

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN516.pdf>

Статья опубликована 06.10.2016.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Салмин В.В., Генералова А.А., Бычков Д.С. Определение оптимальных физико-химических параметров моторного масла методом динамического программирования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN516.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 629.332**

**Салмин Владимир Васильевич**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Россия, Пенза  
Заведующий кафедрой «Транспортные машины»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [salmin-penza@yandex.ru](mailto:salmin-penza@yandex.ru)

**Генералова Александра Александровна**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Россия, Пенза  
Доцент кафедры «Транспортные машины»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [generalova\\_aa@mail.ru](mailto:generalova_aa@mail.ru)

**Бычков Дмитрий Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Россия, Пенза  
Студент 5 курса факультета машиностроения и транспорта  
E-mail: [deciptikon@mail.ru](mailto:deciptikon@mail.ru)

## **Определение оптимальных физико-химических параметров моторного масла методом динамического программирования**

**Аннотация.** Совершенствование технической эксплуатации автомобильных двигателей неразрывно связано с проблемой повышения эффективности их технического обслуживания. Одним из путей решения данного вопроса является широкое внедрение в практику эксплуатации седельных тягачей системы технического обслуживания по фактическому состоянию. Ее применение способствует, в частности, значительному увеличению срока службы моторных масел, т.е. переводу их в разряд «долгорботающих», когда замена моторного масла осуществляется при достижении одним или несколькими его показателями браковочного значения. Такая система, безусловно, способствует экономии и рациональному использованию смазочных материалов в автомобильных ДВС.

Компенсация естественной убыли масла (расход на угар, утечки и т.д.) из системы смазки двигателя осуществляется при этом многочисленными доливами свежего масла. Однако смешение свежего и работающего масла может привести к нарушению устойчивости дисперсной фазы загрязнений и вызвать не только снижение срока службы моторного масла, но и увеличение грязевой нагрузки на фильтрующие элементы маслоочистителей, интенсивное нагаро- и лакообразование, увеличение скорости изнашивания подшипников и деталей ЦПГ.

Рекомендации по процедуре долива основываются на интуитивном подходе и практическом опыте, накопленном работающего персонала. Существующие

экспериментальные данные и их трактовка противоречивы. Требуется, опираясь на современные представления о процессах массообмена в смазочных системах ДВС, разработать научно обоснованную методику организации технического обслуживания автомобильных двигателей в части долива свежего масла для компенсации его естественной убыли и поддержания физико-химических параметров на должном уровне.

В данной статье предложена математическая модель управления кислотным числом моторного масла на основе динамического программирования, позволяющая поддерживать кислотность синтетического масла на оптимальном значении.

**Ключевые слова:** моторное масло; физико-химические параметры; динамическое программирование; присадки; концентрация

Долговечность, надежность и экономичность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) во многом зависят от качества моторного масла. Основным назначением моторного масла является: снижение коэффициента трения и износа трущихся сопряжений, отвод тепла, вынос продуктов износа из зоны трения, повышение герметичности рабочих полостей двигателя, защита от коррозии и т.д.

Для обеспечения всех перечисленных функций моторное масло должно обладать определенными свойствами. Поэтому к моторному маслу предъявляется ряд эксплуатационных требований, степень удовлетворения которым зависит от физико-химических параметров моторного масла.

Моторное масло в ДВС работает в крайне жестких условиях, которые оказывают на него деструктивное воздействие. В результате этих воздействий физико-химические параметры моторного масла изменяются, в результате чего эксплуатационные свойства снижаются и при достижении определенных значений физико-химических параметров масло подлежит замене [1].

Заводы-изготовители назначают периодичность замены моторных масел без учета их реального состояния. Так, для магистральных автомобилей КАМАЗ установлена следующая периодичность замены моторного масла: группы CF- 4 и выше через каждые 30000 км; в двигателе автомобиля Волжского автомобильного завода Лада – Калина следует заменять через 15 тыс. км пробега.

