

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

МРНТИ 61.51.35

А.М. Биниязов¹, А.С. Денисов¹

¹Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А.Гагарина, г. Саратов, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФИЛАКТИКИ СМАЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ ФОРСИРОВАННЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ КАМАЗ-ЕВРО*

Аннотация. В качестве моющих и диспергирующих присадок используют высокощелочные сульфонаты, алкилсалицилаты а также алкилфеноляты и различные другие соли сульфокислот и карбоновых кислот и от их концентрации в масле зависит снижение интенсивности образования углеродистых отложений. На основе закона действующих масс получена зависимость концентрации исходного вещества от времени. При составлении исходного дифференциального уравнения расхода щелочной присадки в процессе работы учтены параметры долива масла. Обоснована оптимальная периодичность замены масла в форсированных дизелях КамАЗ Евро, которая аппроксимируется полиномом второй степени. Определена оптимальная наработка до замены. С учетом различной интенсивности изменения щелочности масла в процессе работы были определены параметры зависимости по различным группам автомобилей. Получена погрешность щелочности при доверительной вероятности 80 %. Определены нормативные (предельные) значения моторного масла.

Ключевые слова: форсированные дизели, моторное масло, периодичность замены масла, нормативные показатели масла.

Түйіндеме. Жуғыш және ыдырағыш қоспа ретінде жоғары сілтілі сульфонаттар, алкилсалицилаттар, сондай-ақ алкилфеноляттарды және сульфатты қышқылдар мен карбон қышқылдарының өзге де тұздарын қолданады,

**Источник финансирования исследований – Управление технологического транспорта "Югтрансгаз", г. Саратов, Россия.*

май құрамында көміртекті түзілімдердің пайда болу қарқындылығы осылардың шоғырлауына байланысты болады. Өрекет етуші массалар заңының негізінде бастапқы заттың шоғырлануының уақытқа тәуелділігі анықталды. Жұмыс үрдісіндегі сілтілі тұнбаның шығынының бастапқы дифференциалды төндеуін құру кезінде майды еселеп құю өлшемдері ескерілген. КамАЗ-Евро форсирленген дизельдеріндегі майды ауыстырудың оңтайлы кезеңділігі негізделген, ол екінші дәрежелі полиноммен жуықтатылады. Ауыстыруға дейінгі ұтымды пайдаланым анықталған. Жұмыс үрдісі кезіндегі майдың сілтілілігінің өзгеріп отыру қатқынындағы айырмашылықты есепке ала отырып, автомобильдердің түрлі топтары бойынша тәуелділік өлшемдері анықталған. 80 % сенімгерлік ықтималдықта сілтіліліктің дәлсіздігі белгіленген. Мотор майының нормативті (шектік) мәндері де анықталған.

Түйінді сөздер: форсирленген дизельдер, мотор майы, май ауыстыру кезеңділігі, майдың нормативті мәндері.

Abstract. As detergent and dispersant additives are used overbased sulfonates, alkyl salicylates and various other salts of sulfonic acids and carboxylic acids and their concentration in the oil is dependent decrease intensity of carbonaceous deposits formation. On the basis of the mass law action received the concentration dependence of the starting material with time. In drawing up the initial differential equation consumption of alkaline additives in the process during operation are taken parameters topping up the oil. Optimum oil change intervals in the forced diesel engines КамАЗ-Euro was justified, which is approximated by a polynomial of the second degree. Optimum operating time before replacement was determined. With considering the differences in the intensity changes alkalinity of oil in the process have been identified parameters, depending on the different groups of vehicles. Alkalinity error at a confidence level of 80 % was obtained.

Key words: high-powered diesel engines, engine oil, oil drain interval, oil quality standards.

Введение. Повышение надёжности автотракторных двигателей является важной задачей для экономики страны. Отказы двигателей, обусловленные изнашиванием, вызывают длительный простой техники, значительный расход запасных частей, усложняют эксплуатацию машин. В нашей стране на выпуск запасных частей расходуется до 50 % средств, отведенных на выпуск новых машин [1].

