

УДК 620.178.16.004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ В СРЕДЕ БИОТОПЛИВА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РАБОТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Юдовинский В.Б., к.т.н.,

Журавель Д.П., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-13-54

Аннотация - работа посвящена моделированию процесса изнашивания трибосопряжений в среде биотоплива и нефтяного дизельного топлива при периодической работе мобильной техники.

Ключевые слова – объемный износ, интенсивность изнашивания, коэффициент износа, биотопливо, нефтяное дизельное топливо, прерывистый процесс изнашивания.

Постановка проблемы. Перевод мобильной техники на биотопливо, основанного на метанолах, которые реагируют со многими материалами, требует тщательного подхода к подбору материалов топливных и других систем двигателей мобильной техники.

В тоже время, увеличение производства биологических топлив, ставит необходимость изучения процессов изнашивания материалов в среде биотоплива. Вопросы изнашивания металлов в среде биотоплива посвящено много работ. Однако они все не учитывают простои в процессе изнашивания. Это те периоды, когда происходит химическое воздействие метанолов биотоплива на поверхностные слои металлов, предрасполагая поверхности к изнашиванию, создавая рыхлый поверхностный слой.

Анализ последних исследований. В работе [1] изучено влияние меркаптанов на противоизносные свойства топлив для двигателей и было установлено, что полное отсутствие меркаптанов в топливах, полученных гидроочисткой, ухудшает противоизносные свойства топлив и приводит к таким неприятным последствиям, как заедание плунжеров в топливных насосах.

Однако, наличие меркаптанов в топливе, приводит к образованию прочных окисных пленок, что приводит к повышению износостойкости материалов. Все предыдущие исследования изнашивания

металлов в среде биотоплива проводились до стабилизации процесса изнашивания при непрерывном процессе, не учитывая простои, то есть прерывистость процесса.

Формулирование целей статьи. Целью статьи является установление характеристик изнашивания в среде биотоплива и нефтяного дизельного топлива при прерывистом процессе изнашивания.

Основная часть. Испытание на износ различных материалов при прерывистом режиме проводились на машине трения, по схеме ролик- колодка. (Рис. 1).

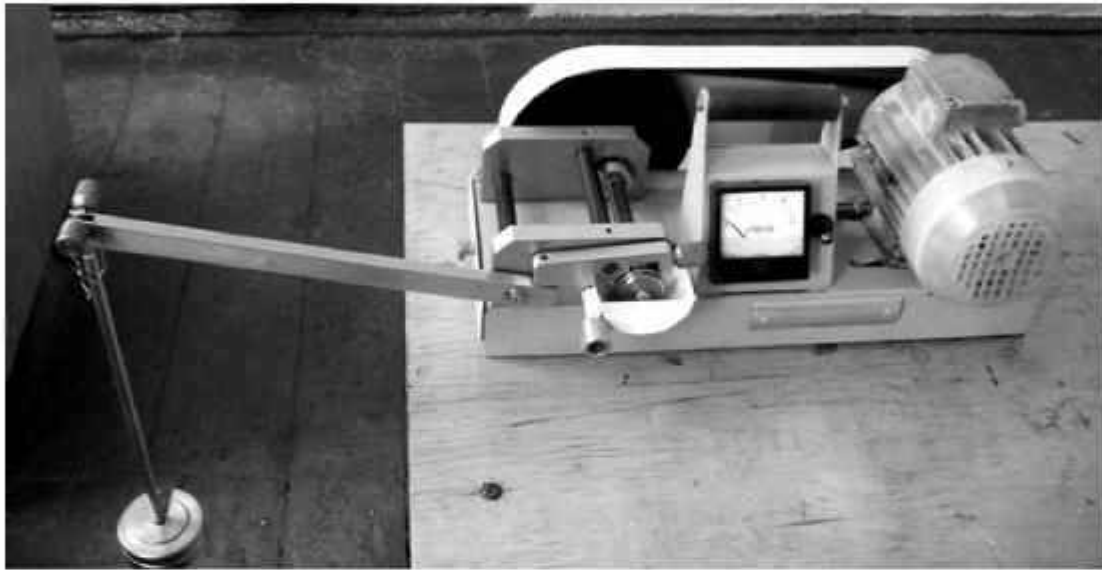


Рис.1. Машина трения.

Ролик был изготовлен из стали ШХ15 с твердостью поверхности 60-62 HRC. Испытаниям подвергались материалы: бронза Бр ОЦС 5-5-5, Сталь ШХ15, серый чугун СЧ20, Сталь 45 термически обработанная, алюминий А0.

Колодка – образец квадратного сечения нагружался силой $P=613,5$ Н. Ролик – изготовленный из стали ШХ15 диаметром 30мм. Относительная скорость скольжения образцов $V= 71,25$ м/мин.

Силы трения в зоне контакта определялись по потребляемой мощности электродвигателя, с предварительной тарировкой микроамперметра.

Замеры износов и сил трения производились через каждые 70 м пути трения (1 минута). Замерялась ширина лунки образца (колодки), получаемая при износе колодки по ролику, с последующим перерасчетом на объем изношенного материала, интенсивность изнашивания и коэффициент износа.

Простои в процессе изнашивания составляли 48 и 168 часов.

Первый простой был при пути трения 500м, второй – при 850 суммарного пути трения образцов.

Изменяя время простоя образцов в среде биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из алюминия А0 при каждом простое в 48 часов и в 168 часов (рис.2).

Из этих зависимостей видно, что с увеличением времени простоя сопряжения, увеличивается итоговый износ металла. Хотя в процессе изнашивания скорость изнашивания остается не изменой. Это объясняется воздействием метанолов биотоплива на металлы в статическом состоянии.