При этом часто заменяются масла, не потерявшие своего качества. В других случаях наоборот, техника работает на маслах, утративших свои физико-химические и эксплуатационные свойства. Недостатком такой системы является повышенный расход масла, достигающий 50% и выше расходов на эксплуатацию автотранспортных средств, а также снижение их технической надежности [2].

Для поддержания двигателя машины в надлежащем состоянии используется огромное количество разнообразных средств, позволяющих надолго продлить жизнь любому автомобилю. Наиболее распространенными такими средствами являются присадки, представляющие собой химические вещества, усиливающие свойства базового масла, заливаемого в двигатель или трансмиссию [3, 4].

Сегодня существует множество разнообразных видов присадок для масла, каждая из которых выполняет определенную функцию. Но, несмотря на их широкое разнообразие, следует признать, что самыми востребованными являются антифрикционные присадки.

Действие антифрикционных присадок направлено на уменьшение трения деталей двигателя, тем самым, увеличивая его моторесурс. Кроме того, использование таких присадок

способствует, пусть и не очень значительной, экономии топлива, что во времена непрекращающегося кризиса является немаловажным преимуществом.

Принцип их действия состоит в том, чтобы на поверхности деталей образовывалась тончайшая маслянистая пленка, исключающая возможность трения между собой механизмов двигателя. Современные производители чаще всего используют в антифрикционных присадках технические жиры и растительные масла, добавляя к ним определенные активные компоненты, способные оказывать положительное воздействие на двигатель автомобиля.

Среди присадок этого типа по составу выделяются две практически значимые группы, содержащие в качестве активных компонентов соединения молибдена и перфторированные полиалканы [4]. Наиболее распространенные молибденсодержащие соединения требуют тщательной дозировки, поскольку зависимость противоизносных свойств масел от концентрации присадок имеет экстремальный характер. При малых концентрациях, составляющих доли процента, а иногда выше, может наблюдаться существенный износ пар трения. Это явление хорошо исследовано в лабораторных и стендовых условиях и по отзывам водителей встречается на практике. Исчерпывающего объяснения этому пока нет, но полагают, что молибден, легко окисляясь на трущихся поверхностях, поглощает растворенный в масле кислород, а многие противоизносные присадки в отсутствие кислоты рода неработоспособны. При небольшой концентрации вносимого с присадкой молибдена образующийся защитный слой недостаточен, что и проявляется в повышенном износе деталей. При повышении концентрации модификатора трения до 3 - 5% износ постепенно снижается до минимума. Вместе с тем нельзя полагать, что чем больше модификатора трения в масле, тем лучше. При слишком высокой его концентрации повышается коррозионная активность моторных масел и снижается их химическая стабильность, характеризуемая индукционным периодом осадкообразования. Попытки использовать перфторалканы показали, что в их присутствии увеличивается количество нагара и отложений в камере сгорания и на деталях топливной аппаратуры [5].

Добавление присадки ПАФ-4 диалкилдитиофосфат молибдена позволяет значительно улучшить антифрикционные и противоизносные параметры двигателя, а также повысить мощностно-экономические показатели, в том числе по расходу топлива и масла. Массовая доля молибдена составляет не более 4% и фосфора не более 2,6%. Применяют в составе моторных масел в концентрации 1,0 - 2%. Однако, добавление этой присадки приводит к увеличению коррозии деталей двигателя, в связи с чем, её необходимо использовать в сочетании с присадкой ДФБ (ТУ 38 1011131-87) - концентратом диалкилдитиофосфата цинка, модифицированного бором в масле. Технология получения присадки позволяет получать ее с повышенным рН. Присадка является термостабильной и обладает, помимо антиокислительных, антикоррозионных и противоизносных свойств, антифрикционным действием. Применяют в составе моторных масел в концентрации 1,0 - 2,2% [4, 6].

Таким образом, необходимо знать и соблюдать точную оптимальную концентрацию присадок. Необходимо иметь расчетный метод для прогнозирования и оптимизации физико-химических параметров моторного масла.

