

А.В. СТЕПАНОВ, канд. техн. наук, ХНАДУ (г. Харьков)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ АВТОСАМОСВАЛА

У статті запропоновано математичну модель яка враховує особливості експлуатації автосамоскидів, що дає можливість оптимізувати періодичність технічного обслуговування.

In the article a mathematical model is offered which takes into account the features of exploitation of avtosamoskidiv, which enables to optimize periodicity of technical service.

Введение. Одной из основных задач математического моделирования при организации технической эксплуатации автосамосвалов в особых условиях является оптимизация процессов и методов ТОР.

Так парк эксплуатируемых автосамосвалов, например в угольной промышленности, КрАЗ – 256Б и КрАЗ – 6510 характеризуется низкими стоимостными показателями: стоимость машины; технического обслуживания; расходных материалов. При этом, отмечаются низкая надежность деталей, что приводит к простоям машин в ремонте.

Цель и постановка задач. Для оптимизации показателей надежности применяются различные критерии. Так математические модели имеют следующие критерии:

- минимум суммарных удельных затрат на эксплуатацию. Характеризуется величиной затрат, отнесенной к периодичности проведения технических воздействий;
- максимум эффекта на единицу затрат (этот критерий показывает величину прибыли на единицу затрат);
- максимально возможная производительность (предполагает использовать максимальные возможности машины);
- минимум затрат на единицу времени (характеризуется затратами на содержание машины за определенный срок службы);
- минимум издержек на единицу наработки (дает возможность оптимизировать количество средств, затрачиваемых на один час работы машины);
- минимум суммарных потерь при межремонтном обслуживании (позволяет оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт машины);
- минимум суммарных удельных затрат на поддержание надежности всех последовательно связанных сопряжений (обеспечивает требуемый уровень надежности узлов и агрегатов при минимальных затратах на техническое обслуживание и ремонт машины);
- минимум затрат на восстановление (позволяет оптимизировать

периодичность ремонта и затраты на его проведение).

Проведение технического обслуживания двигателя автосамосвала включает в себя работы по замене смазочных материалов и регулировочные работы, что требует затрат на приобретение смазочных и расходных материалов, на оплату ремонтным рабочим, на простои. Поэтому необходимо определить периодичность проведения технического обслуживания, при которой затраты на эксплуатацию двигателя были бы минимальными, а его ресурс - максимальным. Это позволит утверждать, что приемлемым критерием при определении периодичности обслуживания в адаптивной системе ТОР является минимум суммарных удельных затрат на эксплуатацию машины. Применение данного критерия позволит получить математическую модель для расчета оптимальной периодичности замены моторного масла двигателя и при минимальных затратах на ТОР.

Математическое моделирование процессов эксплуатации. Для создания предлагаемой модели приняты следующие допущения: затраты на устранение отказов и неисправностей независимы от наработки на отказ и от значения износа деталей; затраты на техническое обслуживание зависят от периодичности его выполнения $C = \Phi(t_{об})$; техническое обслуживание проводится регулярно с периодичностью $t_{об}$ и полностью восстанавливает благоприятные условия работы сопряженных деталей.

Дополнительным критерием принята величина предельного износа подшипников скольжения I_n , который выявляется из условия невозможности дальнейшей эксплуатации машины из-за поломки деталей.

С учетом сделанных предпосылок целевая функция имеет вид

$$C_{yo} = F \frac{C_p}{t_p} + \frac{C_{об}}{t_{об}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где F - коэффициент зависящий от номера капитального ремонта;

C_p - затраты на текущий ремонт машины;

$C_{об}$ - затраты на проведение технического обслуживания машины;

t_p - периодичность проведения текущего ремонта;

$t_{об}$ - периодичность проведения технического обслуживания.

Значения коэффициента F определяются из выражения

$$F = \frac{\nu}{1 + K_p \cdot (\nu - 1)}, \quad (2)$$

где ν - порядковый номер межремонтного цикла;

K_p - коэффициент, характеризующий ресурс машины после капитального ремонта.

