

## **К ВОПРОСУ НАГАРООБРАЗОВАНИЯ В ФОРСИРОВАННЫХ ДВУХТАКТНЫХ ДИЗЕЛЯХ ТИПА 6ТД**

*Н.К. Рязанцев, д-р техн. наук., генеральный конструктор, В.З. Бычков, вед. инж.,*

*П.Я. Перерва, канд. техн. наук, нач. сектора, Н.В. Клименко, вед. инж., нач. лаб.,*

*А.Ф. Доровской, нач. отдела,*

*Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", г. Харьков, Украина*

Ухудшение технического состояния двухтактного форсированного дизеля в эксплуатации неразрывно связано с отложениями нагара в газозвушном тракте, в поршневых канавках и на других деталях цилиндро-поршневой группы. Образовавшийся нагар уменьшает проходные сечения в органах газораспределения и проточной части турбины, что приводит к снижению коэффициентов наполнения цилиндров свежим зарядом, избытка воздуха на сгорание и продувки. В результате этого уменьшается расход воздуха через цилиндры, повышается теплонпряженность деталей цилиндро-поршневой группы, что в конечном итоге ограничивает ресурс и надежность работы дизеля в целом.

Причины нагароотложений в этих дизелях изучены недостаточно. В настоящее время нет эффективных способов предупреждения или снижения нагара в сечениях и полостях газозвушного тракта, лимитирующих его производительность. Отсутствует единое мнение об источниках нагарообразования и степени влияния скоростного и тепловых режимов работы дизеля на его образование. В связи с этим разработка способов снижения уровня нагарообразования в дизелях как на этапе проектирования, так и в условиях эксплуатации является актуальной научной и практической задачей.

Авторы ряда работ [1 - 3] связывают нагарообразование в дизелях с теплонпряженностью деталей, интенсивным окислением, разложением и коксованием углеводородов масла, образованием при длительной работе твердых нерастворимых веществ, которые накапливаются в масле и откладываются на сильно нагретых деталях дизеля. В начальной фазе образова-

ния нагара в результате высокотемпературного окисления масла в тонком слое появляется смолисто-лаковая пленка. Последующие фазы - роста и равновесного состояния нагара происходят довольно быстро и на установившемся режиме толщина нагара тем быстрее достигает своего предельного значения, чем выше температурный режим и меньше термоокислительная стабильность моторного масла. Как только слой нагара достигнет предельного состояния, его рост прекращается и устанавливается равновесие: толщина слоя нагара остается постоянной и не зависит от продолжительности работы дизеля. При изменении режима работы двигателя или расхода масла на угар количество ранее отложившегося нагара может либо уменьшаться (вследствие выгорания), либо увеличиваться.

Как показали результаты выполненных авторами исследований по моделированию процессов лако-нагарообразования на поршне и в окнах цилиндров, неоправданно занижается роль продуктов неполного сгорания топлива в виде твердых сажистых частиц, которые проникают с маслом в полость картера из камеры сгорания и накапливаются в масле в виде нерастворимых веществ. Опыты проводились на моторной установке с дизельным двигателем 1С 8/11, где с помощью свидетелей: Са - элемент металлоорганических присадок масла МТ-16П и Мп в топливе - элемент введенной присадки ЦТМ, изучались процессы загрязнения масла в картере дизеля сажистыми частицами. Нагарообразующие свойства масла определялись на приборе "Плита", где имитировались процессы, происходящие в окне цилиндра двигателя.

Проведенные испытания на режимах нагрузочной

характеристики при  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$  в зависимости от состава топливно-воздушной смеси - коэффициента избытка воздуха на сгорание топлива ( $\alpha$ ) и смене масла после 30 часов работы на каждом режиме показали, что после даже непродолжительной работы дизеля масло в картере темнеет, в нем появляются вещества в виде механических примесей, нерастворимых в бензине (НРБ), органического и неорганического происхождения, увеличиваются кинематическая вязкость, зольность и снижается щелочное число.

Такие изменения физико-химических свойств связаны с загрязнением масла твердыми сажистыми частицами продуктов неполного сгорания топлива, причем интенсивность загрязнения и лако-нагарообразования на поршне увеличиваются по мере уменьшения  $\alpha$  и увеличения содержания сажи в продуктах сгорания. Снижение  $\alpha$  от 2,5 до 1,6 увеличивает интенсивность поступления сажи в масло примерно в 5 раз (с 0,5 до 2,4 г/ч), при этом количество поступившей сажи в масло относительно ее содержания в продуктах сгорания не изменяется и составляет 6...7 %. Динамика накопления НРБ в масле и отложений на поршне в баллах показаны на рис. 1.