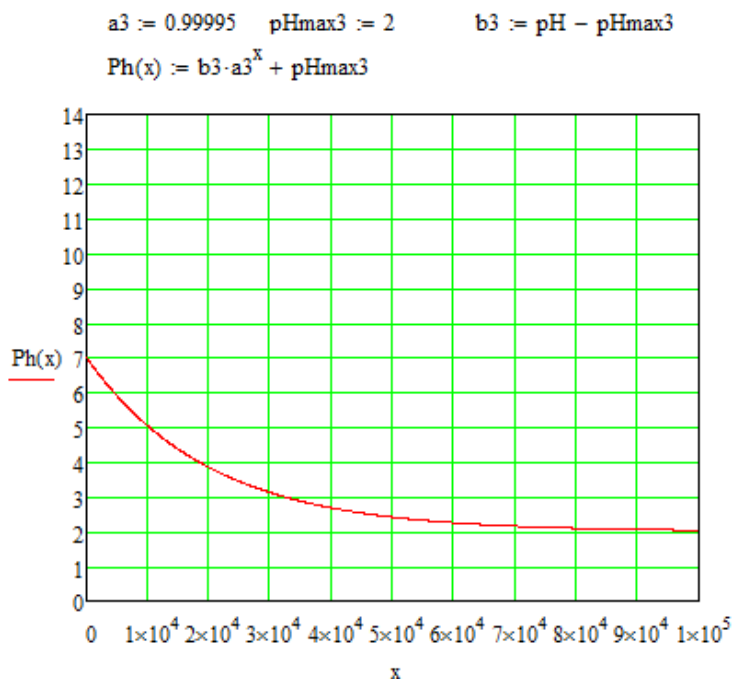
Управлять процессом изменения кислотности моторного масла можно путём динамического программирования, варьируя управляющие величины: концентрацию присадки ПАФ-4 и концентрацию присадки ДФБ, пробег автомобиля. Эти же величины являются и контрольными, так как их можно контролировать. Управляемой величиной является показатель рН.

Динамическое программирование представляет собой оптимальное управление процессом, посредством изменения управляемых параметров на каждом шаге, и,

следовательно, воздействуя на ход процесса, изменяя на каждом шаге состояние системы. Словосочетание «динамическое программирование» впервые было использовано в 1940-х годах Р. Беллманом для описания процесса нахождения решения задачи, где ответ на одну задачу может быть получен только после решения задачи, «предшествующей» ей [7]. При решении задач методом динамического программирования управления на каждом этапе выбираются, исходя из интересов развития процесса в целом.

В рассматриваемой проблеме моделью является работающее моторное масло и его физико-химические параметры, а математической моделью – система математических соотношений, описывающих процесс изменения кислотности моторного масла. Для разработки математической модели изменения кислотности pH работающего моторного масла были использованы результаты исследования изменения физико-химических показателей моторного масла от величины пробега автомобиля. Исследования проводились в автохозяйстве предприятия «ХиммашТранспорт» г. Пензы. Парк автомобилей составляли седельные тягачи марки IVECO, исследованию подвергалось масло LiquMoli. Физико-химические показатели моторного масла определялись по стандартным методикам [6, 8].

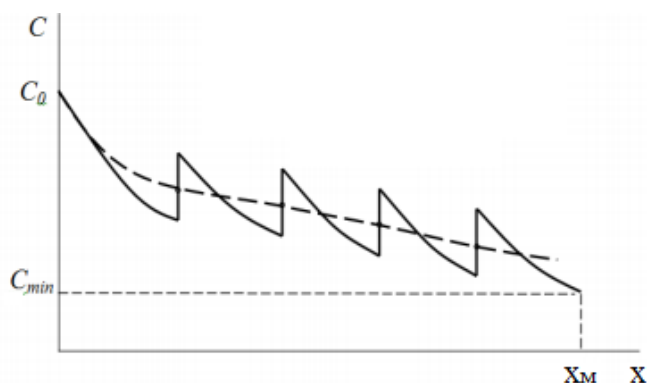
В процессе эксплуатации масла показатель pH уменьшается. График зависимости показателя pH от пробега представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Изменение показателя pH от пробега x

