

МЕТОДИКА ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ РЕСУРСА

Стребков С. В., к.т.н., проф.

*Белгородская государственная сельскохозяйственная академия
им. В.Я.Горина*

На основании кривой износа анализируются механизм и пути повышения ресурса детали. Обосновывается введение антифрикционных противоизносных присадок в масла с целью повышения ресурса деталей после ремонта и предложена методика оценки эффективности влияния на трибологические свойства смазочной композиции.

Важное значение при эксплуатации автотракторной техники имеют мероприятия, используемые инженерно-техническими службами для повышения ресурса машин. В среднем за время эксплуатации двигатель внутреннего сгорания капитально ремонтируется три раза. Срок службы двигателя складывается из доремонтного и суммы межремонтных ресурсов. Практика показывает, что послеремонтный ресурс составляет по разным оценкам 30...60 % от ресурса нового. Отказы могут возникать из-за усталости материалов, старения, остаточных деформаций, коррозии и изнашивания поверхностей трения. Наибольшее количество отказов происходит из-за износа (50 – 75 % отказов). Это приводит к снижению производительности отремонтированных машин в среднем на 10...15 %.

Одним из направлений повышения долговечности узлов и агрегатов машин является воздействие на противоизносные, противозадирные и антифрикционные характеристики смазочных материалов. Оно является более предпочтительным, так как присадка действует комплексно, повышая износостойкость всех деталей, смазываемых моторным маслом. При этом необходимо уметь прогнозировать влияние добавок на ресурс сопряжения в зависимости от условий работы и концентрации.

Многочисленные исследования показывают [1], что износ большинства деталей закономерен. Эта зависимость для новой детали описывается классической кривой изнашивания, представленной на рис. 1 (кривая а). На кривой изнашивания в общем случае можно выделить три характерных участка, соответствующие трем стадиям изнашивания.

На первом этапе происходит приработка поверхностей. В начальный период работы сопряжений площадь фактического контакта мала, а давления на пятна контакта очень большие. В процессе приработки, величина фактической площади контакта увеличивается, среднее удельное давление и средняя температура на площадках фактического контакта уменьшаются. В это время скорость износа все время изменяется, приближаясь к некоторой постоянной установившейся величине. При приработке происходит изменение геометрических и физико-механических свойств поверхностей трения. К концу приработки сопряженные поверхности приобретают стабильную шероховатость и микротвердость свойственную им в данных условиях трения.