При простоях 48 часов увеличение износа составляет 13%, а при простоях в 168 часов износ увеличивается на 26,6%.

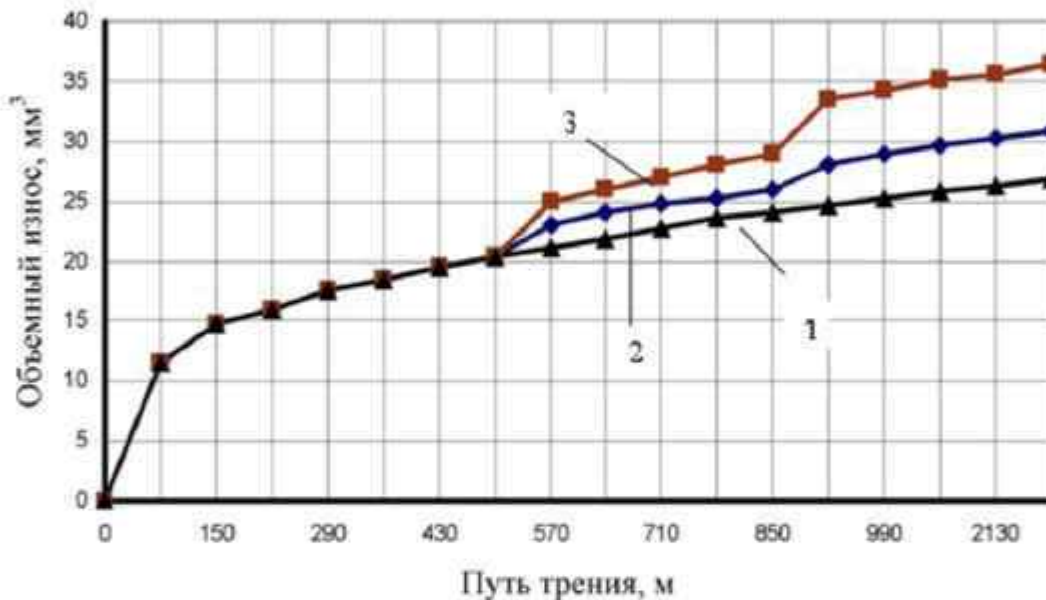


Рис.2. Износ алюминия при непрерывной работе (1), с простоями до 48 часов (2) и с простоями до 168 часов (3).

Было проверено влияние простоев сопряжения для некоторых металлов. Эта проверка показала, что и другие металлы ведут себя аналогично.

Изменяя время простоя образцов в среде биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из бронзы БрОЦС 5-5-5 при каждом простое в 48 часов и в 168 часов. (Рис.3).

Из этого рисунка видно, что с увеличением времени простоя сопряжения, увеличивается объемный износ. Причем, при простоях 48 часов, объемный износ увеличивается на 23,5%, а при простоях 168 часов величина объемного износа увеличивается на 34 6%.

Аналогично ведет и коэффициент износа K_U (Рис.4).

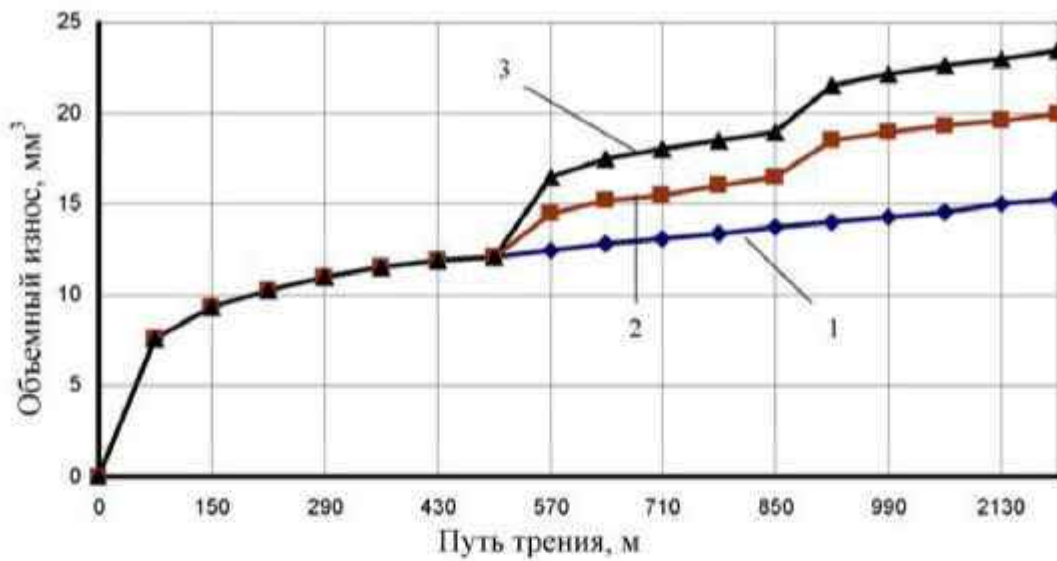


Рис.3. Износ бронзы Бр ОЦС 5-5-5 при непрерывной работе (1), с простоями до 48 часов (2) и с простоями до 168 часов (3).