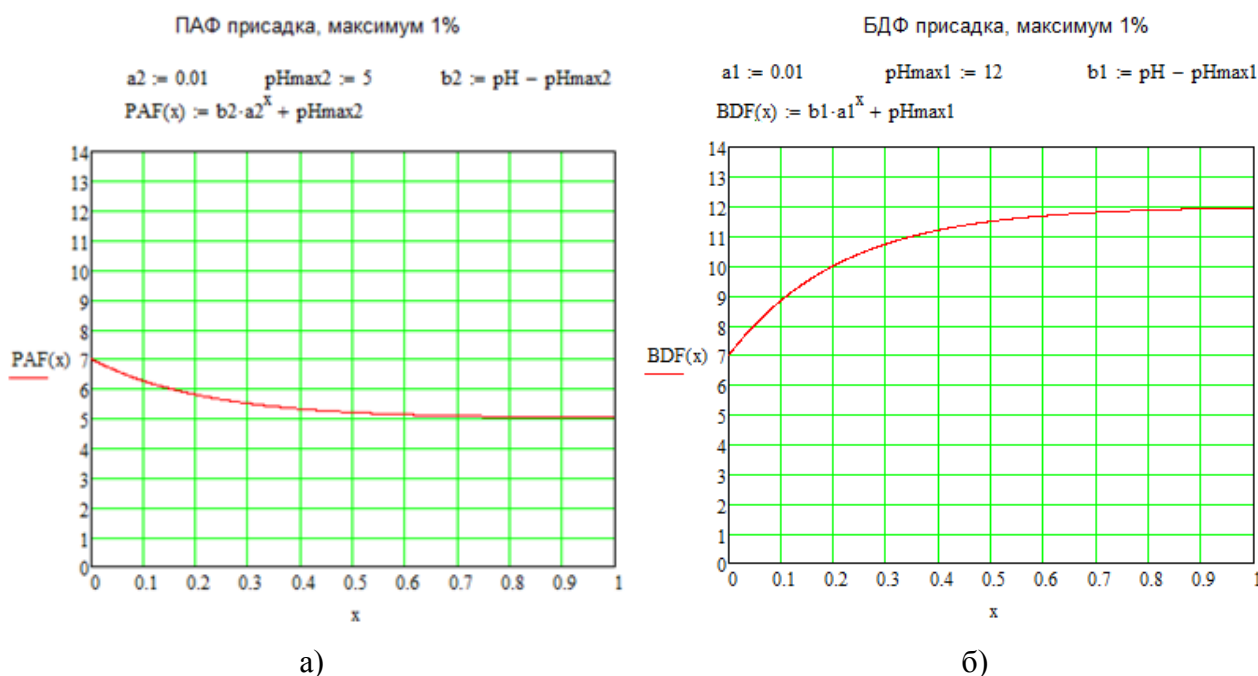
В процессе эксплуатации автомобиля повышается расход масла на угар, предельное значение которого составляет 2-2,5% [9]. Для рассматриваемого автомобиля марки IVECO топливный расход был 39 л/100 км. При пробеге за месяц 4,5-5 тыс. км масляный расход на угар составит 36-48 л.

Добавление присадки ПАФ ведёт к снижению щёлочности масла, и как следствие увеличивается коррозионный износ из-за неполной нейтрализации кислот. Схематично процесс изменения щёлочности при доливе масла показан на рис. 2 [9, 10].



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

Влияние присадки ПАФ и БДФ на кислотное число моторного масла от пробега приведено на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Изменение кислотности масла от пробега x при добавлении присадки ПАФ и ДФБ

Из анализа графиков 3а и 3б видно, что законы изменения физико-химических параметров моторного масла от величины пробега автомобиля не являются линейными. Поэтому для практического прогнозирования кислотности моторного масла в процессе работы эти графики целесообразно аппроксимировать степенной функцией. Вид функций показан на рисунке 3.