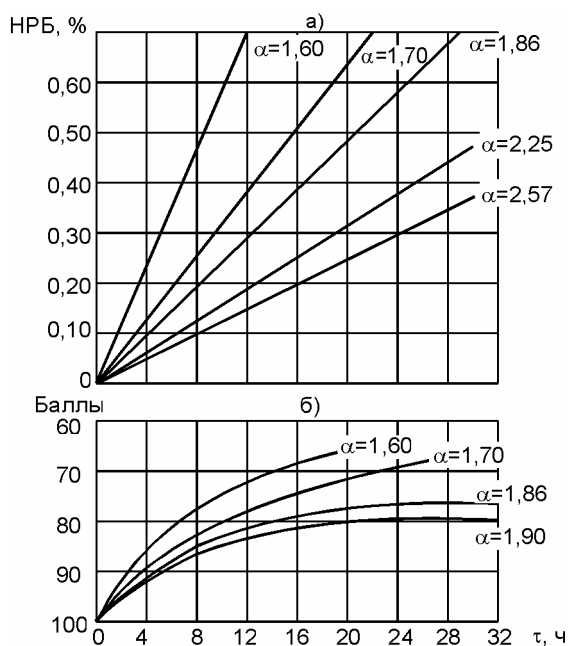


Рис. 1. Динамика накопления НРБ в моторном масле (а) и загрязнения поршня дизеля 1С 8х11 при работе на режимах с различным составом топливно-воздушной смеси (б)

Суммарная оценка лако-нагароотложений на поршне проводилась по 100-балльной отрицательной шкале английского стандарта IP175/64 [2] с учетом отложений в поршневых канавках, на поршневых кольцах, на перемычках канавок и юбке поршня.

По результатам лабораторных исследований нагарообразующие свойства проб масла МТ-16П, отобранных после 30 часов работы на каждом режиме, неодинаковы. При набрызгивании масла, нагретого до температуры 130°C, на плиту с температурой 330°C (в течение 3 часов с периодичностью 10 с - набрызгивание и 4 мин - остановка) количество нагароотложений на её поверхности увеличивается пропорционально содержанию в пробах масла НРБ (рис. 2).

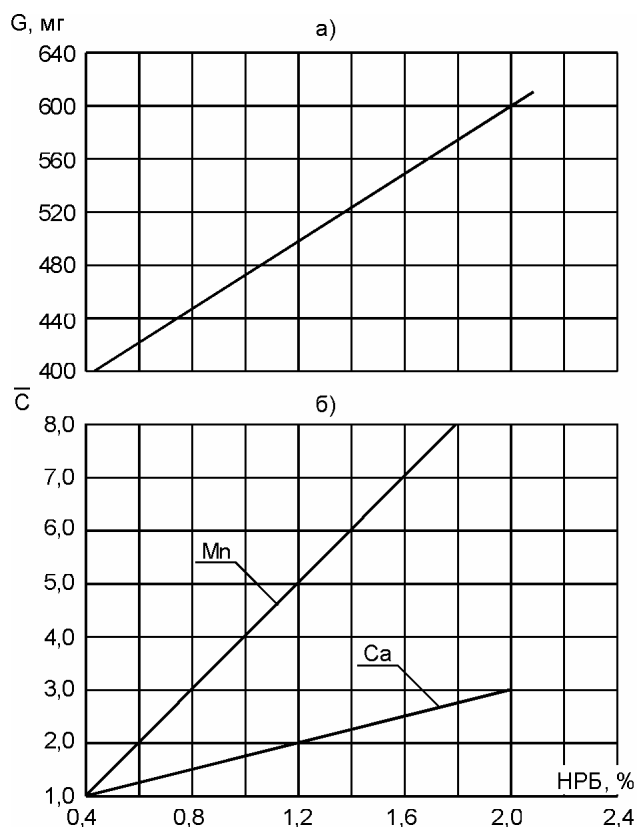


Рис. 2. Зависимость количества нагара и содержания в нём продуктов топливного и масляного происхождения от НРБ в работавшем масле:

а – количество нагара,  
б – относительное содержание в нагаре продуктов топливного (Mn) и масляного (Ca) происхождения

Прирост массы отложений осуществляется как за счет продуктов масляного, так и топливного происхождения, однако преобладающее влияние на нагарообразование оказывают продукты топливного происхождения (сажистые частицы). Об этом свидетельствуют результаты спектрального анализа отложений с плиты на содержание Са и Мп, которые были выбраны в качестве свидетелей для определения источников нагарообразования.