Затраты на капитальный ремонт автотракторных двигателей составляют 70-80 % их стоимости, а вторичный ресурс –

30-40 % [2]. За весь срок службы автотракторных двигателей на обеспечение их работоспособности расходуется средств в 5-6 раз больше, чем на изготовление [3]. Поэтому повышение надёжности автотракторных двигателей путем совершенствования процессов смазки является актуальной задачей.

Методы исследования. Содержание присадок в моторных маслах с форсированием автомобильных двигателей постоянно повышается. Особенно это относится к моюще-диспергирующим и вязкостным присадкам. Назначение моюще-диспергирующих присадок – снижение интенсивности образования углеродистых отложений, главным образом на цилиндропоршневой группе и турбокомпрессоре. В качестве моющих и диспергирующих присадок используют высокощелочные сульфонаты, алкилсалицилаты, а также алкилфеноляты и различные другие соли сульфокислот и карбоновых кислот.

Моющие присадки по своему действию подразделяются на детергенты и дисперсанты. Детергенты (detergents) [1] являются поверхностно-активными веществами, обладающими моющими свойствами, защищающими поверхность деталей от прилипания и скопления на них продуктов окисления. Анионными детергентами обычно бывают маслорастворимые алкилбензолсульфонаты, фосфонаты и другие аналогичные соединения. Они имеют щелочные свойства и являются эффективными нейтрализаторами кислых продуктов окисления.

Сульфонаты, фосфонаты и другие детергенты являются солями металлов, поэтому при сгорании образуют золы. Такие присадки называют высокозольными. В настоящее время наряду с ними используются новые органические синтетические детергенты, которые называются малозольными или беззольными присадками. В современных моторных маслах применяют сложные композиции из обоих детергентов. Особую активность детергенты проявляют в горячем двигателе, что следует учитывать при замене масла.

Дисперсанты (dispersants) [1] подавляют агломерацию и слипание продуктов окисления, образование шлама и осаждение смолистых отложений на поверхности деталей. В качестве

дисперсантов обычно используются полимеры с полярными группами и сукцинимиды. Дисперсанты поддерживают коллоидные частицы продуктов окисления и загрязнений во взвешенном состоянии. В основном они поддерживают чистоту непрогретого двигателя. При эффективной работе дисперсантов моторное масло темнеет, а диспергированные мелкие продукты окисления не забивают фильтры и не осаждаются на горячих деталях двигателя.

Закономерности изменения концентрации присадок в масле в процессе эксплуатации основаны на законах химической кинетики. Скорость химической реакции в растворе определяется изменением числа молекул вещества dn в единицу времени dt в единице объема V :

$$v = \pm \frac{1}{V} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

Знак плюс используют, если скорость определяется по продукту, а минус – по исходному веществу.

Скорость реакции зависит от природы реагирующих веществ, их концентрации, температуры и наличия катализатора. Зависимость скорости реакции от концентрации описывается законом действующих масс: скорость химической реакции в каждый момент времени пропорциональна текущим концентрациям реагирующих веществ C , возведённым в некоторые степени:

$$v = kC_A^x C_B^y \quad (2)$$

где k – константа скорости (не зависящая от концентрации);

x, y – некоторые числа, которые называют порядком реакции по веществам А и В соответственно.

На основе закона действующих масс получена зависимость концентрации исходного вещества от времени

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (3)$$

Интегрируя это уравнение в пределах от 0 до t , получим

$$C = C_0 \exp(-kt) \quad (4)$$

Работа автомобильного двигателя оценивается пробегом автомобиля, который при сложившихся условиях эксплуатации прямо пропорционален времени, поэтому уравнения (3) и (4) с использованием пробега l примут вид:

$$-\frac{dC_A}{dl} = kC_A \quad (5)$$

$$C = C_0 \exp(-kl) \quad (6)$$

Схематично зависимость (6) изображена на рис. 1.