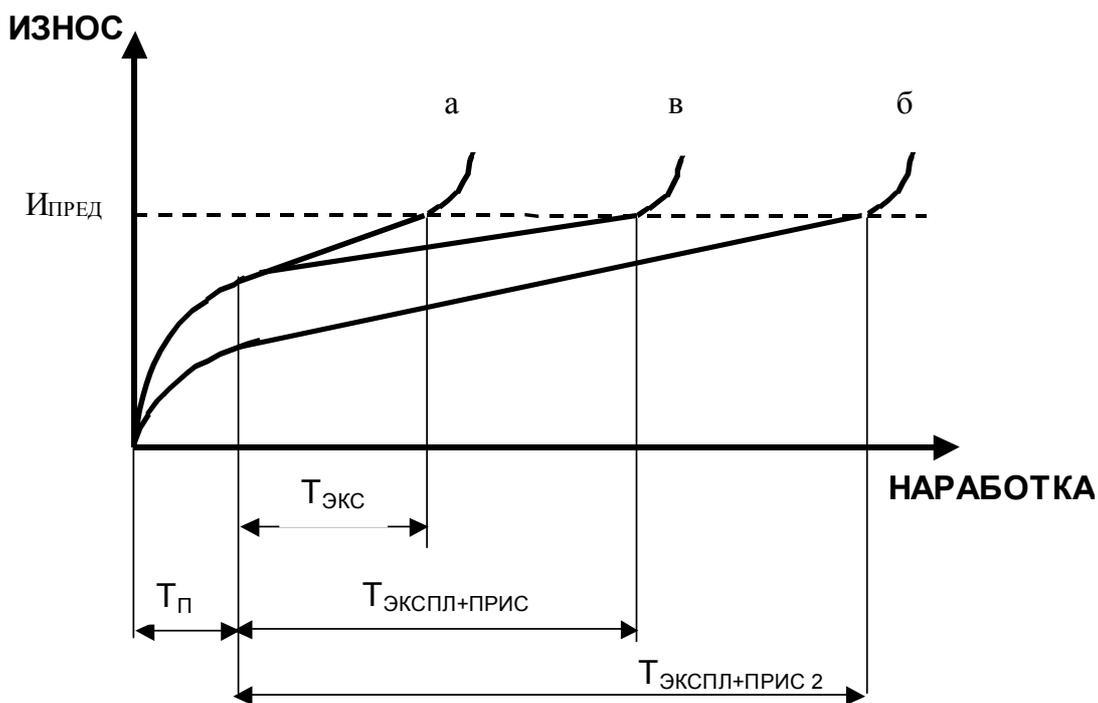


Рис. 1. Прогнозирование ресурса на основе анализа кривой изнашивания: а – масло без дополнительно введенной присадки; б – масло с антифрикционной противоизносной присадкой, не влияющей на процесс приработки; в - масло с антифрикционной противоизносной присадкой, влияющей на процесс приработки

По истечении периода приработки устанавливается процесс стационарного изнашивания, при этом происходит деформирование, разрушение и непрерывное формирование поверхностного слоя с защитными вторичными структурами, обладающими стабильными свойствами. Этот процесс отличается постоянством условий трения и скорости изнашивания, характерной для данного сопряжения.

При работе сопряжения износ деталей растет и по достижении определенного значения происходит резкое ухудшение условий работы узла трения, в результате увеличения зазоров и изменения геометрической формы деталей. Интенсивность износа резко возрастает и наступает третий этап работы сопряжения – катастрофическое изнашивание.

Согласно рис. 1, полный ресурс детали складывается из времени приработки при обкатке и эксплуатации ($T_{ПР}$) и времени изнашивания детали ($T_{ЭКСПЛ}$) в процессе эксплуатации, то есть времени, за которое износ детали достигнет установленного предельного значения ($I_{ПРЕД}$).

Скорость изнашивания зависит от условий работы сопряжения (вид трения, удельная нагрузка, скорость, и температура), физико-механических свойств поверхностей трения (твердость, шероховатость, пористость и др.) и среды, в которой работает пара трения.

Условия работы сопряжения зависят от конструкции узла трения и не могут быть изменены во время эксплуатации или при ремонте.

При ремонте физико-механические свойства, как правило, ухудшаются по сравнению со свойствами новой детали. Например, твердость поверхности

при ремонте способом ремонтных размеров снижается в результате удаления верхнего термоупрочненного слоя. При восстановлении размеров деталей нанесением покрытий способами наплавки твердость поверхностей трения без дополнительных операций упрочнения получается ниже, чем твердость поверхности новой детали. Применение же высокотвердых легированных наплавочных материалов, которые позволяют получать высокую износостойкость без применения термообработки, из-за их высокой хрупкости приводит к снижению усталостной прочности деталей (55-75%) [2].

Рабочая среда определяется эксплуатационными материалами и их смазывающими свойствами. При этом снижение скорости изнашивания обусловлено их трибологическими свойствами, управление которыми возможно введением антифрикционных противоизносных присадок (модификаторов трения) в период эксплуатации.

