опытного маслоотделителя, с установкой вместе с серийной системой вентиляции картера двигателя КАМАЗ 740.50-360 в качестве второй ступени очистки картерных газов, на режиме номинальной мощности. По результатам испытаний была получена высокая эффективность открытой системы вентиляции картера двигателя КАМАЗ, с возможностью предложения для использования закрытой системы вентиляции картера, с отводом картерных газов на вход в турбокомпрессор двигателя.

Ключевые слова: система вентиляции картера, дизельный двигатель, картерные газы, маслоотделитель, эффективность.

Abstract: this article presents relevant today, the problems associated with the crankcase ventilation system diesel engines. You certain basic problems and ways of their solution. Presents the basic sources of formation of blow-by gas of the diesel engine. The basic criteria for quantitative assessment of the condition and operation of the crankcase ventilation system. Special attention is given to the main element of the system of crankcase ventilation of diesel – oil separator. Presents data on the results of bench motor tests of the experimental oil separator with the installation along with the serial system crankcase ventilation the engine KAMAZ 740.50-360 as second stage cleaning of crankcase gases, in the rated power mode. According to the results of the tests were obtained from high efficiency indoor ventilation of the crankcase of the engine KAMAZ, with a possible STU proposal to use a closed crankcase ventilation system with fumes disposal at the entrance to the turbocharger of the engine.

Key words: crankcase ventilation system, diesel engine, blow-by gases, oil separator efficiency.

Введение

Главное условие стабильного развития российского двигателестроения – это выпуск конкурентоспособной, безопасной и экологически чистой техники, а также систематическое улучшение свойств продукции и соответствия требованиям потребителя.

Различные регламенты и правила [1, 2] влияют на общие характеристики дизельных двигателей, требуют введения новых конструктивных элементов, реализующих тот или иной способ снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей. Особое внимание уделяется системе вентиляции картера (СВК) картерных газов (КГ).

Анализ СВК

Картерное пространство (КП) – объём пространства внутри двигателя, ограниченный внутренними поверхностями деталей двигателя. Пра-

вильно сформированное и организованное КП значительно упрощает работу СВК. Данная система может представлять собой совокупность элементов для: приёма КГ, маслоотделения, слива осаждённого масла в картер двигателя, отвода отсепарированных КГ.

На работоспособность СВК влияет количество образующихся КГ, а также количество масла в КП на входе в систему, находящегося во взвешенном состоянии в каждый момент времени. Значение давления КГ свидетельствует о гидравлическом сопротивлении СВК [3]. Увеличение расхода КГ повышает вероятность попадания масла в систему вентиляции (в виде мелких частиц – «масляного тумана»), что влияет на маслоотделение в СВК. При работе системы вентиляции, масло из взвешенного состояния переходит в осажденное. Масло в осаждённом состоянии должно сливаться через элементы системы в картер двигателя.

В процессе работы двигателя образуется эмульсия и пена в масле, что затрудняет доступ масла к трущимся поверхностям и таким образом снижает смазочные свойства масла. В результате воздействия других компонентов КГ в масле образуются также кислоты, осадки и другие примеси, снижающие устойчивость конструктивных элементов двигателя к старению [4].

Условия образования КГ и достижения ими входа СВК во многом определяют дальнейшие процессы и явления, которые происходят непосредственно в самой системе.

Процесс образования КГ (рис. 1) от прорыва рабочего тела через уплотнение между поршнем и гильзой цилиндра, ротора турбокомпрессора, а также от прорыва отработавших газов и свежего воздуха через уплотнение и сопряжение клапанов носит нестабильный, пульсирующий характер [5, 6].