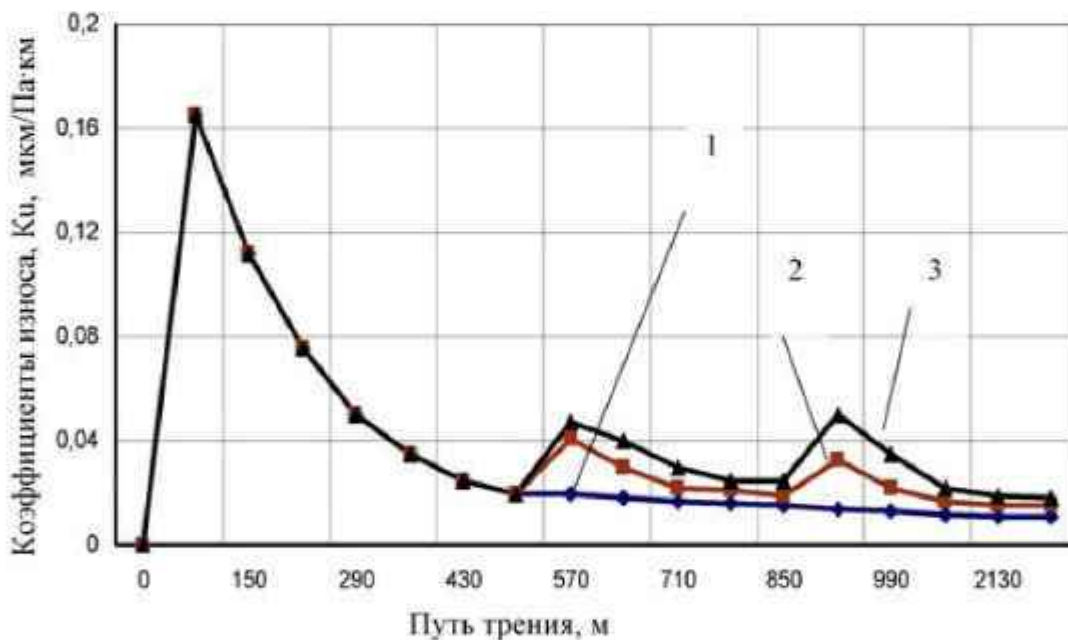


Рис.4. Коэффициенты износа бронзы Бр ОЦС 5-5-5 при непрерывной работе (1), с простоями до 48 часов (2) и с простоями до 168 часов (3).

После 500м пути трения стабилизируется значение коэффициента износа. Но простои увеличивают коэффициенты износа, что в итоге приводит к приращению интенсивности изнашивания.

Эмпирическая зависимость коэффициента износа от пути трения без остановок описывается уравнением

$$K_U = \frac{S}{(AS^2 + BS + C) \cdot 10^5} \quad (1)$$

Для изнашивания бронзы эта эмпирическая зависимость примет вид

$$K_U = \frac{S}{14 \cdot S^2 + 73,3 \cdot S - 15,6} \quad (2)$$

С остановками наблюдаются скачки, зависящие от времени простоя сопряжения, что в итоге приводит к повышению значений коэффициента износа от 36% до 54 % в зависимости от времени простоя сопряжения.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются вырывы, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, что приводит к ускоренному износу (Рис.5).

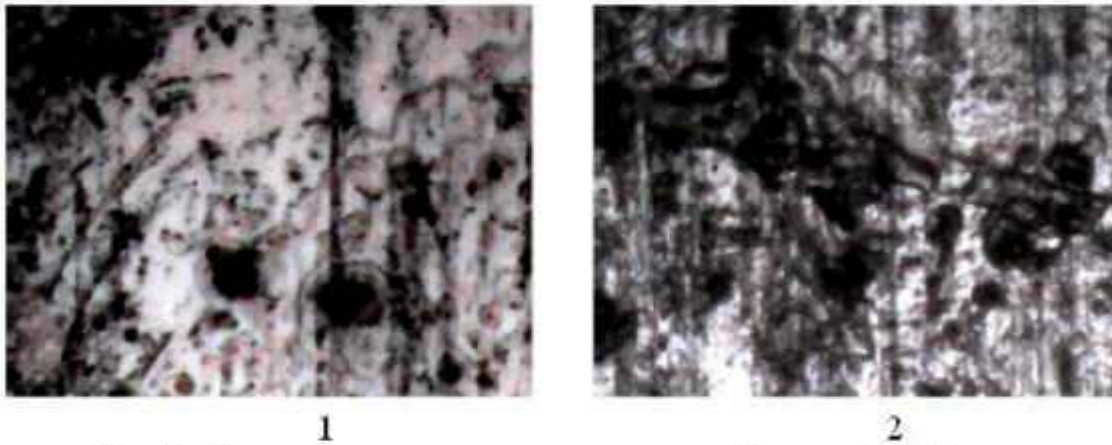


Рис.5. Поведение поверхности износа образцов 1 – без остановки, 2 – с остановкой на 168 часов.

Изменяя время остановок процесса изнашивания в среде нефтяного дизельного и биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из стали ШХ15 без остановок и с остановками до 48 часов и до 168 часов. (Рис.6).

Как видно из рисунка 6, износ в среде дизельного топлива меньше, чем в среде нефтяного дизельного топлива почти на 30%. Однако, при наличии остановок в процессе изнашивания наблюдаются скачки износов после остановок, что объясняется большой чувствительностью хромистых сталей к метанолам биотоплива.