При граничном трении, когда происходит основное изнашивание поверхностей узлов трения, ведущими являются умеренное адгезионное и коррозионно-механическое изнашивание. Противоизносные присадки, взаимодействуя с поверхностями трения, создают на них прочные защитные слои, которые предохраняют основной металл от непосредственного соприкосновения и тем самым от изнашивания. Эти пленки могут образовываться в результате физической адсорбции, хемосорбции, химической реакции присадок с металлом поверхности, избирательного переноса и трибополимеризации. При нормальном трении устанавливается динамическое равновесие между разрушением и возобновлением защитных поверхностных слоев. Снижение скорости износа происходит из-за того, что изнашивающиеся защитные пленки состоят в основном из материалов противоизносных присадок и незначительно из металла поверхности трения.

Введение поверхностно-активной антифрикционной противоизносной присадки (ПАПП) в смазочный материал перед обкаткой и на протяжении всего срока эксплуатации обеспечит снижение приработочного износа и снижение скорости изнашивания при стационарном режиме износа и тем самым повысит ресурс детали (рис. 1, кривая б). Кроме снижения износа данные присадки оказывают и антифрикционное действие. Это приводит к снижению затрат энергии на преодоления трения в машинах. Однако следует отметить, что не все благотворно влияют на приработку и снижают приработочный износ. Но и в этом случае при введении их в смазочное масло после обкатки ресурс детали увеличивается за счет увеличения времени стационарного изнашивания (рис. 1, кривая в).

Следовательно, ресурс детали можно повысить, увеличивая время эксплуатационного изнашивания, которое определяется по формуле

$$T_{\text{экспл}} = \frac{I_{\text{пред}} - I_{\text{пр}}}{\omega}, \quad (1)$$

где $I_{\text{пред}}$ – предельный износ детали;

$I_{\text{пр}}$ – приработочный износ детали;

ω – скорость изнашивания при эксплуатации.

Согласно представленного выше выражения, можно сделать вывод, что реальными путями увеличения времени стационарного изнашивания являются уменьшение приработочного износа и снижение скорости изнашивания рабочих поверхностей. Увеличение предельного износа не представляется рациональным, так как он обусловлен функциональными особенностями и конструкцией сопряжения (детали).

Влияние присадки на исследуемое свойство масла (антифрикционные или противоизносные) традиционно оценивают по принципу «во сколько раз» при испытании в однотипных условиях согласно следующего выражения:

$$\delta = \omega_i / \omega_0 \quad (2)$$

где ω_0 , ω_i – скорость изнашивания в конце испытания соответственно на товарном масле и для смазочной композиции на ее основе после введения присадки.

Но оценивать изменение смазывающих свойств товарного масла Y , устанавливать характер изменения и давать ему количественную оценку необходимо на каждой ступени изменяемого фактора X . Для этого необходимо иметь возможность сравнивать начальные и конечные значений исследуемого свойства трибологической системы до и после введения присадки (рис. 2).

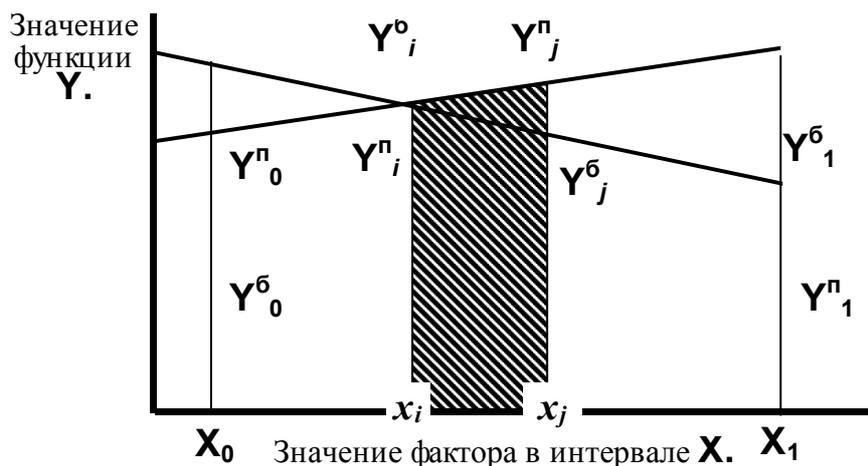


Рис. 2. Расчетная схема к оценке влияния присадки на свойства масла по интервально-конечным значениям.

