

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ И УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССАМИ ПРИРАБОТКИ

**Виктор Аулин, Тарас Замота, Сергей Лысенко**

*Кировоградский национальный технический университет*

*Просп. Университетский, 8, г. Кировоград, Украина. E-mail: [Aulin52@mail.ru](mailto:Aulin52@mail.ru)*

**Viktor Aulin, Taras Zamota, Sergey Lysenko**

*Kirovograd National Technical University*

*University Ave., 8, Kirovograd, Ukraine. E-mail: [Aulin52@mail.ru](mailto:Aulin52@mail.ru)*

**Аннотация.** Дана классификация основных методов приработки сопряженных деталей машин, на которых базируются триботехнические технологии восстановления. Разработан алгоритм управления процессом приработки сопряжений деталей агрегатов и систем транспортных средств с использованием электрохимико-механического метода. В алгоритме учтены основные технологические параметры процесса приработки, в качестве критерия взят критерий Зоммерфельда. Разработана схема механизма формирования покрытий при модифицировании моторного масла добавлением медьсодержащей присадки и обработкой электрическим, магнитным или электромагнитным полем. Предложены схемы реализации способа автоматического управления износом деталей сопряжений двигателя с использованием триботехнологий восстановления их рабочих поверхностей.

На примере электротрибохимического метода приработки сопряжений деталей дана схема формирования покрытий при обработке моторного масла электрическим и магнитным полем с добавлением присадки глицерата меди. Показано, что предложенными технологиями триботехнического восстановления можно реализовать условия, в которых проявляется самоорганизация, автоматически управлять износом основных сопряжений двигателей внутреннего сгорания, а также варьировать содержание компонентов в приработочных средах, создавая композиционные технологические и рабочие среды. Результаты исследований электротрибохимического метода восстановления показали возможность управления трибохимическими реакциями на поверхностях трения, использование разных по природе внутренних и внешних потоков энергии для направленной и ускоренной доставки компонентов используемых присадок, создания в зоне трения антифрикционных и износостойких покрытий, формирование слоя вторичных структур. Показано, что вторичные структуры на поверхностях трения способствует реализации эффекта самоорганизации с ускорением продолжительности приработки и увеличение ресурса трибосопряжений.

**Ключевые слова:** масло, присадка, износ, двигатель, физические поля, самоорганизация, технология восстановления, управление приработкой.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно, что процессы трения, представляющие как разрушительное явление природы, в определенных условиях могут стать самоорганизующимися. Что позволит разработать новые методы и средства восстановления рабочих поверхностей деталей машин и оборудования, в том числе без их разборки.

Указанная сторона процессов трения окончательно не обоснована, требует тщательных экспериментальных исследований, создания физической теории протекающих процессов, получения аналитической связи между триботехническими и технологическими параметрами, выяснения условий, управления процессами и регенерации поверхностей трения [1]. Это даст основания для повышения эксплуатационной износостойкости сопряжений деталей машин и разработки эффективных технологий триботехнического восстановления (ТТВ) рабочих поверхностей деталей [2].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В этой связи заслуживают внимания исследования условий реализации процессов самоорганизации [3, 4], избирательного переноса [5, 6] при трении, саморегуляции процессов износа [7, 8] и управление процессами приработки, следствием которых является восстановление и приработка поверхностей трения деталей ресурсопределяющих сопряжений машин.

Исследования самоорганизации и избирательного переноса при трении дали новый импульс развитию практических методов повышения износостойкости машин и изменили взгляды на механизм трения и изнашивания деталей [4, 5]. Экспериментально доказано, что сервоитные пленки могут образовываться и в соединениях, которые не содержат медь и другие пластичные материалы (например, цинк, олово, серебро). Для этого необходимо ввести компоненты в смазочный материал или другие технологические среды – топливо, промывочные и охлаждающие жидкости, т.е. этот принцип положен в основу разработки и применения металлоплакирующих присадок [9, 10].

Швейцарская компания Actex S.A. с 1979 года впервые начала серийное производство металлолакирующих порошковых препаратов марки Lubrifilm, основанных на практической реализации эффекта безизносности и предназначенных для безразборного восстановления поверхностей трения сопряженных деталей автомобильной техники.

