

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 621.436.068.4

Зальцман Михаил Давидович – д.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)

Амирханов Аскарбек Болатович – Председатель Совета директоров (Алматы, Группа компаний АКТАН)

Целиков Вениамин Викторович – к.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)

Цыганков Сергей Геннадьевич – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА, ТОПЛИВА И МАСЛА НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Задача борьбы с загрязнением воздуха токсичными продуктами отработавших газов дизелей, остро стоящая при эксплуатации автомобильного транспорта, с каждым годом приобретает все большую актуальность и на железнодорожном транспорте. Особенно злободневна данная проблема для населенных пунктов, где железнодорожный транспорт сконцентрирован в черте города. При этом доля вредных выбросов в местах концентрации тепловозов, значительно превышает выбросы от стационарных источников и других видов транспорта. Один тепловозный дизель выбрасывает в атмосферу от 2500 до 21000 кг/час выхлопных газов. От 0,02 до 1 % объема отработавших газов составляют токсичные вещества, образующиеся при неполном сгорании, сажа, продукты окисления примесей и присадок к топливу, а также оксиды азота. Несмотря на то, что в Республике Казахстан продолжается обновление устаревшего тепловозного парка тепловозами пятого поколения серии Evolution, оснащенными более экологически чистыми 12-цилиндровыми дизельными двигателями, мощностью - 4400 лошадиных сил, их эксплуатация в климатических условиях Республики Казахстан требует повышенного внимания к качеству очистки воздуха, топлива и масла.

Имеется ряд факторов, оказывающих крайне отрицательное влияние на износ деталей и токсичность отработавших газов дизелей. Многие из них предопределены конструкцией дизеля, а другие зависят от качества изготовления деталей и узлов, условий эксплуатации, обслуживания и ремонта. Железные дороги Казахстана расположены в различных климатических зонах, для которых характерны широкий диапазон изменения температуры в зимний и летний периоды, значительные колебания суммарного количества осадков и относительной влажности воздуха, большое количество дней с сильным ветром, обуславливающих запыленность воздушной среды в летний период и.т.д. Влияние условий эксплуатации, обслуживания и ремонта на выброс вредных веществ с отработавшими газами определяется следующими причинами:

- ухудшением процесса топливоподачи;
- образованием нагароотложений на клапанах, окнах цилиндрических втулок (дизель 10Д100), газовыпускном тракте в целом;
- загрязнением дизельного топлива и масла;
- снижением эффективности очистки воздуха и др.

Воздух, окружающий тепловоз, содержит тонкодисперсную пыль. Обычно 75-85 % частиц пыли, находящейся в воздухе вблизи железных дорог, имеют размеры менее 10 мкм, в том числе 65-70 % – менее 5 мкм, а медианный диаметр твердых частиц может достигать 50 мкм. Таким образом, запыленность воздуха не является величиной постоянной и может меняться в широких пределах в зависимости от целого ряда факторов: размера и массы

частиц, толщины слоя пыли, осаждающейся вблизи магистрали, скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха, скорости движения локомотива и др.

Пыль, проникая в двигатель с нагнетаемым воздухом, повышает износ поршней и поршневых колец, клапанов и других деталей. Кроме того, поступая в картер дизеля, пыль попадает в масло, что приводит к повышенному износу коренных и шатунных подшипников коленчатого вала. Для защиты дизеля от проникновения посторонних абразивных частиц устанавливаются воздухоочистители, топливные и масляные фильтры. От их состояния и эффективности зависит долговечность и бесперебойность работы силовой установки тепловоза.