Из показанных на графиках (рис. 2) зависимостей видно, что приращение концентрации Мп (введенного в топливо) в отложениях, полученных на плите, значительно больше, чем Са.

Кроме того, были проведены исследования нагарообразующих свойств моторных масел М-16 ИХП-3, Галол М-4042 ТД и М-8В<sub>2</sub> с различным уровнем антинагарных свойств в зависимости от температуры плиты (рис. 3).

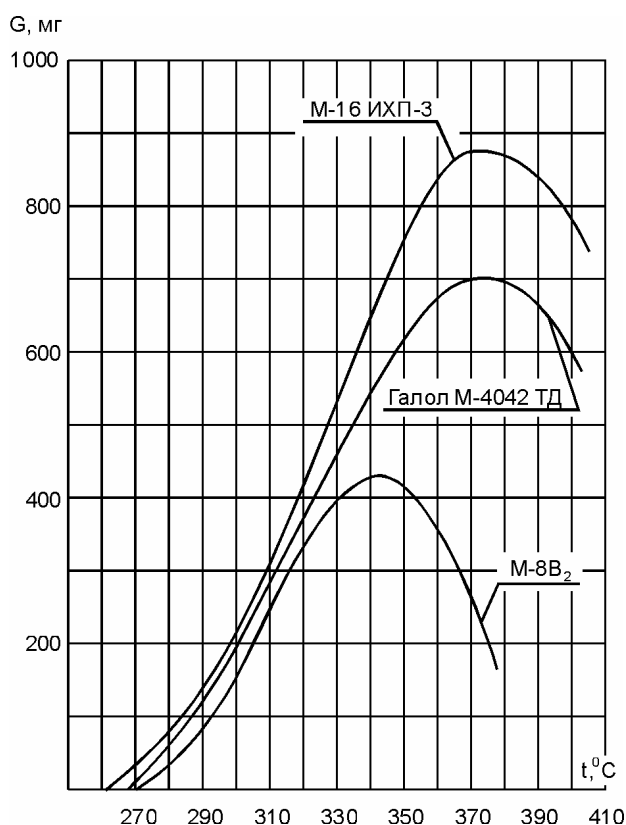


Рис. 3. Зависимость нагарообразующих свойств моторных масел от температуры плиты

Видно, что температура плиты в диапазоне 270...400  $^{\circ}\text{C}$  оказывает существенное влияние на нагарообразование.

Прирост массы отложений происходит при увеличении температуры до определенного предела (различного для каждого из исследованных масел), затем масса нагара снижается за счет выгорания. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уменьшение нагарообразования может быть достигнуто также посредством снижения температуры, контактирующей с маслом поверхности, применения масла с более высоким уровнем термоокислительной стабильности и антинагарных свойств.

Зависимости, полученные при моделировании процессов нагарообразования, подтверждаются результатами стендовых испытаний большого количества двухтактных дизельных двигателей 5ТДФ (12/2х12) с литровой мощностью 52 л.с.

Напряженные режимы работы двухтактного форсированного дизеля, особенно по внешней характеристике, приводят к накоплению в масле сажистых частиц, окислению и старению его, образованию углеродистых высокотемпературных отложений в выпускных окнах, продувочных отверстиях цилиндров, в канавках поршневых колец, полостях выпускных коллекторов и др.

Интенсивность протекания этих процессов зависит от величины коэффициента избытка воздуха, который, как было показано выше, имеет исключительно важное значение для предотвращения нагарообразований на деталях газозооушного тракта и цилиндропоршневой группы современных дизелей. Об этом свидетельствуют также данные, приведенные на графике (рис. 4), где показано влияние суммарного коэффициента избытка воздуха ( $\alpha_f$ ) на закоксованность выпускных окон цилиндров по результатам длительных испытаний двигателей 5ТДФ на масле М-16 ИХП-3 при различной температуре окружающего воздуха 0...40 $^{\circ}\text{C}$ .