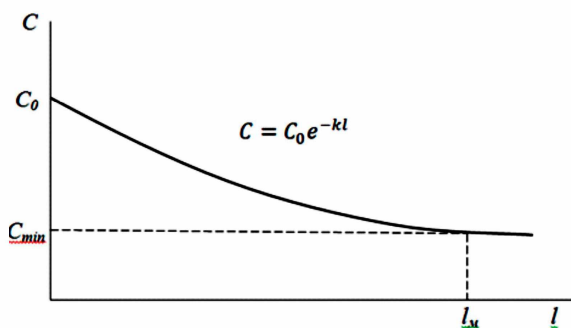


Рис. 1. Закономерность изменения щёлочности моторного масла в процессе работы без долива

Однако эти уравнения справедливы при постоянном объёме масла в смазочной системе. В процессе эксплуатации автомобиля повышается расход масла на угар, предельное значение которого составляет 2-2,5 % [2]. Так, для автомобиля КамАЗ-6520 с двигателем КамАЗ-740.51-320 расход топлива составляет 39 л/100 км. При месячном пробеге 4,5-5 тыс. км (по отчётным данным) расход масла на угар составит 35-48 л. Даже если принять средний расход масла на угар в 2 раза меньше предельного, то расход масла в месяц составит 17-24 л, что соизмеримо с объёмом смазочной системы. Поэтому при составлении исходного дифференциального уравнения расхода щелочной присадки в процессе работы необходимо учитывать параметры долива масла. В процессе эксплуатации двигателя с по-

стоянным количеством масла G в масляной системе (при доливе масла, равном его угару), количество щелочной присадки c зависит от исходного c_0 количества, интенсивности расхода α_c щелочной присадки, отнесённой по всему количеству масла в системе в долях единицы c , на нейтрализацию продуктов окисления, интенсивности угара Q_y и долива Q_0 масла [1].

За пробег dl количество щелочной присадки уменьшается на dc в единице объёма масла или G_{dc} во всём объёме. Такое уменьшение произойдёт из-за расхода щелочной присадки на нейтрализацию продуктов окисления за этот пробег $\alpha_c c dl$, потери щелочной присадки со сгоревшим маслом $Q_y c dl$ и поступления щелочной присадки при доливе масла $Q_0 c_0 dl$; поскольку $Q_y = Q_0 = Q$

$$Gdc = \alpha_c c dl + c_0 Q dl. \quad (7)$$

Интенсивность, долю α_c расхода единицы щелочной присадки за единицу пробега на нейтрализацию продуктов окисления принимают пропорциональной содержанию серы в топливе и расходу топлива.

После математических преобразований и решения уравнения вначале относительно l получают затем зависимость щёлочности c от пробега l :

$$c = \frac{c_0 \left(Q + \alpha_c c - \frac{Q + \alpha_c l}{G} \right)}{Q + \alpha_c}. \quad (8)$$

При снижении щёлочности ниже значения c_n увеличивается коррозионный износ из-за неполной нейтрализации кислот. Поэтому, если уровень первоначальной щёлочности c_0 большой, а $c > c_n$ при значительном пробеге, то срок замены масла определяется накоплением загрязнений. Схематично процесс изменения щёлочности при доливе масла показан на рис. 2.

В процессе эксплуатации форсирования двигателей, в том числе и использованием турбонаддува, существенно повышается температура деталей, что не учтено в дифференциальном уравнении (7). Скорость большинства реакций увеличивается с

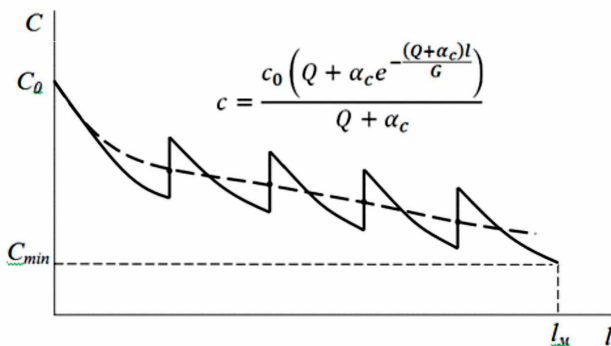


Рис. 2. Закономерность изменения щёлочности моторного масла в процессе работы с доливом

ростом температуры (термоактивируемые процессы). Для количественного описания температурных эффектов в химической кинетике используется уравнение Аррениуса:

$$k(T) = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (9)$$

где R – универсальная газовая постоянная;

A – множитель, определяемый природой реакции;

E_a – энергия активации;

T – абсолютная температура, K .