Для прогнозирования скорости изнашивания следует использовать выражение:

$$\omega_i = k_{ИС} \times \delta \times \omega_0, \quad (3)$$

где $k_{ИС}$ - коэффициент, учитывающий изменения скорости изнашивания внутри интервала;

δ - коэффициент, учитывающий изменения скорости изнашивания в начале и конце интервала

Изучение поведения трибологической системы «масло М-10-Г_{2к}» и «масло М-10-Г_{2к} +ОМО-52» проводили на машине трения СМТ-1 по схеме «колодка - ролик». Материал образцов пары трения Ст 45Х с твердостью поверхностного слоя НРС 50...52. Факторами варьирования являлись давление в

контакте P (МПа) и концентрация присадки C (мас. %). Объектом исследования было влияния поверхностно-активной антифрикционной противоизносной присадки (ПААП) ОМО-52 на долговечность сопряжения, определяемой изменением скорости изнашивания. Испытания проводят по плану второго порядка двухфакторного трехуровневого эксперимента.

В результате трибологических исследований установлено, что во всем диапазоне нагружения присадка ОМО-52 усиливает противоизносные свойства масла М-10-Г_{2к} при концентрации 1...3% в 3,8...5,0 раза (рис. 3, 4). Именно данная концентрация является рекомендуемой с точки зрения улучшения противоизносных свойств.

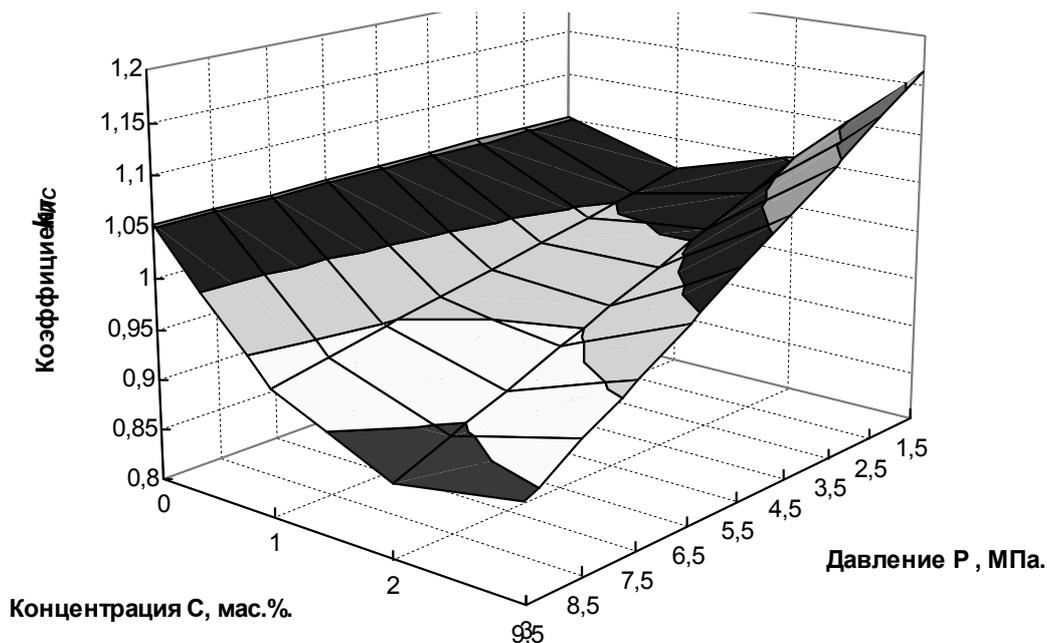


Рис. 3. Изменения коэффициента $k_{ис}$.