Однако воздушные фильтры не являются абсолютной защитой, и в цилиндры двигателей при впуске воздуха все же попадает, некоторое количество пыли. Цилиндровые гильзы четырехтактных дизелей больше всего изнашиваются на небольшом пояске в верхней части, в котором размещаются уплотнительные поршневые кольца. При попадании в цилиндр частиц пыли размером до 2-3 мкм износ гильзы увеличивается незначительно по сравнению с износом при работе на технически чистом воздухе. При снижении эффективности работы воздухоочистителей увеличивается расход топлива на 3-5 % и выброс в атмосферу СО на 28-30 %, СН на 120 %, сажи на 36-40 %.[1]

Размеры посторонних частиц, попадающих в дизельное топливо, достигают 30 мкм. При плохом хранении и неаккуратной заправке тепловоза топливом количество относительно больших частиц, размером более 70 мкм значительно увеличивается. Общая засоренность дизельного топлива механическими примесями при выдаче его на тепловозы в среднем составляет 100-150 грамма на тонну [1].

Детали топливной аппаратуры (гильза и плунжер топливного насоса высокого давления, игла и корпус распылителя форсунки, а также седло и корпус нагнетательного клапана) являются прецизионными парами. Зазор между плунжером и гильзой, обеспечивающий качественную (без заеданий) работу сопряжений, лежит в пределах 0,5-1,5 мкм на сторону. В процессе эксплуатации этот зазор увеличивается. Твердые частицы, имеющие размеры меньше величины зазора, при работе насоса будут свободно проникать в зазор между плунжером и гильзой. Равные по размеру зазора частицы (и даже несколько большие) могут заклинить в нем и при работе насоса прорезать на поверхностях плунжера и гильзы продольные риски. Заклиниванию частиц способствует и то, что в момент подачи топлива под действием высокого давления гильза топливного насоса деформируется (раздается). В увеличенный зазор (он может быть в три-четыре раза больше первоначального) проникают частицы большего размера. После отсечки и падения давления гильза стягивается и зажимает эти частицы в зазоре. При движении плунжера частицы раздавливаются и дробятся, вызывая абразивный износ поверхности гильзы и кромок плунжера. Частицы размером меньше радиального зазора уносятся с большой скоростью в зазор и вызывают в процессе подачи и впрыска топлива абразивный износ не только уплотняющих поверхностей плунжера, гильзы и нагнетательного клапана, но и поверхности иглы, корпуса распылителя и распыляющих отверстий форсунки. Уплотняющие поверхности нагнетательного клапана и иглы форсунки изнашиваются также при их посадке на абразивные частицы, отчего может произойти зависание иглы форсунки. По мере износа деталей плунжерной пары радиальный зазор между ними возрастает. Это приводит к снижению плотности плунжерной пары, увеличению утечек и снижению давления подачи топлива. В результате ухудшается работа дизеля и, следовательно, увеличивается расход топлива, ухудшаются экологические показатели тепловозных дизелей.

В целом загрязнение дизельного топлива приводит к ухудшению топливоподачи, неполному сгоранию топлива вследствие износа плунжерных пар, засорению отверстий

распылителей форсунок. При этом увеличивается выброс оксидов углерода, углеводородов, сажи. Так утечка топлива через зазоры в распылителе увеличивает расход топлива на 2-3 %, а выбросы с отработавшими газами СО увеличиваются на 60-65 %, СН на 200%, сажи на 20 % [1]. Износ плунжерных пар топливных насосов до 15 мкм увеличивает расход топлива на 4-4,5 %, выброс СО на 26 %, СН на 37 %, сажи на 30 %. [1].

Известно, что основное влияние на износ деталей топливной аппаратуры оказывают твердые частицы размером 6-12 мкм. [1]. Поэтому, в процессе эксплуатации дизеля необходима постоянная и тщательная очистка топлива. Для этого в топливную систему дизеля обычно включают не менее трех-четырёх фильтров. В соответствии с назначением их можно разделить на фильтры: предварительной очистки, грубой очистки, тонкой очистки и предохранительные. Фильтры предварительной очистки (сетки), располагаемые в горловинах топливных баков, задерживают очень крупные частицы и исключают лишь возможность засорения топливопроводов. Предохранительные щелевые фильтры, входящие в конструкцию форсунок, служат для задержания посторонних частиц (окалины, крошек). Щелевые фильтры обеспечивают надежность работы топливной аппаратуры, но не предохраняют ее от износа, так как задерживают лишь частицы размером более 40-50 мкм. Основная же очистка топлива на тепловозах осуществляется фильтрами грубой и тонкой очистки [2, 3].