В качестве математической модели [11] процесса изменения кислотности моторного масла использовалось уравнение зависимости pH моторного масла от пробега автомобиля и объёмной доли присадок ПАФ и БДФ, периодически добавляемых в масло в течении срока эксплуатации автомобиля:

$$pH_i = Ph(i \cdot 5000) + DFB\left(\frac{k}{m-1}\right) + PAF\left(\frac{1}{m-1}\right) - 2 \cdot pH,$$

где: pH – значение кислотности в нулевой момент времени;

$i$  – порядковый номер мероприятия проверки и добавления масла (в работе проводится с периодичностью 5000 км, следовательно пробег до определённой проверки масла задается выражением  $i*5000$ км, имеет максимальное значение при  $i_{\max}=n$ );

$PH_i$  – значение кислотности на  $i$ -том шаге (каждые 5000 км);

DFB – значение концентрации присадки DFB;

PAF – значение концентрации присадки PAF;

$k$  и  $l$  – характеризуют перебор концентрации присадок ДФБ и ПАФ от 0 до  $m-1$ , где  $m$  – дискретность (долевая часть 1% присадки).

В работе разработана программа в системе автоматизированного проектирования *MathCad*, которая приведена на рисунке 4.

```
PHN(n,m) := | PH0 ← 7
              | for i ∈ 1..n
              |   for k ∈ 0..m-1
              |     for l ∈ 0..m-1
              |       PHi ← Ph(i-5000) + DFB( $\frac{k}{m-1}$ ) + PAF( $\frac{l}{m-1}$ ) - 2·pH
              |       if |PHi - 7| ≤ 0.05 ∧ k + 1 ≤ m - 1
              |         Prs1i ← DFB( $\frac{k}{m-1}$ )
              |         Prs2i ← PAF( $\frac{l}{m-1}$ )
              |         PPHi ← PHi
              |         Prs1Conzi ←  $\frac{k}{m-1}$ 
              |         Prs2Conzi ←  $\frac{l}{m-1}$ 
              | (PPH Prs1 Prs2 Prs1Conz Prs2Conz)
```

**Рисунок 4.** Программа определения оптимальных физико-химических параметров моторного масла методом динамического программирования

Программа состоит из единственной функции  $PHN(n,m)$ , где  $n$  - максимальный пробег  $m - m$  – дискретность (долевая часть 1% присадки). Разработанная программа имеет три вложенных цикла:

- в первом цикле происходит проверка и добавление масла (в работе проводится с периодичностью 5000 км, следовательно, пробег до определённой проверки масла задается выражением  $i*5000$ км, имеет максимальное значение при  $i_{\max}=n$ );
- во втором цикле проводится перебор концентрации присадок ДФБ от 0 до  $m-1$ , где  $m$  – дискретность (долевая часть 1% присадки);
- в третьем - перебор концентрации присадок ПАФ от 0 до  $m-1$ , где  $m$  – дискретность (долевая часть 1% присадки).

РН определяется в зависимости от  $i$ ,  $k$  и  $l$ . Т.о. для  $i$ -того пробега автомобиля определяются  $k$ -ые и  $l$ -ые доли присадок от их максимального значения равного 1% (в  $m$ -долях, т.е.  $k/(m-1)$  и  $l/(m-1)$ ). Например, при  $m=19$  и  $k=3$ , получаем долю присадки ДФБ:

$$DFB = \frac{k}{m-1} = \frac{3}{19-1} = 0,17\%.$$

Оператор `if` позволяет отобрать только оптимальные значения присадок соответствующих условию отбора,