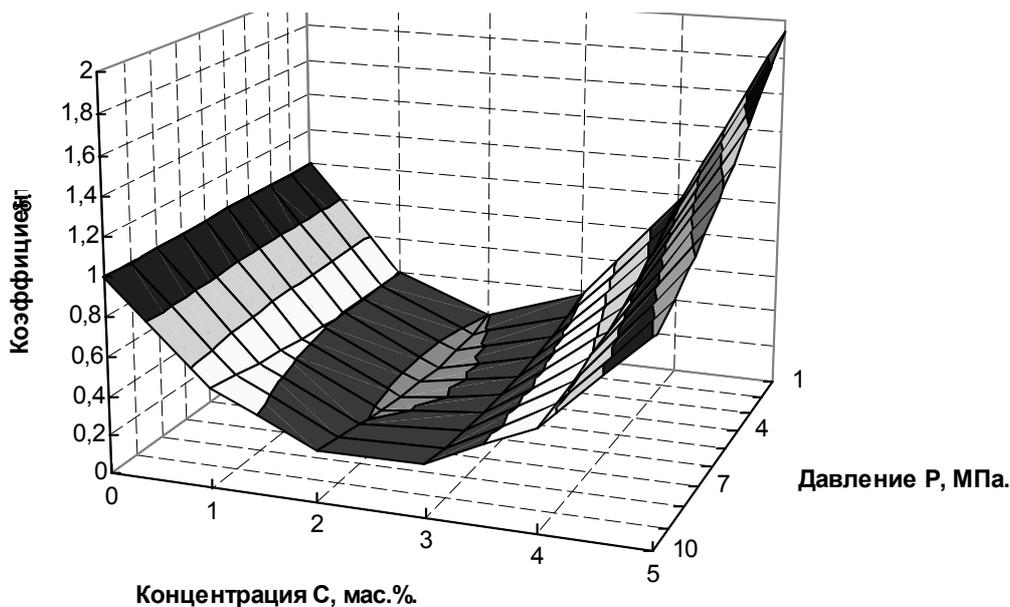


Рис. 4. Изменения коэффициента δ

Проверка предложенной выше методики прогнозирования интенсивности изнашивания с использованием математической модели трибосопряжения

показала хорошее совпадение опытных и расчетных значений интенсивности изнашивания (таблица 1).

Таблица 1. Значения интенсивности изнашивания, полученные различными расчетными методами (ММ, УП) и опытным путем (ОП)

Нагрузка, МПа	Концентрация, мас. %.								
	0			1			3		
	УП	ММ	ОП	УП	ММ	ОП	УП	ММ	ОП
2,548	7,51E-7	7,31E-07	6,65E-07	3,07E-07	2,86E-07	4,13E-07	2,39E-7	2,29 E-07	1,88E-07
5,096	8,33E-7	8,11 E-07	7,87E-07	3,22E-07	3,3E-07	3,20E-07	2,18E-7	2,01 E-07	2,01E-07
7,643	1,00E-6	9,46 E-07	1,04E-06	3,84E-07	4,28E-07	3,12E-07	2,34E-7	2,26 E-07	2,66E-07

Таким образом, использование метода интервально-конечных значений характеристики смазочной композиции с поверхностно-активными присадками позволяет прогнозировать значение показателя изнашивания трибосистемы. Это дает возможность оперируя выражениями (2) и (4) при известных параметрах предельного состояния сопряжения рассчитать ресурс сопряжения после введения присадки.

Ресурс двигателя лимитируют детали цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. По данным литературных источников наибольшее снижение износостойкости после ремонта происходит в сопряжении шатунная шейка коленчатого вала – вкладыш. Этот узел трения является одним из слабых звеньев, лимитирующим ресурс двигателя и следовательно коэффициент долговечности коленчатого вала можно приравнять к коэффициенту изменения доремонтного ресурса двигателя после капитального ремонта.