Масляная система является одной из основных систем, обеспечивающих надежную эксплуатацию дизеля в течение всего срока. Смазочные масла в отличие от воздуха и дизельного топлива, непосредственно не участвуют в рабочем процессе дизеля. Основное их назначение-это уменьшение трения в сопряженных узлах дизеля и, следовательно, уменьшение износа деталей, входящих в эти узлы. Качество масла и его свойства имеют большое значение для снижения износа.

При работе тепловозного двигателя с течением времени состав дизельного масла непрерывно меняется. В нем увеличивается содержание мелких твердых частиц, которые попадают в масло при перевозке, хранении и заправке масляной системы дизеля. Абразивные частицы поступают в работающий дизель, как правило, только с воздухом. В «картерное масло» проникают, относительно мелкие частицы, предварительно прошедшие через воздухоочиститель и раздробленные по пути поршневыми кольцами. Кроме того, в картере постоянно накапливаются мелкие металлические частицы, являющиеся результатом износа поверхностей деталей дизеля.

На скорость загрязнения масла существенное влияние оказывает техническое состояние дизеля, качество топлива и масла, режим работы дизеля и условия эксплуатации. Степень загрязнения масла весьма заметно влияет на износ и нагарообразование, а, в конечном счете, на моторесурс, надежность и экологические показатели дизеля.

В цилиндрах масло соприкасается с горячими газами и нагретыми стенками цилиндрических гильз и поршней. При этом масло частично сгорает и коксуется, что приводит к образованию лаковых отложений и нагара. Нагар представляет собой твердые углеродистые вещества, которые при работе дизеля откладываются на поверхности камеры сгорания, на днище и верхней кромке поршня, форсунке и клапанах. Нагар на деталях дизелей состоит из зольной и органической части (продуктов неполного сгорания топлива, а также продуктов разложения масла). Лак является результатом окисления и разложения масляной пленки. Источниками зольной части нагара являются почвенная пыль, поступающая с воздухом, продукты коррозии и износа деталей двигателя (металлы), а также металлы, содержащиеся в присадках к маслам. Сернистые, азотистые и углеродистые соединения дизельного масла и топлива - один из основных источников формирования органической части нагара.

К основным причинам нагароотложений можно отнести: длительную работу дизеля на холостом ходу и частичных нагрузках, работу дизеля при пониженном барометрическом давлении и повышенной температуре окружающего воздуха, нарушения в работе систем воздухоочистки, топлива и маслоочистки и др. Однако одной из основных причин нагарообразования в дизелях является окисление и термическое разложение углеводородов топлива и масла в зонах высоких температур. Нагароотложения приводят к ухудшению процесса сгорания и очистки цилиндров от отработавших газов, дымлению, повышению теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы.

Вследствие того, что при нагароотложениях повышается теплонапряженность цилиндра-поршневой группы и температура рабочего цикла, увеличивается выброс в атмосферу оксидов азота. Повышение выбросов оксидов углерода и частиц сажи происходит в результате ухудшения процесса сгорания при недостатке кислорода. Зельдовичем Я.Б., Садовниковым П.Я., Франк-Каменецким Д.А. для оценки влияния температуры рабочего цикла на эмиссию оксидов азота с отработавшими газами выведено кинетическое уравнение, характеризующее скорость реакции окисления азота кислородом [3,4].

$$\frac{dC_{NOx}}{d\tau} = K_x \cdot C_{N_2} \sqrt{C_{O_2}} \cdot \ell^{\frac{E_x}{R \cdot T}} \quad (1)$$

где C_{O_2} , C_{N_2} - объёмное содержание кислорода и азота в топливном заряде, %; E_x - энергия активации (540510 Дж/моль); τ - время цикла, с; R - газовая постоянная (8,314 Дж/моль К). K_x - константа реакции ($2,26 \cdot 10^{11}$) T - температура цикла, K^0