$$pH - 7 \leq 0.05$$

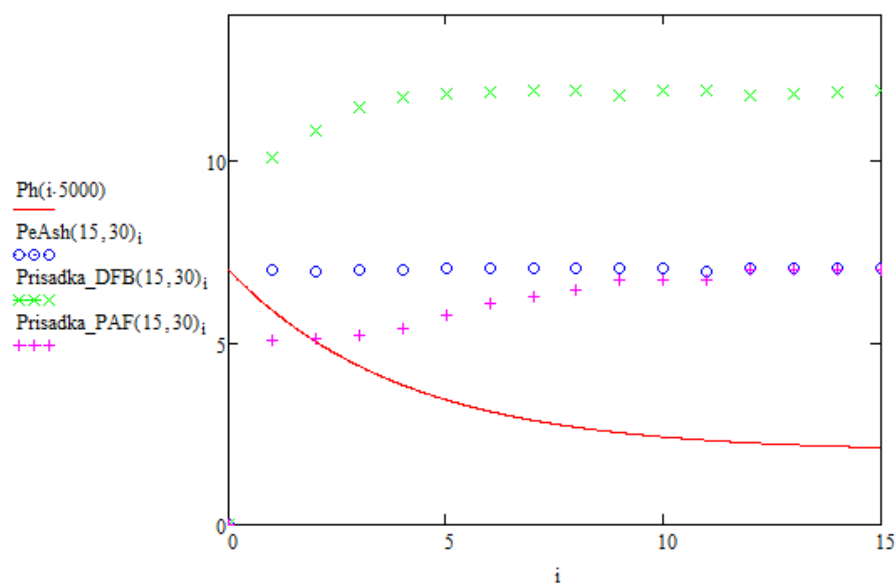
Это означает, что текущее абсолютное значение рН должно отличаться от необходимого (необходимое рН = 7) на величину не более чем на 0.05, при этом

$$k + l \leq m - 1.$$

Суммарная доля текущих значений присадок  $k$  и  $l$  должна быть меньше или равна их максимальной концентрации равной 1% или  $m-1$ , т.к. текущая концентрация равна  $k/(m-1)$ , следовательно, максимальная концентрация равная  $k=m-1$  соответствует  $(m-1)/(m-1)=1$ , то есть 1%.

В результате расчётов получены необходимые для оптимального решения значения управляющих параметров, значения критерия оптимальности в случае оптимального и не оптимального решений, графики (рис. 5) и таблицы (табл. 1) значений показателя кислотности для обоих случаев.

$Ph(i-5000)$	Исходное значение кислотности, экспоненциально уменьшающееся в зависимости от пробега
$PeAsh(n,m) := PNH(n,m)_{0,0}$	Значение кислотности получаемое путём добавления присадок ДФБ и ПАФ с уже оптимизированными концентрациями
$Prisadka\_DFB(n,m) := PNH(n,m)_{0,1}$	Оптимальное значение кислотности присадки ДФБ
$Prisadka\_PAF(n,m) := PNH(n,m)_{0,2}$	Оптимальное значение кислотности присадки ПАФ



**Рисунок 5.** Результаты расчёта оптимального состояния физико-химических параметров моторного масла

**Таблица 1**  
**Результаты расчёта оптимального значения концентраций присадок ДФБ и ПАФ**

Пробег автомобиля, тыс. км	Оптимальное значение кислотности присадки ДФБ	Оптимальное значение кислотности присадки ПАФ	Оптимальное значение концентрации присадки ДФБ	Оптимальное значение концентрации присадки ПАФ
5	10,072	5,052	0,207	0,793
10	10,802	5,134	0,31	0,586
15	11,459	5,189	0,483	0,517
20	11,755	5,409	0,655	0,345
25	11,822	5,771	0,724	0,207
30	11,87	6,06	0,793	0,138
35	11,919	6,242	0,897	0,103
40	11,906	6,456	0,862	0,069
45	11,791	6,706	0,69	0,034
50	11,931	6,706	0,931	0,034
55	11,941	6,706	0,966	0,034
60	11,791	7	0,69	0
65	11,848	7	0,759	0
70	11,889	7	0,828	0
75	11,931	7	0,931	0

### Заключение

В рамках проведенных исследований авторами разработан алгоритм, позволяющий определять оптимальные физико-химических параметры моторного масла методом динамического программирования.

В работе предложена математическая модель управления кислотным числом моторного масла, позволяющая поддерживать кислотность масла LiquMoli на оптимальном значении.