Из отмеченного вытекает концепция трения и изнашивания, основанная на глубоком теоретическом исследовании термодинамики образования структур в поверхностных слоях материала деталей, которые самоорганизуются при необратимых процессах. Возникшее новое научное направление – синергетика, содержит в себе общие закономерности управления процессами самоорганизации в системах разного рода.

Учеными трибологами подтверждено, что теория термодинамических процессов диссипации энергии и синергизма при трении являются более фундаментальной, чем теория разрушения контактирующих поверхностей деталей. Исследования диссипации и синергизма при трении являются перспективными в практической реализации, поскольку появляется возможность разработки и применения методов и средств, позволяющие в процессе эксплуатации без разборки узлов и агрегатов, осуществлять восстановление и эффективно повышать их эксплуатационную износостойкость [10-15]. Это так называемые интеллектуальные технологии самовосстановления (smart-self technologies), неотъемлемой частью которых являются ТТВ.

ТТВ позволяют проводить регенерацию изношенных деталей машин в различных рабочих (технологических) средах. Применение интеллектуальных технологий самовосстановления позволяет снизить расходы горюче-смазочных материалов (ГСМ) и запасных частей, сократить продолжительность восстановления отказов, уменьшить расходы в результате простоя техники в период ремонта.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При использовании ТТВ, на примере электрохимико-механического и электротрибохимического методов повышения износостойкости триботехническим восстановлением рабочих поверхностей сопряжений деталей, разработать алгоритм управления процессами их приработки, а также предложить схемы автоматического управления износом деталей двигателей, выяснить механизм формирования покрытий и условия реализации процессов самоорганизации.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Методы и средства безразборного восстановления сопряжений деталей автотранспортной и мобильной сельскохозяйственной техники, можно классифицировать по компонентному составу присадок, физико-химическим процессам их взаимодействия со смазывающими материалами и поверхностями трения, свойствам полученных покрытий или защитными пленками, а также механизмом протекающих процессов приработки (табл. 1).

**Таблица 1.** Триботехнические методы восстановления рабочих поверхностей деталей основных сопряжений агрегатов и систем автотранспортной и мобильной сельскохозяйственной техники

**Table 1.** Tribotechnical methods of rework of working surfaces of parts of the main mating's of units and systems of automotive vehicles and mobile agricultural machinery

№	Название метода	Сущность метода
1	Формирование специальных покрытий на поверхности трения	Формирование покрытий на поверхностях трения деталей металлами из растворов или сплавов, а также другими материалами. Наибольшее распространение приобрели электролитический, химический, фрикционный и другие способы формирования покрытий.
2	Трибохимический метод	Использование масел с металлоорганическими присадками, которые обеспечивают образование на поверхности трения тонких противоизносных пленок.
3	Пропускание электрического тока по сопряжениям основных деталей	Использование постоянного или переменного электрического тока, который направляет и ускоряет поток ионов и электронов, увеличивает плосковершинность поверхностей трения и устраняет макрогеометрические отклонения различного типа.
4	Электрохимико-механический метод	Использование электролитов, сквозь которые пропускается переменный электрический ток. В результате механического и электрохимического взаимодействий происходит быстрая взаимная приработка сопряженных поверхностей деталей.
5	Трибоэлектрохимический метод	Использование металлической вставки и пропускается постоянный ток через трибосопряжения деталей. В результате процесса ионы металла вставки под действием тока осаждаются на поверхностях трения.
6	Электротрибохимический метод	Создание условий для протекания электротрибохимических реакции, которые происходят в условиях механической активации в системе "металл-электролит (композиционное масло)". Перенос вещества осуществляется электрически заряженными компонентами через электропроводную среду (электролит, композиционное масло).
7	Метод обработки сопряжений поверхностей деталей и моторного масла магнитным полем	Модифицирование моторного масла присадками и магнитным постоянным и переменным полем, а также обработка поверхностей трения магнитным полем.
8	Физико-химический метод с использованием наночастиц и материалов	Использование композиционных масел с фуллереносодержащими составляющими, которые обеспечивают образование на поверхности трения нового материала с высокими антифрикционными свойствами.