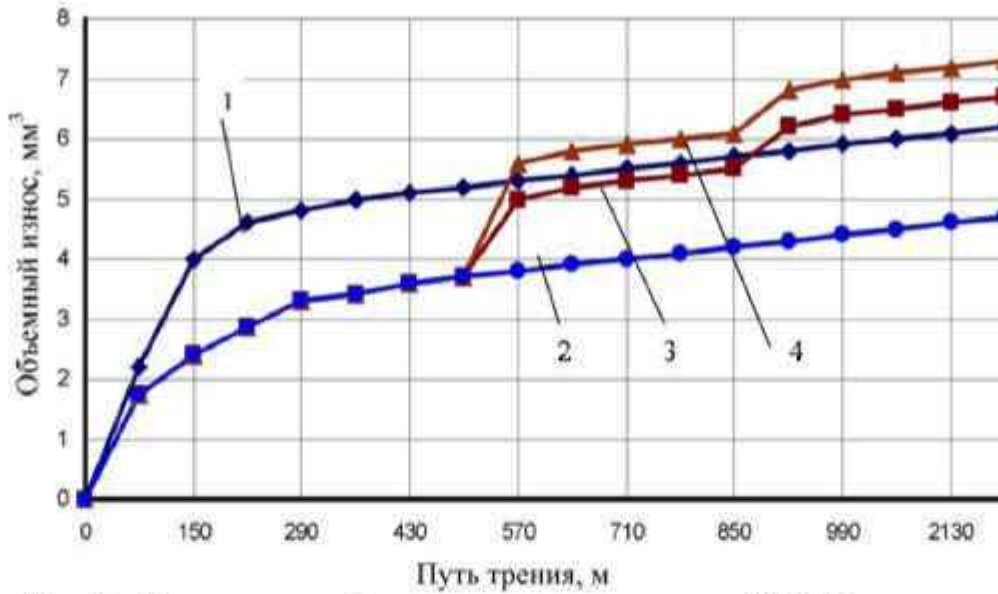


Рис.6. Изменение объемного износа стали ШХ15 в среде дизельного топлива -1, в среде биотоплива: без простоев -2, с остановками до 48 часов -3 и с остановками до 168 часов - 4.

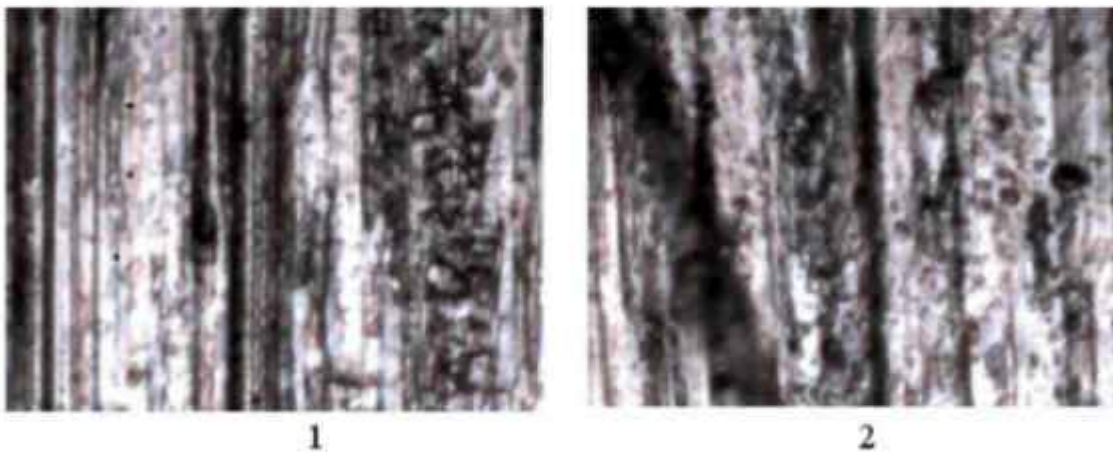


Рис.7. Микроструктури поверхностей образцов из стали ШХ15 при непрерывном изнашивании в среде биотоплива -1 и после остановки до 168 часов - 2.

В результате изнашивания, даже при пути трения 1200м, износ образцов в среде биотоплива превосходит износы образцов в среде дизельного топлива на 9-14% в зависимости от времени простоя.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов из стали ШХ15 показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются разрушения, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, приводящего к водородному охрупчиванию, что приводит к ускоренному износу (рис.7).

В результате изменения времени остановок процесса изнашивания в среде нефтяного дизельного и биотоплива получены зависимости объемного износа образцов из чугуна СЧ20 без остановок и с остановками до 168 часов. (рис.8).