Ресурс машины после капитального ремонта должен составлять не менее 80% от ресурса новой машины, то есть $K_p \geq 0,8$ [1].

Затраты на ремонт машины составляют

$$C_p = C_{ам} + C_{нр.р} + C_{рем}, \quad (3)$$

где $C_{ам}$ - стоимость амортизационных отчислений за период эксплуатации, грн.

$C_{нр.р}$ - стоимость простоя в ремонте, грн.;

$C_{рем}$ - стоимость ремонта машины, грн.

Затраты на техническое обслуживание составляют

$$C_{об} = C_{нр.об} + C_{обс}, \quad (4)$$

где $C_{нр.об}$ - стоимость простоя машины в техническом обслуживании, грн.;

$C_{обс}$ - стоимость проведения технического обслуживания, грн.

Значения t_p можно определить из выражения

$$t_p = \frac{I_n}{a \cdot t_{об}^{n-1}}, \quad (5)$$

где I_n - предельно допустимый износ детали от состояния, которой зависит работоспособность агрегата или машины, мкм.;

a - коэффициент, характеризующий скорость изнашивания в зависимости от вязкостных свойств масла.

Подставив выражения (3, 4, 5) в 2, получим

$$C_{y0} = F \cdot a \cdot t_{об}^{n-1} \cdot (C_{ам} + C_{нр.р} + C_{рем}) \cdot \frac{1}{I_n} + \frac{C_{нр.р} + C_{обс}}{t_{об}} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Для определения оптимальной периодичности проведения ТО продифференцируем функцию (3) по $t_{об}$ и приравняем ее к 0 при условии $\alpha > 1$

$$F \cdot a \cdot (\alpha - 1) \cdot t_{об.он}^{n-2} \cdot (C_{ам} + C_{нр.р} + C_{рем}) \cdot \frac{1}{I_n} - \frac{C_{нр.р} + C_{обс}}{t_{об.он}^2} = 0, \quad (7)$$

где α - коэффициент, зависящий от режима работы сопряжения.

$$t_{об.он}^{n-2} = \frac{t_{об.он}^n}{t_{об.он}^2}. \quad (8)$$

Подставим (7) в (8) получим

$$F \cdot a \cdot (\alpha - 1) \cdot \frac{t_{об.он}^n}{t_{об.он}^2} \cdot (C_{ам} + C_{нр.п} + C_{рем}) \cdot \frac{1}{I_n} - \frac{C_{нр.п} + C_{обс}}{t_{об.он}^2} = 0, \quad (9)$$

После преобразования уравнения (9) получим

$$\frac{F \cdot a \cdot (\alpha - 1) \cdot t_{об.он}^n \cdot (C_{ам} + C_{нр.п} + C_{рем})}{I_n} = C_{нр.п} + C_{обс}. \quad (10)$$

Выразим из уравнения (10) $t_{об.он}$

$$t_{об.он}^n = \frac{(C_{нр.об} + C_{обс}) \cdot I_n}{F \cdot a \cdot (\alpha - 1) \cdot (C_{ам} + C_{нр.п} + C_{рем})}, \quad (11)$$

$$t_{об.он} = \sqrt[n]{\frac{(C_{нр.об} + C_{обс}) \cdot I_n}{F \cdot a \cdot (\alpha - 1) \cdot (C_{ам} + C_{нр.п} + C_{рем})}}.$$

Зависимость (11) позволяет определить оптимальную периодичность замены смазочного материала в сопряжении, исправность которого лимитирует работоспособность агрегата или автосамосвала в целом. В данном случае можно определить периодичность обслуживания базовой системы, то есть системы смазки двигателя.

Полученное уравнение содержит, в основном, стоимостные показатели, которые определяются по средней величине рыночной стоимости материалов на основании прейскурантов, прайс-листов. Составляющие этой формулы определяются следующим образом:

Затраты на амортизационные отчисления можно определить по формуле [2]:

$$C_{ам} = \frac{C_0 \cdot A}{100}, \quad (12)$$

где C_0 - первоначальная стоимость автосамосвала, грн.,

A - норма амортизационных отчислений, %.