Под руководством проф. Аулина В.В. проведены ряд исследований по приработке сопряженных деталей в различных условиях их функционирования и усовершенствованы трибохимический, электрохимико-механический, трибоэлектрохимический и электротрибохимический методы, методы обработки сопряжений поверхностей деталей и моторных масел электрическим и магнитным полем [11-14], а также физико-химический метод с использованием наночастиц и наноматериалов. Последние три метода ТТВ являются наиболее выгодными с технологической точки зрения, поскольку не имеют существенных недостатков и дают возможность восстанавливать изношенные детали сопряжений агрегатов и систем без их разборки.

Исследованиями установлено, что комплекс процессов в зонах трения совмещает в себе совокупность процессов, связанных с разрушением выступов поверхности, выделением тепловой энергии и формирования антифрикционного слоя на поверхности деталей и др. Это дает возможность разработать методы ускоренной приработки сопряженных поверхностей деталей ЦПГ. Например, электротрибохимический метод, предусматривает развитие трибохимических реакций в условиях механической активации в системе "металл-электролит (композиционное масло)". Для увеличения скорости нанесения необходимых компонентов на рабочую поверхность и упорядочения движения заряженных частиц используется внешний источник электрической, магнитной и электромагнитной энергии.

Детальное рассмотрение взаимосвязи факторов и откликов процесса и анализ расчетов позволили построить алгоритм проведения приработки трущихся поверхностей деталей с использованием электрохимико-механического метода. Контроль над процессом приработки возможен через значение критерия Зоммерфельда. Обеспечивается тонкий разделительный слой электролита между прирабатываемыми поверхностями, а большое количество активных откликов позволяет контролировать процесс непосредственно во время проведения. Разработанный алгоритм представлен на рис. 1.

При электрохимико-механической приработке (ЭХМП) необходимо получить максимально возможную в данных условиях скорость устранения макрогеометрических отклонений. Это возможно с минимальным разделительным слоем электролита и с выводом прирабатываемых сопряжений деталей из устоявшихся условий, при которых площадь пятна контакта не растет. При этом основным контролируемым параметром может стать критерий Зоммерфельда.

Как видно из этого алгоритма, после ввода всех исходных данных, происходит подсчет площади контакта сопряженных деталей  $S_k$ . В зависимости от вида сопряжения и типа макрогеометрических отклонений площади контакта имеют различные значения. Указанное необходимо учитывать при управлении процессами ЭХМП.

Полученные данные блока вычислений используются для расчета критерия Зоммерфельда  $S_m$ . Для максимальной эффективности процесса ЭХМП

необходимо придерживаться значений этого критерия несколько больших от  $10^{-5}$ . Поэтому в разработанный алгоритм введены условные блоки, в которых рассмотрены все возможные варианты при расчете критерия Зоммерфельда. Если  $S_m < 10^{-5}$ , то целесообразно повысить скорость взаимного перемещения деталей  $v$  на заранее заданную величину  $x_1$ . Повышение скорости вызовет возрастание критерия Зоммерфельда и после того, как  $S_m > 10^{-5}$ , в трибосопряжении наступает наиболее благоприятный режим трения для проведения приработки – гидродинамический.

Однако необходимо учитывать, что рост толщины разделительной пленки электролита тоже замедляет процесс приработки. Для поддержания постоянной толщины минимального разделительного слоя смазочного материала между прирабатываемыми деталями  $h_{min}$  можно воспользоваться свойством снижения динамической вязкости электролита  $\mu$  при его загазовывании с подъемом рабочего напряжения  $U$  выше потенциала газообразования. Таким образом можно снизить несущую способность электролита и сблизить прирабатываемые поверхности.

При достижении оптимальных значений критерия Зоммерфельда, можно рассчитать толщину пленки электролита  $h_{min}$  для различных типов сопряжений. Окончательно проследить за протеканием процесса можно по отношению рабочего напряжения процесса  $U$  к величине напряжения холостого хода  $U_{xx}$ . При  $U_p / U_{xx} \geq 0,8$  ( $I / (h_{min} \cdot \chi \cdot U_{xx}) \geq 0,8$ ) можно добавить дополнительную нагрузку  $F$ . Это выведет прирабатываемое трибосопряжение из стабильного состояния для сформировавшихся условий, и позволит дальнейшее развитие площади пятна контакта и уменьшение макрогеометрической погрешности.