Если в малофорсированных двигателях температура деталей по мере отложений продуктов окисления масла возрастала на 5-7 °С [2], то в форсированных турбонаддувом дизелях – на 20-30 °С. Это необходимо учитывать при составлении дифференциального уравнения (7), которое запишем в виде:

$$Gdc = -(\alpha_{co} + bl)C - CQdl + C_0Qdl \quad (10)$$

Решение уравнения с помощью программного средства "Matlab 6.5" [4] позволило получить следующее уравнение в общем виде:

$$c = -\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\left(\frac{\pi b}{G}\right)} C_0 Q \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{-2}{C_1}} l - \frac{2\alpha_{co} + 2Q}{2G \sqrt{-2 \frac{b}{C_1}}} \right) \frac{\exp \left(-\frac{b(2\alpha_{co} + bl + 2Q)}{2G} - \frac{(2\alpha_{co} + 2Q)^2}{8Gb} \right)}{b} + \exp \left(-\frac{b(2\alpha_{co} + bl + 2Q)}{2G} \right) C_1 \quad (11)$$

При начальных условиях: при $l=0$, $C=C_0$ получим следующее выражение:

$$C = -\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\left(\frac{\pi b}{G}\right)} C_0 Q \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{-2}{C_1}} l - \frac{2\alpha_{co} + 2Q}{2G \sqrt{-2 \frac{b}{C_1}}} \right) \frac{\exp \left(-\frac{b(2\alpha_{co} + bl + 2Q)}{2G} - \frac{(2\alpha_{co} + 2Q)^2}{8Gb} \right)}{b} + \exp \left(-\frac{b(2\alpha_{co} + bl + 2Q)}{2G} \right) C_0 \frac{\left(-\exp \left(-\frac{\alpha_{co} Q}{Gb} \right) \sqrt{2} \sqrt{\frac{\pi b}{G}} Q \operatorname{erf} \left(\frac{\alpha_{co} + Q}{G \sqrt{-2 \frac{b}{G}}} \right) \exp \left(-\frac{\alpha_{co}^2 + Q^2}{2Gb} \right) + 2b \right)}{\exp \left(-\frac{\alpha_{co} Q}{Gb} \right) \exp \left(\frac{\alpha_{co} Q}{Gb} \right) b} \quad (12)$$

В уравнение входит функция erf , которая имеет характер кумулятивной кривой. Это свидетельствует о наличии точки перегиба в функции щёлочности от наработки. То есть с начала работы свежего масла резко снижается его щёлочность, но скорость реакции снижается и стабилизируется. Затем вследствие роста температуры деталей из-за отложений скорость реакции возрастает (рис. 3).

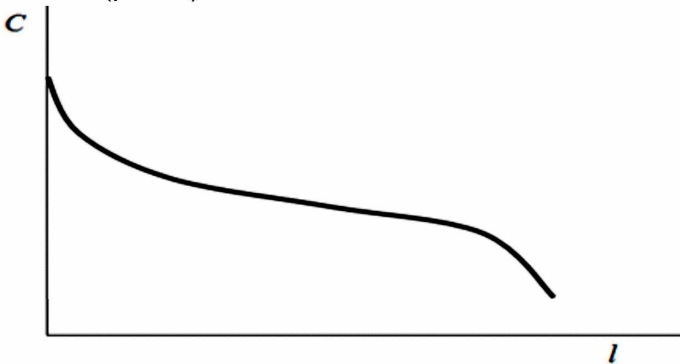


Рис. 3. Закономерность изменения щёлочности моторного масла в процессе работы с доливом и с учётом влияния температуры деталей

Как видно из выражения (12), оно имеет сложный характер, хотя и получено с учётом допущений. Поэтому для практического прогнозирования щёлочности моторного масла в процессе работы это уравнение целесообразно аппроксимировать полиномом третьей степени, имеющим точку перегиба, как и исходное уравнение:

$$y = a + bl + cl^2 + dl^3, \quad (13)$$

где a, b, c, d – параметры кривой, определяемые по экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

При этом характер кривой обуславливает такую устойчивую эксплуатационную особенность, что 50 %-ный износ деталей двигателя происходят в последние 20 % его срока службы [5]. Поэтому от наработки до замены масла существенно зависит надёжность двигателя.