Интегрируя уравнение (1), получаем:

$$C_{NOx} = K_x \cdot C_{N_2} \sqrt{C_{O_2}} \ell^{\frac{E_x}{R \cdot T}} \cdot \tau, \% \quad (2)$$

В то же время

$$C_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha L_0^1 / M_r \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$C_{O_2} = 0,21 (\alpha - 1) L_0^1 / M_r \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где α - коэффициент избытка воздуха (1,6-2,5); L_0^1 - теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг жидкого топлива, кг/кг; M_r - общее количество влажных продуктов сгорания на 1 кг топлива, кг/кг.

$$L_0^1 = 1/0,21 \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad \text{кг/кг} \quad (5)$$

M_r - общее количество влажных продуктов сгорания на 1 кг топлива.

$$M_r = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + \alpha L_0^1 - 0,21 \cdot L_0^1, \quad \text{кг/кг} \quad (6)$$

где C , H , O - массовое доленое содержание соответственно углерода, водорода и кислорода в дизельном топливе.

Анализ формул 1-6 показывает, что при практически неизменном значении большинства показателей входящих в них, концентрация C_{NOx} находится в прямой зависимости от значения температуры рабочего цикла. При протекании рабочего процесса с повышением температуры цикла токсичность дизеля сдвигается в сторону ухудшения.

Необходимо также отметить, что в масле, находящемся в масляной системе при работе дизеля, происходят непрерывные количественные и качественные изменения. Количественные изменения происходят за счет его угара в цилиндро-поршневой группе. Качественные изменения, известные под общим названием «старение масла» складываются из целого ряда процессов, протекающих в масляной системе и, в первую очередь, окисления масла.

На процесс старения масла оказывают влияние следующие факторы:

- параметры дизеля, определяющие его теплонапряженность;
- эффективность применяемых агрегатов очистки масла;
- условия эксплуатации;
- качество применяемого масла.

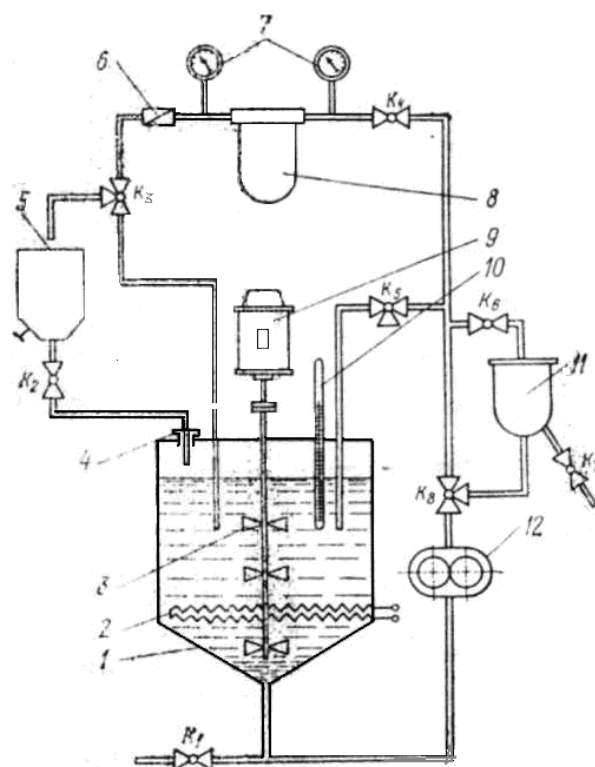
Очевидно, что при неудовлетворительной системе очистки срок службы масла будет недолгим и, наоборот, при надлежащем устройстве агрегатов очистки масла, представляется возможным обеспечить более продолжительный срок службы масла, без ущерба для надежности и долговечности работы дизеля. Для изготовления фильтров тонкой очистки масла на зарубежных тепловозах все большее применение находит фильтровальная бумага. Фильтрующие материалы должны иметь: структуру, обеспечивающую высокую проницаемость для фильтруемого масла; высокую степень фильтрации, характеризующуюся тонкостью отсева частиц загрязнений; минимальное гидравлическое сопротивление; устойчивость к тепловому и химическому воздействию фильтруемого масла; влагуустойчивость; минимальную толщину при высокой механической прочности и износостойчивости; равномерную поровую структуру по всей поверхности фильтрующей перегородки.