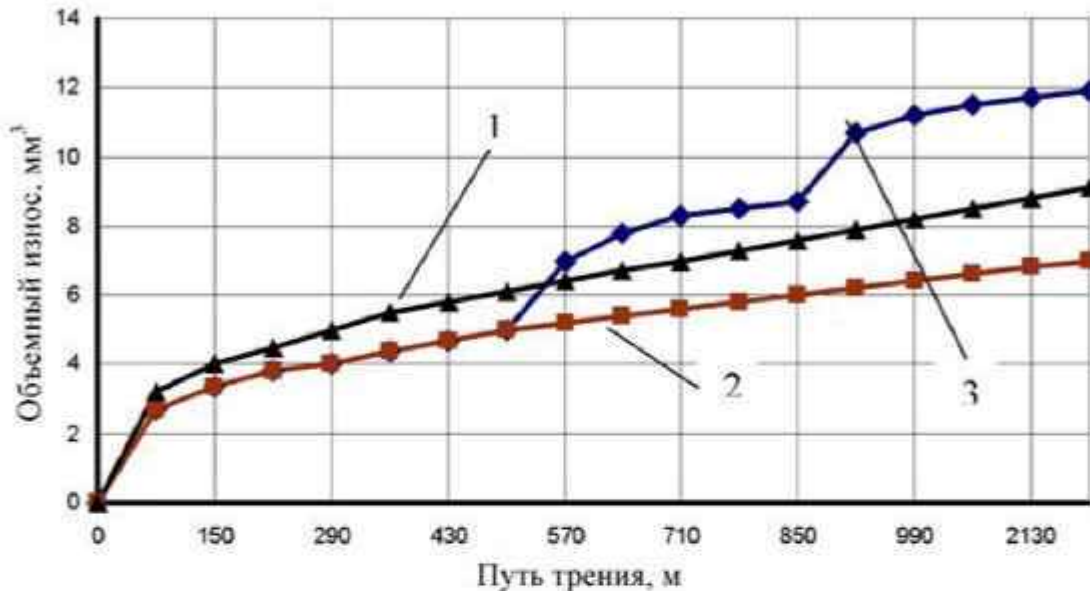


Рис.8. Изменение объемного износа чугуна СЧ20 в среде дизельного топлива -1, в среде биотоплива: без простоев -2, с остановками до 168 часов - 3.

Хотя износ в среде дизельного топлива выше, чем в среде биотоплива почти на 30%, то с учетом остановок в процессе изнашивания в среде биотоплива износ резко возрастает и превосходит износы в среде дизельного топлива. Это приращение износа зависит от времени простоя сопряжения в процессе изнашивания и увеличивается со временем простоев.

Металлографический анализ поведения поверхностей образцов из чугуна СЧ20 показал, что при остановке процесса изнашивания происходит разрушение поверхностного слоя метанолом биотоплива.

Если в начальные периоды изнашивания видно только механическое воздействие на образец, то после остановки наблюдаются разрушения, вызванные воздействием метанола в статическом состоянии, приводящего к водородному охрупчиванию, что приводит к ускоренному износу (рис9).

Аналогичные исследования были проведены и для ряда других металлов. Поведение всех металлов при изнашивании с простоями аналогично приведенным выше металлам, что подтверждает наличие влияния метанолов биотоплива на поведение поверхностных слоев при водородном охрупчивании.

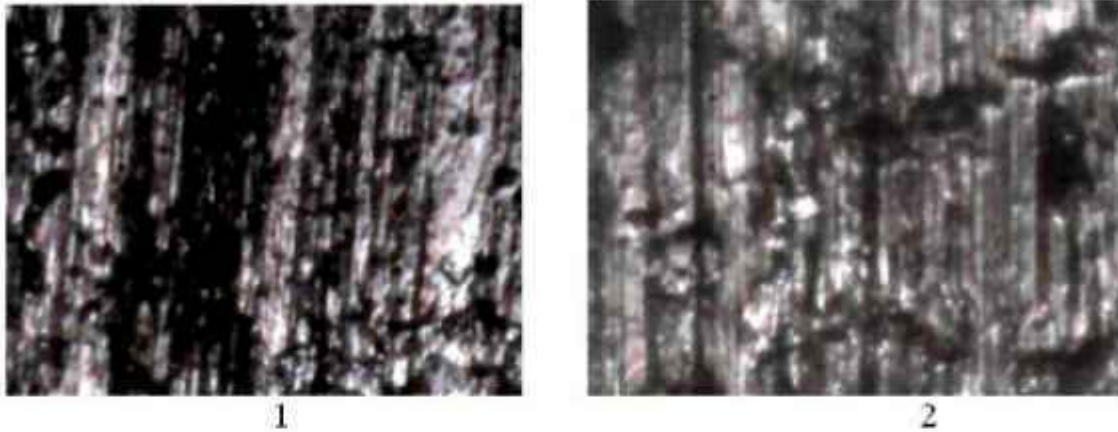


Рис.9. Микроструктуры поверхностей образцов из чугуна СЧ20 при непрерывном изнашивании в среде биотоплива -1 и после остановки до 168 часов - 2.

Объемный износ материалов в классическом варианте представляет собой сумму износов в период приработки, периода нормального изнашивания и периода аварийного износа:

$$U(t) = U_x + U_y + U_z \quad (3)$$

Логическая сумма интенсивности изнашивания по периодам изнашивания представляет собой первую производную износа по времени (скорость изменения функции).

$$\dot{U}(t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial U}{\partial t_z} \quad (4)$$

Вторая производная (ускорение изменения функции) имеет вид:

$$\ddot{U}(t) = \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial t_x^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_y^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_z^2} \quad (5)$$

Но так, как более полная характеристика процесса изнашивания выражается коэффициентом износа, а стабилизация процесса изнашивания характеризуется постоянством коэффициента износа, то представим логические суммы коэффициентов износа по периодам изнашивания.

Первая производная (скорость изменения функции)

$$\dot{K}_U(t) = \frac{\partial K_U}{\partial t} = \frac{\partial K_U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial K_U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial K_U}{\partial t_{xz}} \quad (6)$$

Вторая производная (ускорение изменения функции)