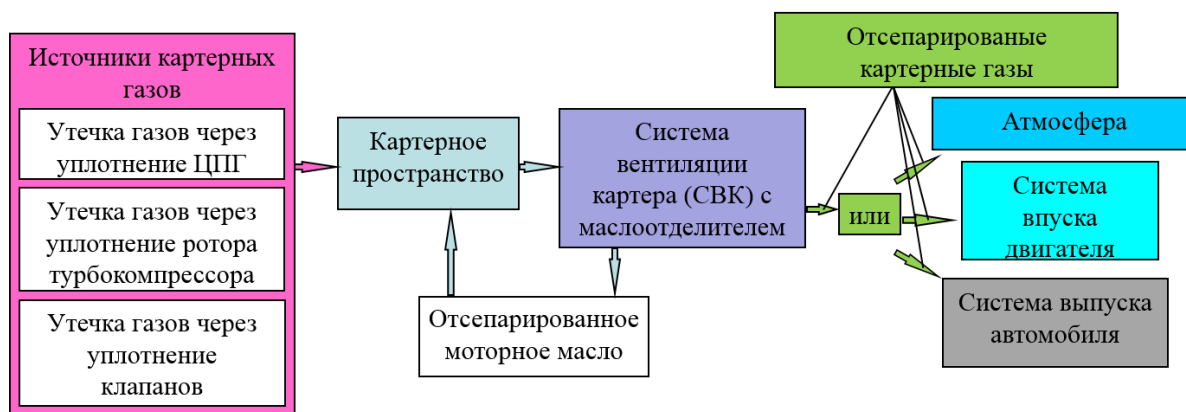


Рис. 1. Схематичное представление образования и движения КГ

В КП движение КГ к входу в СВК сопряжено с преодолением преград в виде вращающихся деталей двигателя, поперечных стенок блока цилиндров (опор коленчатого вала). В КП присутствуют волновые явления в среде КГ, которые необходимо учитывать при подборе конструкции СВК и формирования КП. В процессе работы двигателя присутствуют явления интенсивного перемешивания КГ со сливаемым с деталей двигателя маслом, вызванного вращением деталей двигателя. КГ подхватывают частички масла с «зеркала» масляной ванны в КП. Процесс перемешивания масла и КГ, называется барботаж [7]. Интенсивность этого процесса существенно сказывается на нагруженности СВК.

Критерии количественной оценки состояния и работы СВК [8]

1. Расход попадаемого масла непосредственно в СВК определяется косвенно:

$$G_n = G_y + G_o = \frac{m_y}{t} + \frac{m_o}{t} = \frac{m_y + m_o}{t}, \text{ гр./мин} \quad (1)$$

где: G_y , G_o – расход унесенного и осажденного масла маслоотделителем;
 m_n , m_o и m_y – массы попадаемого (в смеси на входе в маслоотделитель), отделенного (сливаемого из маслоотделителя) и уне-

сенного (осевшего в фильтре) масла за фактическое время измерений ($m_n = m_o + m_y$), гр.;

t – фактическое время измерения, мин.

2. Относительное содержание масла в КГ (нагруженность СВК):

$$a = \frac{G_n}{G}, \text{ гр./л} \quad (2)$$

где, G – расход КГ, гр./мин.

3. Эффективность СВК:

$$E = \frac{m_o}{m_y + m_o} * 100 = \frac{m_o}{m_n} * 100, \% \quad (3)$$

Опытный маслоотделитель

Существенную роль в работе СВК играет такой ее элемент, как маслоотделитель. Применение эффективного маслоотделителя (снижение уноса масла из системы) позволит сократить затраты в процессе эксплуатации на доливку масла. Применение закрытой СВК может повлиять на рабочий процесс двигателя, в отличие от открытой системы [9].

Был разработан опытный маслоотделитель для модернизации, существующей СВК двигателей КАМАЗ. Основной отличительной особенностью разработанного маслоотделителя от известных импортных аналогов является:

- применение нового способа движения (завихрения) потока картерных газов, по типу центробежного соплового аппарата;
- применение металлических ситовых фильтров, обеспечивающих отсутствие сменных фильтрующих элементов в маслоотделителе.

Данная разработка позволит получить не обслуживаемый маслоотделитель до капитального ремонта двигателя. Небольшие габаритные размеры позволяют упростить компоновку в составе автомобиля. Общий вид опытного маслоотделителя представлен на рис. 2.