Определены оптимальные концентрации присадок ПАФ-4 и ДФБ, позволяющие обеспечивать необходимое значение рН моторного масла при эксплуатации седельного тягача марки IVECO.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов И.Г. и др. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник / И.Г. Анисимов. – М.: Техинформ, 1999. – 596 с.
2. Р. Балтенас, и др. Моторные масла / Р. Балтенас, А.С. Сафонов, В. Шергалис. – СПб.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.
3. Аринин Е.Н., Коновалов С.И., Баженов Ю.В. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. пособ. 2-е изд. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 314 с.
4. Данилов А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей. Справ. изд. – М.: Химия, 2000 – 232 с.
5. Хаматнурова Е.Н., Чурсина Ю.А., Хакимов Ф.Ж., Минхайдаров А.Р. Экономическое обоснование перевода парка автомобилей на газовое топливо // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. №6 <http://naukovedenie.ru/PDF/26EVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/26EVN614.
6. Долгова, Л.А., Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях [Текст] / Л.А. Долгова, В.В. Салмин // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. – 2012. – № 2-1. – С. 46-56.
7. Гребенникова, Н.Н. Оптимизация стратегии эксплуатации машин методом динамического программирования: [научная монография] Н.Н. Гребенникова / М-во образования и науки Росс. Федерации; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т, Волжский ин-т строительства и технологий (филиал) ВолГАСУ. - Волгоград: ВолГАСУ, 2012. – 102 с.
8. Исследование изнашивания прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры [Текст] / А.В. Новичков, Е.В. Новиков, Е.Г. Рылякин, А.В. Лахно, П.И. Аношкин // Международный научный журнал. – 2014. – №3. – С. 108-111.
9. Денисов, А.С. Теоретические предпосылки изменения моюще-диспергирующих и вязкостных свойств моторного масла в процессе работы форсированных дизелей [текст] / А.С. Денисов, А.О. Носов, А.Р. Асоян // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. - №2. - С. 129-134.
10. Мусурманов Р.К., Утаев С.А. К уравнению изменения кинетики срабатывания присадок масел двигателя работающего на газообразном топливе // Молодой ученый. – 2012. – №4. – С. 50-53.
11. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования. Учебное пособие для вузов [Текст] / В.А. Веников. – 2-е изд., доп. и перераб., 1976. – 479 с.

**Salmin Vladimir Vasilevich**

Penza state university, Russia, Penza  
E-mail: [salmin-penza@yandex.ru](mailto:salmin-penza@yandex.ru)

**Generalova Aleksandra Aleksandrovna**

Penza state university, Russia, Penza  
E-mail: [generalova\\_aa@mail.ru](mailto:generalova_aa@mail.ru)

**Bichkov Dmitriy Sergeevich**

Penza state university, Russia, Penza  
E-mail: [deciptikon@mail.ru](mailto:deciptikon@mail.ru)

## **Development of a trailer of a passenger car with the mechanism of changes in floor level**

**Abstract.** Improvement of technical maintenance of automobile engines is inseparably linked with the problem of improving the efficiency of their maintenance. One way of solving this issue is the widespread introduction in practice of exploitation of tractors maintenance on the actual condition. It helps, in particular, a significant increase in service life of engine oils, i.e. to transfer them into the category of "good" when the engine oil is in achieving one or more of his rejection values. Such a system certainly encourages saving and rational use of lubricants in automotive combustion engines.

Compensation of natural loss of oil (consumption, leaks, etc.) from the lubrication system of the engine is carried out at the same time numerous topping fresh oil. However, the mixing of fresh and working oils may lead to violation of the stability of the dispersed phase contaminants and cause not only decrease the life of engine oil, but also increase the ash load of the filter elements mesoacidalia, intense sludging and laking, the increase of wear rate of bearings and parts of Chu.

Recommendations on the procedure of topping are based on an intuitive approach and practical experience gained from working personnel. The existing experimental data and their interpretation controversial. Required, drawing on modern ideas about the processes of mass transfer in the lubricating systems of internal combustion engines, to develop a scientifically founded methodology of the organization of technical maintenance of automobile engines are in part the topping of fresh oil to compensate for its natural losses and the maintenance of physico-chemical parameters at the proper level.

In this article we propose a mathematical model to control acid number engine oil based on dynamic programming, which helps to maintain the acidity of synthetic oil at the optimum value.

**Keywords:** engine oil; physicochemical parameters; dynamic programming; additives; concentration