Тонкость отсева характеризуется минимальными размерами частиц загрязнений, которые удерживаются фильтром, и зависит от размеров поровых каналов фильтрующей перегородки. Полнота отсева характеризует способность фильтра задерживать твердые частицы, находящиеся в загрязненном масле и выражается коэффициентом полноты отсева.

Срок службы фильтра зависит от режима работы и условий эксплуатации дизеля, конструкции фильтра, фильтрующего элемента, а также от эффективности и качества примененного фильтрующего материала; качества масла.

Для оценки качеств новых масляных фильтров и новых фильтрующих материалов необходимо проводить полномасштабные исследования. Прежде всего, безмоторные испытания в лабораторных условиях, при которых определяются герметичность фильтров; гидравлическая характеристика, по которой оценивается пропускная способность фильтрующих элементов; изменение концентрации загрязняющих примесей в масле; изменение перепада давления или расхода масла через фильтр; полнота отсева. Таким образом, в лаборатории на безмоторных установках определяются типовые характеристики и параметры новых фильтров очистки масла, а также проверяется качество изготовления фильтрующих элементов заводами-поставщиками.

Безмоторная установка (рис. 1) состоит из бака 1 цилиндрической формы. Внутри бака установлены мешалка 3 с электроприводом и сливная трубка масляного насоса. Для замера температуры масла в баке установлен термометр 10 со шкалой до 100⁰С. Циркуляция масла осуществляется масляным насосом 12, который приводится в действие электродвигателем. Насос 12 нагнетает по маслопроводам через кран К₄ масло в корпус испытываемого фильтра тонкой очистки 8, а контроль за давлением масла до и после фильтра производится манометрами 7. Для замера масла, поступающего из фильтра, устанавливается тарировочный бачок 5, имеющий сливной кран К₂. Интенсивность подогрева масла в баке регулируется электронагревателем 2 [5].



1 – бак; 2 – электронагреватель; 3 – мешалка с электроприводом; 4 – люк бака;
 5 – тарировочный бачок; 6 – расходомер; 7 – манометры;
 8 – испытываемый фильтр тонкой очистки; 9 – электродвигатель;
 10 – термометр; 11 – технологический фильтр; 12 – масляный, насос; К₁ – К₈ – вентили.

Рисунок 1. Схема безмоторной установки для испытания масляных фильтров тонкой очистки

Выводы

Исходя из чрезвычайно сложных условий эксплуатации подвижного состава на железных дорогах РК группой компаний АКТАН для зарубежных тепловозов, внедряется технология изготовления фильтров очистки воздуха, топлива и масла с использованием новых фильтрующих материалов, прогрессивных технологии и оборудования. Учитывая большое влияние на износ деталей и экологические показатели тепловозных дизелей фильтров очистки воздуха, топлива и масла, их массовое применение целесообразно только после проведения полномасштабных стендовых исследований и испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целиков В.В., Альмаханов К.А., Бисалиев И.Ж. Анализ эксплуатационных факторов, определяющих токсичность отработавших газов тепловозных дизелей / Межвузовский сборник научных трудов, «Проектирование, строительство и эксплуатация транспортно-коммуникационных сооружений», выпуск 3, Алматы, 1999, с.123-126.
2. Харламов П.Г., Кузьмич В.Д., Пахомов Э.А. Воздушные, масляные и топливные фильтры тепловозов. М., Транспорт, 1965, 68 с.
- 3 Носырев Д.Я., Скачкова А.Е., Росляков А.Д. Выбросы вредных веществ локомотивными энергетическими установками. М. Маршрут, 2006, 352 с.
- 4 . Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. М., АН СССР, 1947, 147 с.
5. Глыбин Ф.И. Автотракторные фильтры. Справочник. Л., Машиностроение, 1980, 181 с.