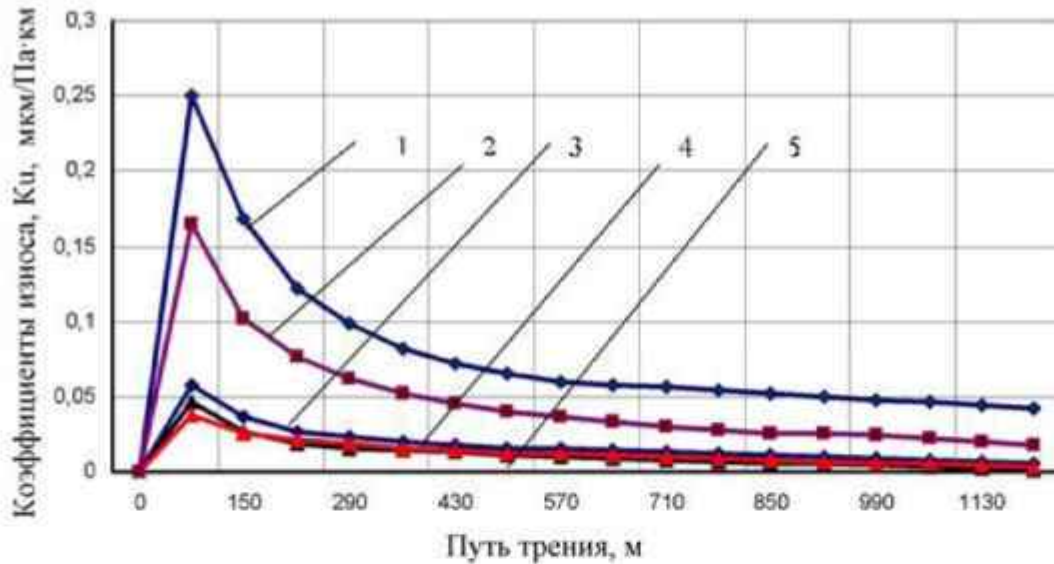


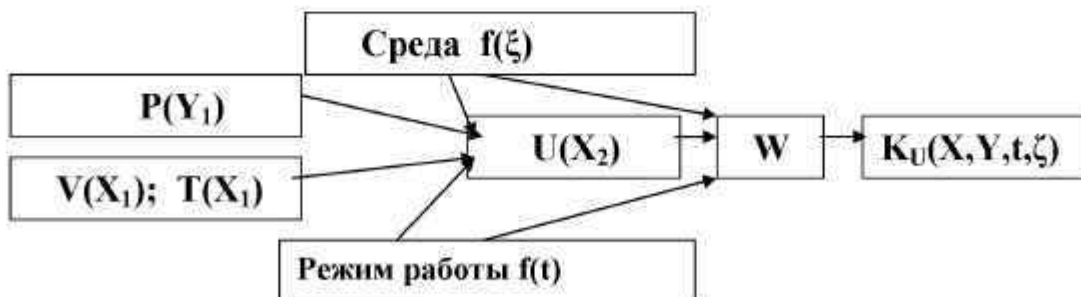
Рис. 10. Изменение коэффициента трия K_u в процессе изнашивания для различных материалов: 1- алюминий АО, 2- Бронза БР ОЦС5-5-5, 3- Чугун СЧ 20, 4- Сталь 45, 5- Сталь ШХ15.

Коефіцієнт изнашивания является функцией многих переменных – силовых, скоростных, конструктивных параметров среды и режимов изнашивания.

$$K_{U(x,y)} = \frac{U(x_2)}{V(x_1) \cdot T(x_1) \cdot P(y_1)} \quad (8)$$

Изменение коэффициента изнашивания различных материалов при изнашивании в среде биотоплива при непрерывном процессе изнашивания представлены на рис.10.

Но так как на процесс изнашивания в среде биотоплива влияют: среда $f(\xi)$ и режимы изнашивания $f(t)$, рассмотрим математическую модель процесса изнашивания по коэффициенту изнашивания.



Применив метод математического моделирования, как для процессов, протекающих при большом многообразии внешних условий, процесс изнашивания можно выразить в виде математической модели через функцию коэффициента изнашивания с учетом преобразующей системы W . Входными параметрами являются: силовые $P(Y_1)$, скоростные

$V(X_1)$ характеристики, ресурс $T(X_1)$, а также среда $f(\xi)$ и режим работы сопряжения $f(t)$.

Эта математическая модель характеризуется тем, что входные параметры – детерминированные, а система – со случайными параметрами. Поэтому выход модели должен быть случайным, а значит и функция коэффициента износа $K_U(x, y)$ является случайной функцией, изменяющейся во времени.

Коэффициент износа является функцией многих переменных функций, влияющих на износ деталей сопряжения.

$$K_U(X, Y, t, \zeta) = \varphi[P(Y_1), V(X_1), T(X_1), f(\xi), f(t)]. \quad (9)$$

Особенностью этой модели является введение двух дополнительных функций – среды работы $f(\xi)$ и режима работы сопряжения $f(t)$.

Среда работы учитывает условия изнашивания в среде биотоплива, насыщенной меркаптанами и их влияния на интенсивность изнашивания при водородном охрупчивании металлов.

Режим работы сопряжения учитывает величину простоев, в период которых происходит воздействие метанолов на контактирующие поверхности металлов, обеспечивая их статическое разрушение.

При всех равных условиях силовых и скоростных параметров процесса изнашивания, величина коэффициента износа будет зависеть от времени простоев сопряжений в агрессивных средах биотоплива.

$$K_U(x, y) = \frac{U(x_2)}{V(x_1) \cdot T(x_1) \cdot P(y_1)} \cdot f(\xi) \cdot f(t). \quad (10)$$

Простаивание сопряжений, описываемое функцией $f(t)$, приводит к статическому разложению поверхностной пленки металлов метанолами, что в итоге приводит к повторению приработки деталей сопряжения. Рассмотрим кривую износа в среде биотоплива с простаиванием в процессе изнашивания.