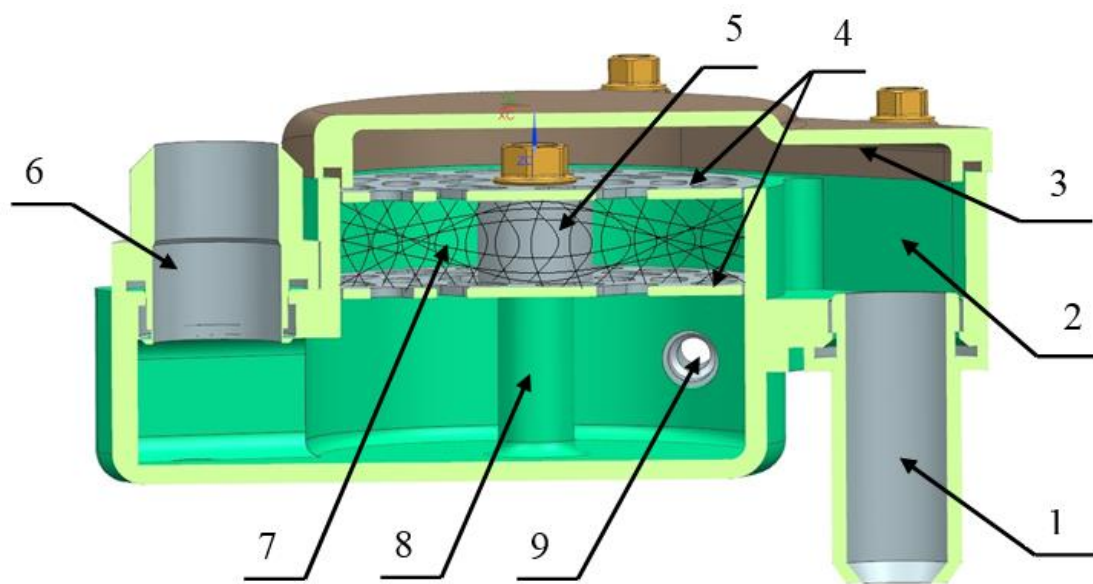


Рис. 2. Основные элементы опытного маслоотделителя СВК:

1 – патрубок для приема газомасляной смеси; 2 – корпус; 3 – крышка корпуса маслоотделителя; 4 – перегородки; 5 – проставка; 6 – патрубок для выпуска отсепарированных КГ; 7 – маслоосадительная сетка; 8 – центральный осевой элемент в корпусе маслоотделителя; 9 – сливной патрубок для слива осажденного масла

Маслоотделитель системы вентиляции картера двигателя внутреннего сгорания содержит корпус 2, имеющий вход 1 для газомасляной смеси от двигателя и выход 6 для выпуска отсепарированных газов, а также сливной патрубок 9 для масла. Внутри корпуса 2 имеется центральный осевой элемент 8, на котором через проставку 5 закреплены две перегородки 4. Перегородки 4 выполнены со сквозными отверстиями, равномерно распределенными по поверхности. Между перегородками 4 размещена маслоосадительная сетка 7. Такое размещение одной маслоосадительной сетки способствует увеличению эффективности осаждения масла, а также снижению гидравлического сопротивления движущегося потока. Корпус 2 закрыт сверху крышкой 3.

Устройство работает следующим образом (рис. 3): при прохождении КГ через перегородки 4 и маслоосадительную сетку 7 масло, находящееся во взвешенном состоянии в КГ, при ударе потока о них налипает, и постепенно укрупняется до капель. Маслоосадительная сетка 7, размещенная между двумя перегородками 4, позволяет увеличить эффект осаждения масла в маслоотделителе, т.к. основной принцип отделения масла с помощью маслоосадительной сетки напрямую связан с понятием коалесценции [10]. Происходит укрупнение частиц и осаждение на поверхностях за счёт сил поверхностного натяжения и межмолекулярного взаимодействия. Таким образом, осуществляется сепарация двухфазного потока смеси газа и жидкости. Осаждённые и укрупнённые частички масла удерживаются от обратного проникновения в поток. Таким образом частички масла перемещаются частично как под воздействием потока в направлении его движения, так и силы тяжести. В следствие чего уже объемные капли масла под действием силы тяжести стекают с маслоосадительной сетки вниз, через отверстия перегородки и далее через сливной патрубок 9 попадают обратно в картер двигателя.

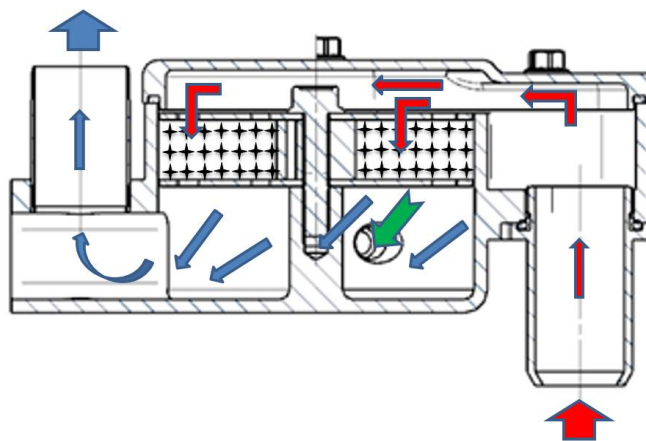





Рис. 3. Движение КГ в маслоотделителе:

-  – поток КГ из КП;
-  – слив осажденного масла в системе;
-  – поток очищенных КГ.