Вязкостные присадки применяются для улучшения вязкостно-температурных характеристик. В иностранной литературе их называют улучшающими индекс вязкости или модификаторами индекса вязкости (*viscosity index improvers, viscosity index modifiers – VIM*). К вязкостным присадкам относятся и депрессанты температуры застывания, действие которых основано на подавлении гелеобразования при низкой температуре из-за кристаллизации парафина.

В качестве вязкостных (загущающих) присадок используют полиизобутилены и полиметакрилаты [1]. Эффект их применения зависит от особенностей масляной основы и объясняется свёртыванием их молекул кольцом при низких температурах и развёртыванием при высоких, что способствует возрастанию вязкости.

Накопление в масле в процессе работы асфальтосмолистых компонентов вызывает повышение его вязкости. Однако вследствие неудовлетворительной работы топливной аппаратуры дизелей, особенно на частичных режимах, часть топлива не сгорает, а попадает в картер двигателя. По этой причине вязкость масла снижается в процессе работы.

Для форсированных автотракторных двигателей характерно снижение вязкости масла в процессе работы, что обусловле-

но ухудшением состояния топливной аппаратуры. За наработку 16-20 тыс. км, т. е. до замены масла, давление впрыска топлива форсунками снижается на 15-20 % [2], что существенно ухудшает качество распыливания и испаряемость. При этом всё большая доля топлива не сгорает, а попадает в картер, разжижая масло. Поэтому тенденцию снижения вязкости моторного масла в процессе работы можно принять аналогичной тенденции снижения щёлочности, т. е. использовать уравнение (13).

Справедливость такого механизма снижения вязкости моторного масла в процессе работы подтверждается и снижением температуры вспышки. Это свидетельствует об увеличении доли лёгких (топливных) фракций в масле. Тенденцию изменения этого показателя в процессе работы масла также можно описать уравнением (13).

Таким образом, изменение показателей состояния моторного масла в процессе работы форсированных двигателей характеризуется тремя фазами вследствие роста температуры из-за отложений на деталях. Это особенно обуславливает срок замены моторного масла.

Результаты исследования. Для определения рациональной периодичности замены моторного масла были проведены эксплуатационные исследования на автомобилях КамАЗ Евро в управлении технологического транспорта "Югтрансгаз" в течение 2-х лет. Анализ проб масла проводился на 20 автомобилях через 2 тыс. км пробега масла. Всего было проанализировано более 100 проб масла.

Использовалось масло ShellRimula R3 X SAE 15W40, которое является аналогом масла M10Д(м) по ГОСТ 8581. При анализе проб масла определяли:

- кинематическую вязкость, сСт,
- температуру вспышки в открытом тигле, °С,
- загрязнённость, см⁻¹,
- щёлочное число, мг КОН/г масла,
- плотность при 20 °С, г/дм³,
- массовую долю воды, %.

Параметры определяли по общепринятой в лаборатории методике [6-10].

Результаты обработки собранных экспериментальных данных приведены на рис. 4-7 и в табл. 1.

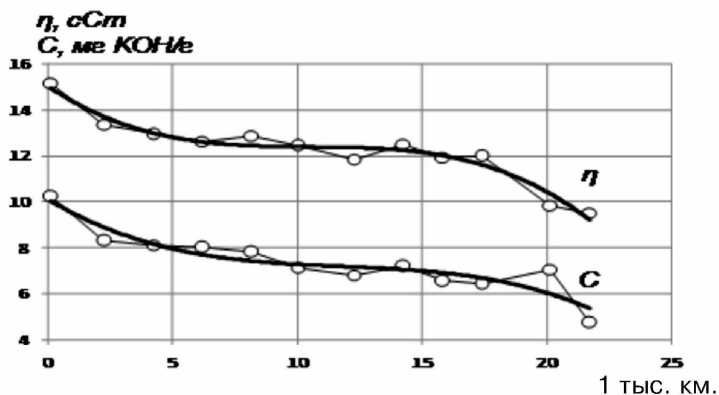


Рис. 4. Изменение щёлочности C и вязкости η в процессе работы моторного масла по автомобилям КамАЗ Евро