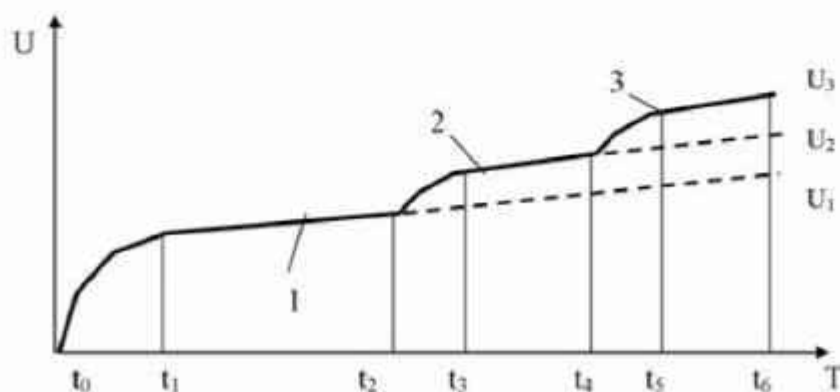


Рис. 11. Износ образцов при непрерывной работе -1 и с остановками -2 и 3.

Периоды: $t_1 - t_2, t_3 - t_4, t_5 - t_6$ – нормального изнашивания, периоды $t_0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5$ – ускоренного износа из-за статического разрушения поверхностных слоев металлов при воздействии метанолов биотоплива (периоды приработки).

U_1 - износ образца при непрерывном изнашивании,

U_2, U_3 - износ образца при прерывистом изнашивании с остановками при t_2 и t_4 .

Как видно из рисунка 11 суммарная величина износа образцов с простоями значительно превышает величину износа образцов при непрерывном изнашивании.

Суммарный износ образцов с учетом простоев можно записать

$$U_{\Sigma}(t) = U_1 + (U_2 - U_1) + (U_3 - U_2) + \dots + (U_i - U_{i-1}), \quad (11)$$

где i - количество простоев.

Моделируя процесс изнашивания с учетом простоев можно записать функциональную зависимость скорости изнашивания (интенсивность изнашивания) как логическую сумму всех периодов процесса.

$$\dot{U}(t) = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t_x} \cup \frac{\partial U}{\partial t_y} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{x1}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y2}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{x3}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{y3}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{xi}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{yi}} \quad (12)$$

Или можно скорость изнашивания записать как логическую сумму, зависящую от простоев сопряжения в процессе изнашивания

$$\dot{U}(t) = \sum_0^i \frac{\partial U}{\partial t} = \sum_0^i \frac{\partial U}{\partial t_{xi}} \cup \frac{\partial U}{\partial t_{yi}} \quad (13)$$

где i – количество простоев в процессе изнашивания.

Изменение скорости изнашивания (ускорение процесса) запишется зависимостью

$$\ddot{U}(t) = \sum \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \sum \frac{\partial^2 U}{\partial t_{xi}^2} \cup \frac{\partial^2 U}{\partial t_{yi}^2} \quad (14)$$

Периоды: $t_1 - t_2, t_3 - t_4, t_5 - t_6$ – нормального изнашивания,

периоды $t_0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5$ – приработки.

K_{U1} - коэффициент износа материалов при непрерывном изнашивании,

K_{U2}, K_{U3} - коэффициенты износа материалов при прерывистом изнашивании с остановками при t_2 и t_4 .

Величина скачка зависит от времени простоя.

Стабилизация процесса изнашивания характеризуется постоянством скорости изменения коэффициента износа материалов.

$$\frac{\partial K_U}{\partial t} = const \quad (15)$$

Скорость изменения коэффициента износа материалов можно представить как логическую сумму коэффициентов износа периодов приработки и нормального изнашивания.

$$\dot{K}_U(T) = \frac{\partial K_U}{\partial t} = \sum_0^i \frac{\partial K_U}{\partial t_{xi}} U \frac{\partial K_U}{\partial t_{yi}} = const \quad (16)$$

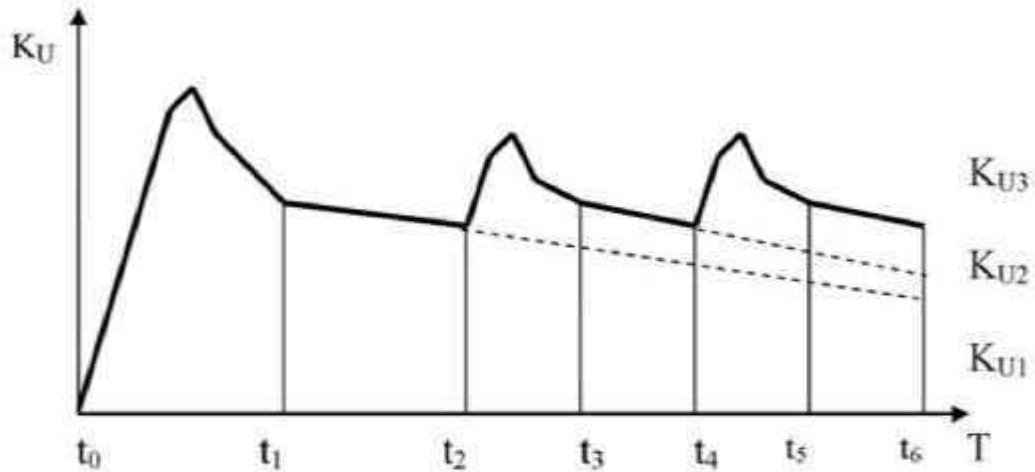


Рис.12. Изменение коэффициента износа материала в процессе изнашивания с простоями (с остановками).

Экспериментальная проверка изменения коэффициента износа различных материалов при изнашивании в среде биотоплива с остановками представлены на рис.13.