При простое в техническом обслуживании или ремонте автосамосвал не приносит прибыль, следовательно, не окупает свое содержание, затраты на эксплуатационные материалы, заработную плату водителя. Поэтому АТП при простое автосамосвала за один час теряет сумму, стоимостью одного тонно-километра, которую можно определить по формуле:

$$C_{ми} = A_n + P + 3 + C_c + \Gamma + C_m + П, \quad (13)$$

где A_n - нормативный показатель амортизационных отчислений на полное восстановление, грн/ тн-км;
 P - затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание, грн.;
 Z - заработная плата водителей, управляющих автосамосвалом, грн.;
 C_c - затраты на смазочные материалы, грн.;
 G - затраты на охлаждающую и гидравлическую жидкости, грн.;
 Π - затраты на перебазировку машины, грн.;
 C_m - затраты на топливо, грн.

Но при простое машины в ремонте или техническом обслуживании не расходуется топливо. Поэтому предлагаем определить стоимость простоя машины в ТОР по формуле (14) и (15):

$$C_{np.p} = (C_{м.ч.} - C_{топ} \cdot P) \cdot \Pi, \quad (14)$$

где $C_{м.ч.}$ - стоимость одного тн-км работы, грн.;
 $C_{топ}$ - стоимость топлива за один литр, грн.;
 P - расход топлива машиной за один час, кг.;
 Π_p - продолжительность простоя в ремонте, час.

$$C_{np.o} = (C_{м.ч.} - C_{топ} \cdot P) \cdot \Pi_o, \quad (15)$$

где Π_o - продолжительность простоя машины в техническом обслуживании, час.

Техническое обслуживание, согласно [3], предусматривает проведение диагностирования, замену масла в двигателе и восстановление регулировочных параметров. Предлагается пренебречь количеством долива масла и рабочих жидкостей из-за их незначительного количества по отношению к заправочным емкостям. Тогда стоимость обслуживания выразим формулой

$$C_{об} = C_{мм} \cdot O_{зч} + C_{зч} + C_{чзпр} \cdot \Pi_o, \quad (16)$$

где $C_{мм}$ - стоимость моторного масла, грн.;
 $O_{зч}$ - объем системы смазки двигателя, литр;
 $C_{зч}$ - стоимость запасных частей для проведения ТО, грн.;
 $C_{чзпр}$ - часовая заработная плата рабочего занятого в проведении ТОР, грн.

Работы по текущему ремонту включают в себя проведение технического обслуживания и, согласно [3, 4], предусматривают замену масла трансмиссии, двигателя и гидросистемы, проведение ремонтных и регулировочных работ. Поэтому предлагается определить стоимость текущего ремонта по формуле

$$C_{тр} = C_{мм} \cdot O_{сд} + C_{мт} \cdot O_{ст} + C_{мг} \cdot O_{сг} + C_{чзпр} \cdot \Pi_o + C_{зч}, \quad (17)$$

где $C_{мт}$ - стоимость трансмиссионного масла за один литр, грн.;
 $O_{ст}$ - объем заправочных емкостей трансмиссии, литр;

$C_{ме}$ - стоимость гидравлического масла, грн.;
 $O_{сз}$ - объем гидравлической системы машины, литр.

$$C_{чзп} = C_{озп} + C_{дзп} + C_{соц}. \quad (18)$$

Затраты на заработную плату рабочих, занятых в техническом обслуживании и ремонте машин, составляют

$$C_{озп} = C_{чмс} \cdot B, \quad (19)$$

где $C_{озп}$ - основная заработная плата рабочего за 1 час, грн.;

$C_{чмс}$ - часовая тарифная ставка рабочего, грн.;

B - количество рабочих, занятых ТОР,

$$C_{дзп} = C_{озп} \cdot 0,1, \quad (20)$$

где $C_{дзп}$ - дополнительная заработная плата рабочих, грн.

$$C_{соц} = (C_{озп} + C_{дзп}) \cdot 0,14, \quad (21)$$

где $C_{соц}$ - отчисления на социальное страхование, грн.