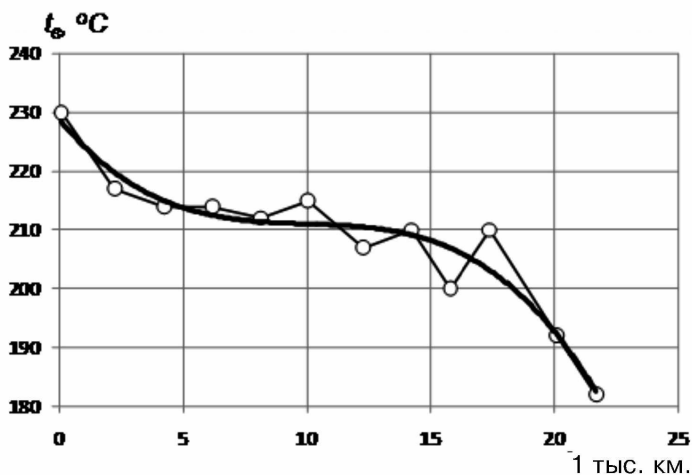


Рис. 5. Изменение температуры вспышки t_v в процессе работы моторного масла по автомобилям КамАЗ Евро

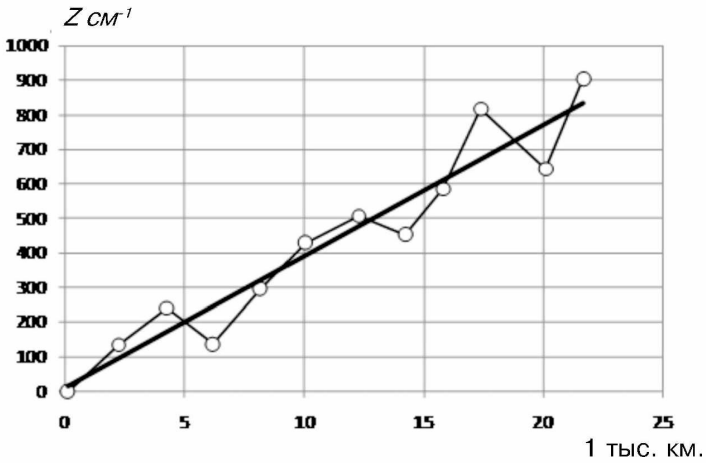


Рис. 6. Изменение загрязнённости Z в процессе работы моторного масла по автомобилям КамАЗ Евро

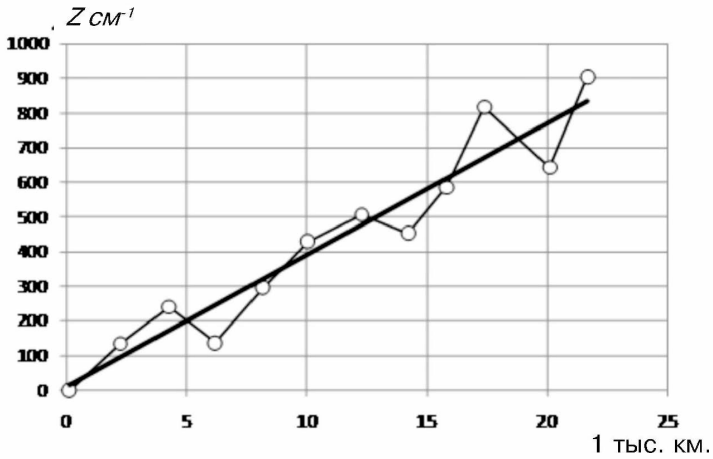


Рис. 7. Изменение плотности ρ в процессе работы моторного масла по автомобилям КамАЗ Евро

В соответствии с параметром достоверности R^2 экспериментальные данные с высокой теснотой связи подтверждают аналитические зависимости. Исключение составляет лишь загрязнённость масла. Рост интенсивности загрязнения масла в процессе работы, вероятно, обусловлен общим ухудшением очистки воздуха из-за потери герметичности уплотнений.