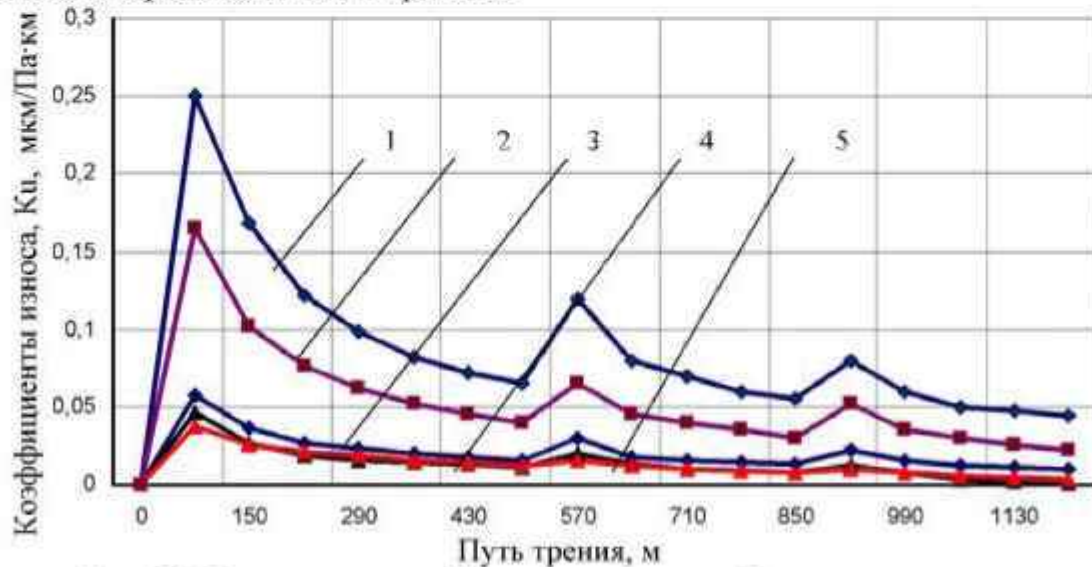


Рис.13. Изменение коэффициента трения K_u в процессе изнашивания с остановками для различных материалов: 1- алюминий АО, 2- Бронза БР ОЦС5-5-5, 3- чугун СЧ 20, 4- -сталь 45, 5-сталь ШХ15.

Из рис.13 видно, что любая остановка в процессе изнашивания в среде биотоплива приводит к повышению коэффициентов износа.

Это в конечном итоге приводит к повышению интенсивности изнашивания деталей сопряжения, снижая ресурс работы сопряжения. Рост коэффициента износа зависит от количества и времени простоя сопряжения в период изнашивания.

Выводы.

1. Износ исследуемых материалов в среде биотоплива меньше, чем в среде нефтяного дизельного топлива при непрерывном процессе изнашивания.

2. Любая остановка процесса изнашивания (скорость относительного перемещения равна нулю) приводит к статическому износу металлов, связанных с водородным охрупчиванием, что в дальнейшем интенсифицирует процесс износа.

3. При изнашивании с остановками наблюдаются скачки, зависящие от времени простоя сопряжения, что в итоге приводит к повышению значений коэффициента износа от 36% до 54 % в зависимости от времени простоя сопряжения.

3. Величина износа в процессе изнашивания в среде биотоплива зависит от времени простоев сопряжения и частоты этих остановок. Особенно это сказывается на сталях содержащих 1-3% хрома, как катализатора водородного охрупчивания.

4. Принятый показатель износа – коэффициент изнашивания, более полно характеризует поведение материалов деталей сопряжения в процессе изнашивания с учетом скоростных, силовых, конструктивных параметров, а также среды изнашивания и режима работы сопряжения.

Литература

1. *Ковалев И.Т.* - Коэффициент износа материалов – показатель надежности сопряжений / *И.Т. Ковалев, В.Б. Юдовинский* // Надежность и контроль качества. – М.: 1974. - №2. - С. 31-38.

2. *Юдовинский В.Б.* -. Математическое прогнозирование ресурса сопряжений с-х техники /*В.Б. Юдовинский* // Материалы международной научно-практической конференции. – Киев.: Узд. УСХА, 1994.- С.52-60.

3. *Кардашевский С.В.* -. Применение математических методов при использовании сельскохозяйственных машин: Цифровые модели рабочих процессов / *С.В.Кардашевский С.В* // ЦНИИТИ.-Москва, 1991. – 42 с.

4. *Проников А.С.* -. Расчёт и конструирование металлорежущих станков/ *А.С.Проников* // Высшая школа.-Москва, 1977. — 238 с.

6. Журавель Д.П.- Моделювання хімотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя / Д.П. Журавель, В.Б. Юдовінський //Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2007. – Вип.7. Том 3. – С.30-38.

7. Дидур В.А.- Особенности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биодизельного топлива / В.А. Дидур, В.Г. Надькто, Д.П. Журавель, В.Б.Юдовинський // Тракторы и сельхозмашины.- Москва, 2009. Вып 3.-С. 3-6

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ БІОПАЛИВА ПРИ ПЕРІОДИЧНІЙ РОБОТІ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

В.Б. Юдовінський, Д.П. Журавель

Анотація - робота присвячена моделюванню процесу зношування трибо спряжень в середовищі біопалива і нафтового дизельного палива при періодичній роботі мобільної техніки.

A DESIGN OF PROCESS OF WEAR OF MATERIALS OF TRIBOSOPRYAZHENIY IS IN ENVIRONMENT OF BIOPROPELLANT DURING PERIODIC WORK OF MOBILE TECHNIQUE

V. Yudovinskiy, D.Zhuravel

Summary

Work is devoted the design of process wear of трибоспрямлений in the environment of biopropellant and нефтяного of fuel-oil during periodic work of mobile technique.