Для определения оптимальной периодичности замены масла в двигателе внутреннего сгорания по предлагаемой модели за предельную величину износа для всего двигателя принимается предельный износ шеек коленчатого вала.

На основании проведенного математического моделирования построен алгоритм, который позволяет определить оптимальную периодичность замены моторных масел в двигателях автосамосвалов (рис. 1).

Расчет стоимости простоя в ТОР производится после введения стоимости одного тн-км, часовой тарифной ставки водителя и затрат на запасные части. Стоимость запасных частей определяется на основании затрат прошедшего года на один текущий ремонт, рассчитываемой машины.

Расчет стоимости текущего ремонта и технического обслуживания предусматривает затраты на смену масел во всех системах машины, заработную плату ремонтного персонала и затраты на запасные части, необходимые для обслуживания.

Таким образом, амортизационные отчисления, стоимость простоя и затраты на проведение текущего ремонта и технического обслуживания служат исходными данными для расчета оптимальной периодичности обслуживания двигателя. В частности, она определяет периодичность замены моторного масла, так как одним из дополнительных критериев при создании математической модели является предельный износ шеек коленчатого вала.

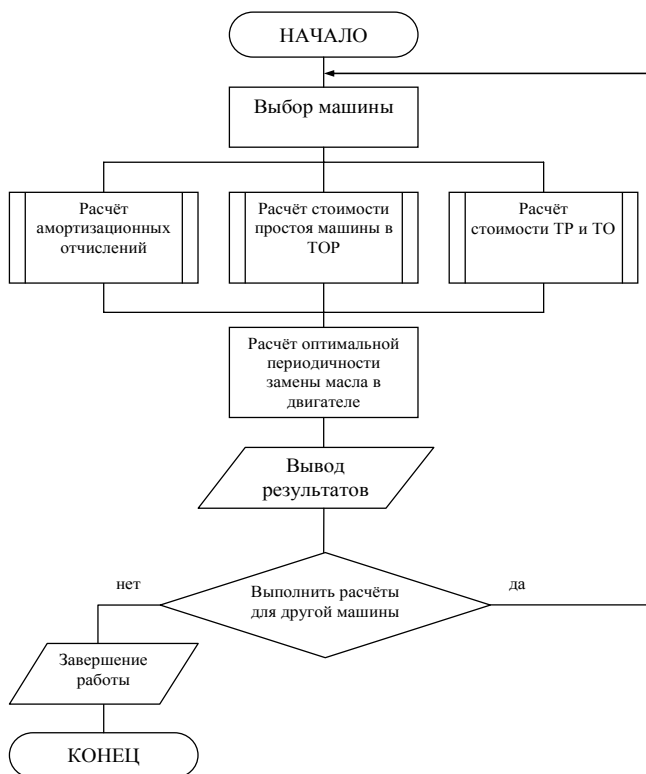


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма программы расчета оптимальной периодичности замены масла

Выводы. При наличии всех введенных стоимостных данных и значений износа производится расчет периодичности проведения ремонтных воздействий и оптимизирует периодичность замены масла в двигателе. Величина оптимальной периодичности корректируется в зависимости от порядкового номера ремонтного цикла машины.

Список литературы: 1. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Говорущенко Н.Я. – К. : Изд. при Харк. ун-те, 1984. – 312 с. 2. Указания по организации и проведению технического обслуживания и ремонта дорожных машин (ВСН 6 - 79)\ Минавтодор РСФСР. - М.; Транспорт, 1980. - 103 с. 3. Подригало М. А. Обеспечение надёжности автотракторной техники адаптивными методами технического обслуживания и ремонта / Подригало М. А., Кухтов В. Г., Полянский А. С. // Автомобильный транспорт.– Х. : ХГАДТУ, 2000. - С. 49 - 51. – (Сб. науч. тр., Вып. 4). 4. Хрущев М. М. Абразивное изнашивание / М. М. Хрущев, И. А. Бабичев, 1970. - 412 с.

Поступила в редакцию 30.09. 2010