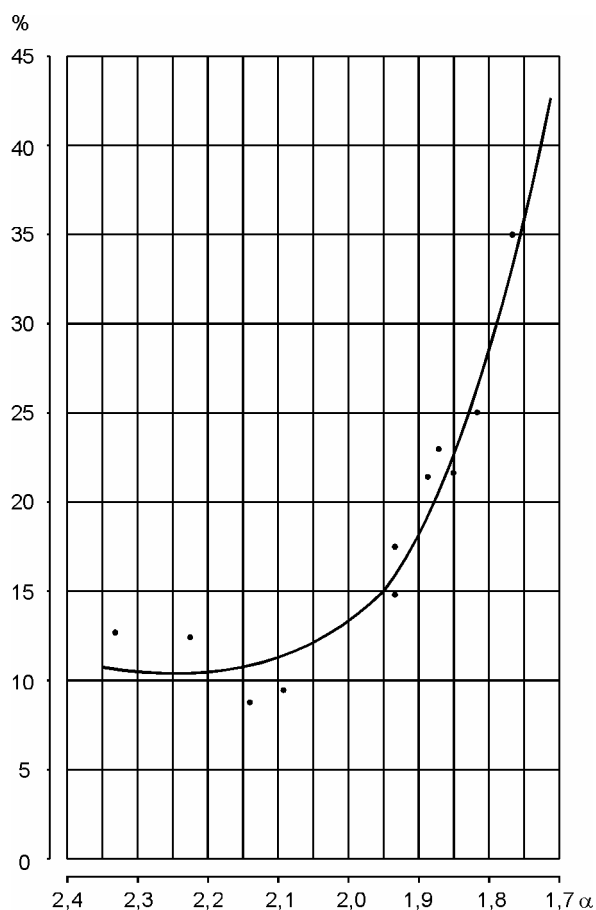


Рис. 4. Влияние суммарного коэффициента избытка воздуха на закоксованность выпускных окон цилиндров двигателя 5ТДФ за время гарантийной наработки

Из показанных на графике зависимостей следует, что при  $\alpha = 2,0 \dots 2,1$  и выше закоксованность выпускных окон цилиндров небольшая и не оказывает существенного влияния на параметры рабочего процесса. Однако при уменьшении  $\alpha$  до 1,9 и ниже (значения, соответствующие высоким температурам окружающего воздуха) увеличивается неполнота сгорания топлива, что приводит к повышению интенсивности лако-нагарообразований на окнах, вследствие чего закоксованность резко возрастает.

Для уменьшения нагароотложений в двигателе 5ТДФ и его модификациях по результатам проведенных исследований были разработаны мероприятия, направленные на снижение содержания в продуктах сгорания сажистых частиц, температуры стенок окон цилиндров, а также на повышение диспергирующих и антинагарных свойств масла. С этой целью были оптимизированы параметры наддува, обеспечивающие

сгорание топлива при более высоких значениях  $\alpha$ , повышена эффективность процесса смесеобразования за счет внедрения цилиндра [4] с винтообразной формой боковых стенок продувочных окон (вместо отверстий) и увеличенной фазой открытия продувочных окон для уменьшения "заброса" газа, организовано охлаждение перемычек окон цилиндра водой, а также разработано совместно с ведущими предприятиями Украины новое моторное масло Галол М-4042 ТД [5].

Реализация этих мероприятий позволила снизить уровень нагароотложений на деталях газозвушной системы и цилиндро-поршневой группы дизелей при лучших значениях экономических и экологических показателей и обеспечила дальнейшее форсирование параметров рабочего процесса при создании двигателей типа 6ТД с литровой мощностью до 74 л.с., а также их надежность и моторесурс при эксплуатации в жарких климатических зонах.

#### Литература

1. Папок К.К., Пискунов В.А., Юрени П.Т. Нагары в реактивных двигателях.- М.: Транспорт, 1971.- 120 с.
2. Дерябин А.А. Смазка и износ дизелей.- Л.: Машиностроение, 1974.- 170 с.
3. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания.- М.: Химия, 1979.- 120 с.
4. Улучшение газообмена форсированного двухтактного дизеля за счет оптимизации формы выпускных окон цилиндров / В.З. Бычков, Ю.С. Бородин, С.А. Алёхин, П.Я. Перерва // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2001.- Вып. 26.- С. 52-60.
5. Рязанцев Н.К., Бородин Ю.С., Бычков В.З. Моторное масло Галол М-4042 ТД для форсированных дизелей военно-гусеничных машин // Вестник Харьковского политехнического университета.- 2000.- Вып. 101.- С. 164-168.

*Поступила в редакцию 02.06.03*

**Рецензенты:** канд. техн. наук, нач. отдела П.Е. Куницын, КП ХКБД, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор А.П. Кудряш, ИПМаш НАН Украины, г. Харьков.