Экспериментальные данные

Были проведены стендовые моторные испытания опытного маслоотделителя на двигателе КАМАЗ 740.50-360 собранном в соответствии с его комплектацией с имитацией расхода КГ до 400 л/мин (рис. 4).

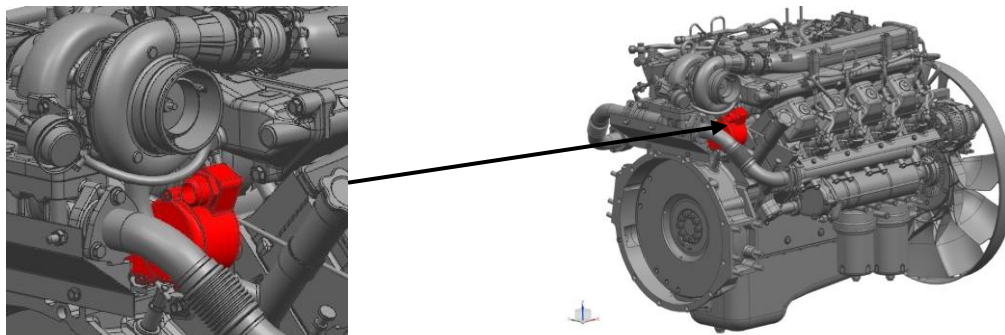


Рис. 4. Общий вид расположения маслоотделителя на двигателе

Испытания СВК при горизонтальном положении двигателя проводились на режиме номинальной мощности ($N_e=294$ кВт, $n=1900$ мин⁻¹):

При испытаниях поддерживались:

- температура масла в главной масляной магистрали 90-100 °С;
- температура воды в системе охлаждения двигателя 82-85 °С;

Результаты испытаний СВК приведены в таблице 1. Количество отделенного масла было определено по формуле (1), а эффективность маслоотделителя была рассчитана по формуле (3).

Таблица 1

Данные моторных испытаний по результатам исследований
НТЦ ПАО «КАМАЗ»

Расход КГ, л/мин.	Попадаемое масло в маслоотделитель, гр./10 мин	Эффективность маслоотделителя, %	Унос масла, гр./10 мин	Давление КГ, мм вод. ст.
120	0	99,9	не наблюдалось	20..22
160	0	99,9		30...33
200	2,25	99,9		38...40
250	4,85	99,9		53...54
300	6,9	99,9		73...75
350	8	98,8	0,1	100...102
400	49,4	99	0,05	135...145

Выводы

В ходе выполнения работ был разработан, изготовлен и испытан опытный маслоотделитель открытой СВК дизельного двигателя.

В результате выполненных работ установлено, что предел работоспособности опытного маслоотделителя с наименьшей эффективностью (не ниже 98,8 %) определён значениями расхода КГ 350 л/мин.

Литература

[1] Технический регламент *"О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ"*. Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005г. №609.

[2] Правила ЕЭК №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, оснащенных 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"*.

[3] Волков М.Ю., Гаврилов А.А. *Расход картерных газов быстроходных дизелей*. Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования современных поршневых двигателей: материалы XI Междунар. научн.-практ. конф. / под ред. А.Н. Гоца. Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2008. – С. 126-128.

[4] Mohammad A.E., Hassan B.T, Coodarz A., Mohammad S., Mostafa A.M. *Investigation of fine droplet generation from hot engine oil by impinging gas jets onto liquid surface*. Journal of Aerosol Science 65 (2013) 52-54 (Scopus).

[5] Волков, М.Ю. *Рециркуляция картерных газов во впускной тракт*

дизеля // Известия ВУЗов. Серия Машиностроение. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. -№10. - 73-74 с.

[6] Иншаков А. П. *ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ТУРБОКОМПРЕССОРА* / А. П. Иншаков, М. С. Курбакова, Д. С. Мочалин // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. Т. 2. №. 1. С. 101-103. DOI: 10.12737/13861.

[7] Суслов Д.Ю. *Получение биогаза в биореакторе с барботажным перемешиванием*. Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Иваново, 2013. 47 с.

[8] Андриянов С.М., Башегуров С.В. *Анализ формирования требований к системам картера дизелей*. Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии №6. Под ред. В.Ю. Кирничный. СПб.: Издательско-полиграфический центр СибАДИ, 2014. 241-242 с.

[9] Франц К. Мозер. *Дизель в 2015 г.: Требования и направления развития технологий дизелей для легковых и грузовых автомобилей*. – Журнал автомобильных инженеров, 2008, №4 (51).

[10] Сайт о химии – «ХИМИК» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ximuk.ru/bse/1299.html> (дата обращения 25.10.2016).