Коэффициент долговечности для коленчатого вала после введения в масло присадки можно представить в виде:

$$k_D = \Delta \times k_I \times k_B, \quad (5)$$

где k_D – коэффициент долговечности коленчатого вала;

$\Delta = k_{IC} \times \delta$ – коэффициент, учитывающий изменения в трибологической системе;

k_I – коэффициент износостойкости поверхностей трения коленчатого вала;

k_B – коэффициент выносливости коленчатого вала.

Увеличение ресурса двигателя за срок его службы введением в моторное масло антифрикционной противоизносной присадки иллюстрирует рисунок 5.

Таким образом, одним из путей повышения ресурса как новых, так и капитально отремонтированных двигателей является компенсация потери износостойкости поверхностей трения с помощью поверхностно-активных антифрикционных присадок в качестве добавок к смазочным материалам. Дополнительный ввод поверхностно-активных антифрикционных противоизносных присадок в моторное масло позволяет снизить приработочный износ и скорость изнашивания в процессе эксплуатации.

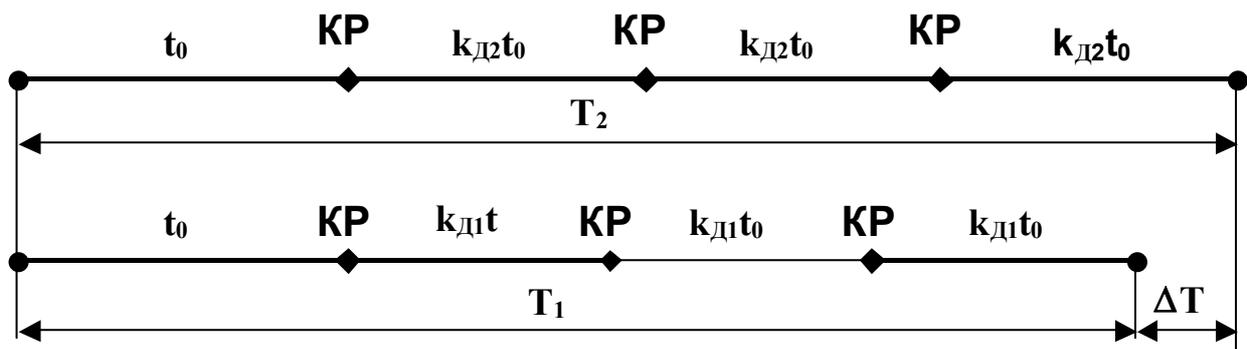


Рис. 5. Схема изменения периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий при планово-предупредительной системе поддержания работоспособного состояния: T_1 , T_2 - ресурс двигателя за время эксплуатации, соответственно без введения и с введением присадки; t_0 - доремонтный ресурс двигателя; $k_{Д1}$, $k_{Д2}$ - коэффициент изменения доремонтного ресурса двигателя после капитального ремонта, соответственно без введения и с введением присадки ($k_{Д1} = 0,8$; $k_{Д2} = 0,9$).

Список использованных источников

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника: учебник для студентов вузов / Д.Н.Гаркунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение, 1987. – 287 с.

Abstract

RESOURCE TRIBOLOGICHESKAYA'S TECHNIQUE OF CORRECTION

Strebkov S.V.

Based on the curve of wear analyzed the mechanism and ways to improve the resource details. Justified the introduction of anti-friction anti-wear additives to oils in order to increase the resource after the repair parts, and proposed a method forevaluating the effectiveness of influence on the tribological properties of the lubricant composition.

Анотація

МЕТОДИКА ТРИБОЛОГІЧЕСКОЇ КОРЕКЦІЇ РЕСУРСУ

Стребков С. В.

На підставі кривої зносу аналізуються механізм і шляхи підвищення ресурсу деталі. Обґрунтовується введення антифрикційних присадок проти зносу в олії з метою підвищення ресурсу деталей після ремонту і запропонована методика оцінки ефективності впливу на трібологічні властивості мастильної композиції.