Обычно считают допустимым снижение щёлочности в процессе работы в 2 раза от исходного уровня [1-5]. Судя по кривой (рис. 4) и параметрам (табл. 1), периодичность замены масла может достигать 16-18 тыс. км. Окончательно средняя периодичность замены масла определяется по экономическому критерию, т. е. по минимуму суммарных удельных затрат на замену масла и на обеспечение работоспособности двигателя.

Вязкость за время работы масла до замены снижается почти вдвое, что существенно снижает надёжность в первую очередь подшипников коленчатого вала. Снижение плотности и температуры вспышки в процессе работы масла обусловлено попаданием в него топлива и, как следствие, неудовлетворительным состоянием топливной аппаратуры.

Загрязнённость масла за время его работы возрастает более чем в 5 раз. Это свидетельствует о неудовлетворительном состоянии систем очистки масла и воздуха. Следовательно, видны резервы повышения качества технического обслуживания автомобилей согласно собранным в опорных предприятиях отчётным данным по затратам на профилактику и текущий ремонт двигателей КамАЗ Евро, средняя стоимость масла составляет 200 руб./л.

Обсуждение результатов. Затраты на устранение одного отказа двигателя, связанного с состоянием масла и смазочной системы, составляют в среднем 3500 руб. На этом основании и в соответствии с полученными ранее данными о влиянии периодичности ТО на параметр потока отказов [11], можно определить изменение удельных затрат на ТО и ТР в процессе работы масла (рис. 8).

Таблица 1

**Параметры зависимости показателей состояния
моторного масла от наработки**

Показатель состояния	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> ²
η , сСт	15,02	-0,703	0,068	-0,002	0,95
<i>S</i> , мг КОН/г	10,08	-0,646	0,050	-0,001	0,873
t_{θ} , °С	228,9	-5,091	0,496	-0,016	0,919
<i>Z</i> , см ⁻¹	10,14	37,97	-	-	0,914
ρ , кг/м ³	883,4	-0,902	0,056	-0,001	0,820

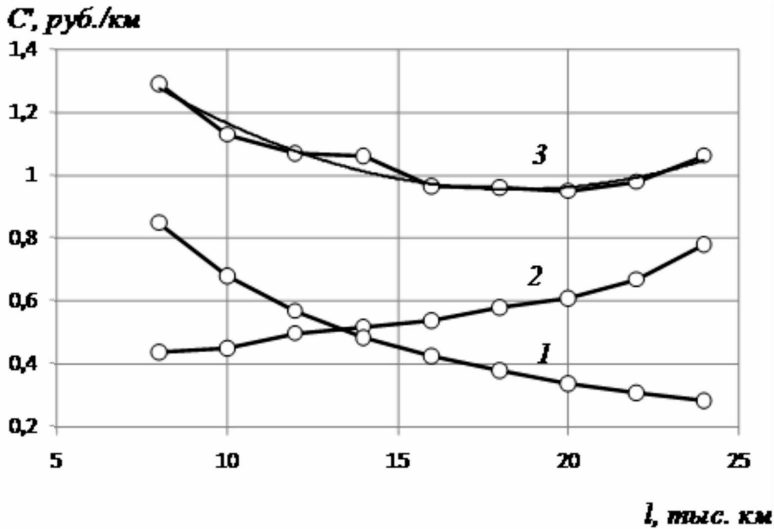


Рис. 8. Зависимость удельных затрат на замену масла (1), на текущий ремонт (2) и суммарных затрат (3) от периодичности замены масла по автомобилям КамАЗ Евро подконтрольной партии

Для определения оптимальной периодичности замены масла аппроксимируем данные кривой 3 (рис. 8) полиномом второй степени в виде:

$$Y = a + bl + cl^2, \quad (14)$$

Экстремум (минимум) данной функции определим из условия:

$$Y' = b + 2cl = 0. \quad (15)$$

Откуда оптимальная наработка до замены масла составит

$$l_{opt} = b/2c. \quad (16)$$

С учётом различной интенсивности изменения щёлочности масла в процессе работы были определены параметры зависимости (14) по различным группам автомобилей (табл. 2). Здесь также представлены оптимальные значения наработки до замены масла по этим группам автомобилей.

Таблица 2

Параметры зависимости (14) и оптимальные значения наработки до замены масла по различным группам автомобилей КамАЗ Евро

a	b	c	l_{opt}	l_{optg}
		В среднем		
1,95	0,108	0,00293	18,4	17,5
		КамАЗ-4311		
1,77	0,0965	0,00257	18,77	17,9
		КамАЗ-5321		
1,778	0,0996	0,0026	19,2	18,3
		НЕФАЗ		
1,919	0,105	0,00296	17,75	16,9

Значения l_{opt} соответствуют среднему значению показателей состояния масла, при котором вероятность отказа составляет 0,5. Однако коэффициент опасности отказа по смазочной системе двигателя составляет в среднем 12, т. е. устранить пропущенный отказ в среднем в 12 раз дороже, чем выполнить про-

филактику смазочной системы. Поэтому для гарантии 80 % безотказности смазочной системы целесообразно определять гарантированную (с вероятностью 80 %) периодичность замены масла l_{opt} .

Для всех автомобилей КамАЗ Евро при доверительной вероятности 80 % получим погрешность щёлочности, равную 0,48. В табл. 2 приведены значения гарантированной оптимальной периодичности замены масла, которой соответствует и нормативное гарантированное значение показателя состояния масла C_{ng} . Используя эту методику, можно определить нормативные значения и других показателей масла (табл. 3).

Таблица 3

Нормативные (предельные) значения показателей состояния моторного масла для форсированных двигателей КамАЗ Евро

Показатель	Среднее, C_n	Гарантированное, C_{ng}
η , сСт	11,0	11,5
S, мг КОН/г	6,5	7,0
t_a , °C	196	202
Z, см ⁻¹	750	690
ρ , кг/м ³	878	878,5

Выводы

Таким образом, рекомендуемые значения наработки до замены масла в среднем на 37 % превышают среднюю периодичность ТО-2 в третьей категории условий эксплуатации. Целесообразно использовать рекомендованные предельные значения показателей состояния масла при его замене по результатам анализа. Отработавшее масло может быть хорошим сырьём для регенерации и последующего использования в малофорсированных и среднефорсированных дизелях.

Список литературы

1 *Балтенас Р., Сафонов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В.* Моторные масла. Производство. Свойства. Классификация. Применение. – М.: СПб.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.

2 *Басков В.Н., Денисов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В.* Эксплуатационные факторы и надежность автомобиля. – Там же. – 272 с.

3 *Федотов А.И.* Диагностика автомобиля: учеб. для вузов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – 468 с.

4 *Денисов А.С., Захаров В.П., Асоян А.Р.* Изменение технического состояния основных элементов дизелей КамАЗ Евро в процессе эксплуатации // Технологические и организационные проблемы сервиса машин и пути их решения: сб. науч. тр. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 16-24.

5 *Денисов А.С., Басков В.Н., Захаров В.П.* Влияние периодичности профилактики на надёжность автомобилей // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 1. – С. 51-52.

6 *Кузьмин Н.А., Борисов Г.В.* Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей. – Нижний Новгород: НГТУ, 2012. – 270 с.

7 *Остриков В.В., Носов А.О.* Теоретические предпосылки выбора способа очистки моторных масел от загрязнений // Научное обозрение. – 2010. – № 2. – С. 33-34.

8 *Шампайн Л.Ф., Гладвел И., Томпсон С.* Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB: учеб. пособие. 1-е изд. – СПб.: Лань. 2009. – 304 с.

9 *Якунин Н.Н.* Методологические основы. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 178 с.

10 *Johnson G.* Failure of components // *Automobile Engineers*, March, 1996. – P. 108-111.

11 *Krause H.R.* Tribomechanical Reaction in the Friction and Wearing Process of Iron // *Wear*. – 1971. – Vol.18, № 3. – P. 403-412.

Биниязов А.М., аспирант, e-mail:abi niyazov@mail.ru

Денисов А.С., доктор технических наук, профессор,
e-mail: denisov 0307@yandex.ru