Учет всех факторов, поддержание оптимальных режимов с помощью активного управления процессом, позволяют достичь существенной эффективности процесса ЭХМП.

Из приведенного алгоритма следует, что при ЭХМП различных сопряжений машин появляется реальная возможность управления процессом за счет целого комплекса факторов и активных откликов. Это выгодно выделяет данный метод приработки от других, используемых в настоящее время.

Процессы в ТТВ состоят из двух стадий: подготовка трибосопряжений деталей до восстановления; формирование антифрикционных и износостойких слоев на поверхностях трения. Эти стадии могут быть как разделенными, так и совмещенными, что дает разработать способы ТТВ и возможность управлять ресурсом деталей, а, следовательно, и ресурсом машины в целом.

Рассмотрим реализацию разработанных ТТВ на примере трибосопряжения "гильза цилиндра - поршневое кольцо" с использованием электромагнитных полей и добавлением в базовое масло органической присадки – глицерата меди (рис. 2).

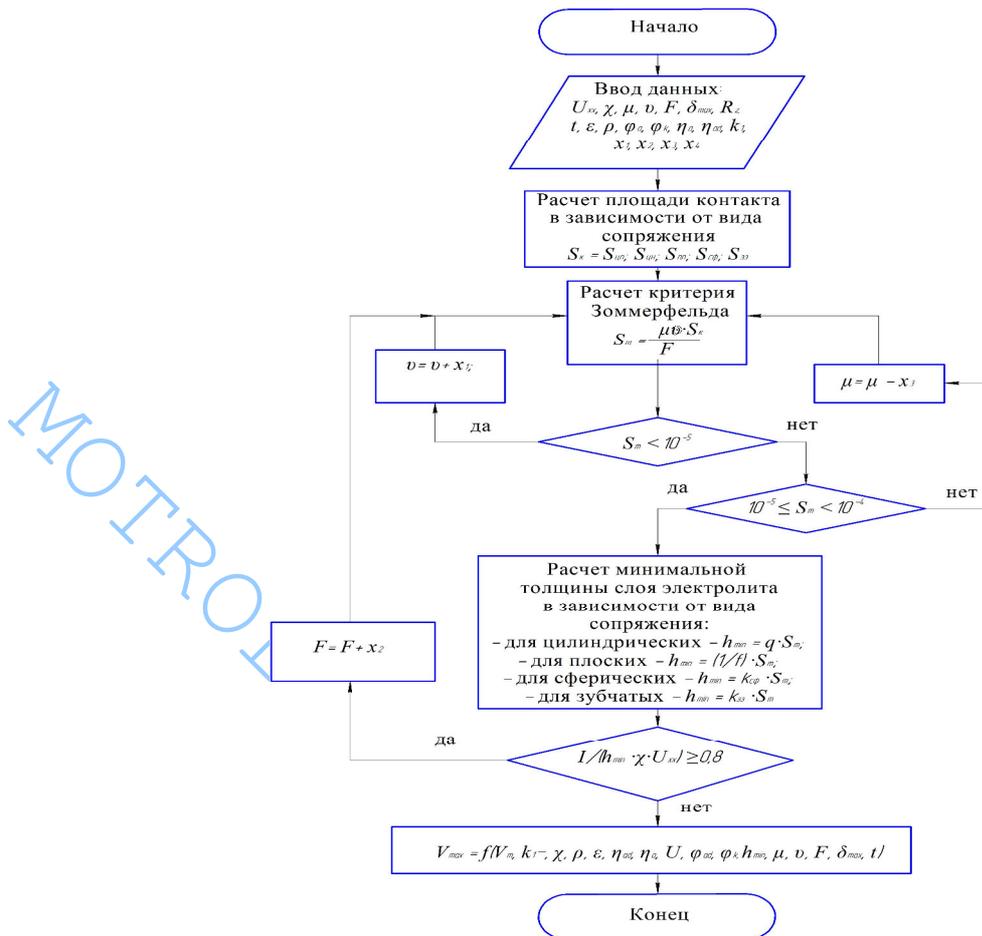


Рис. 1. Алгоритм управления процессом приработки сопряжений деталей агрегатов, систем, механизмов, основанном на электрохимико-механическом методе

Fig. 1. The algorithm of control of running-in process of mating parts, aggregates, machinery using electrochemical-mechanical method

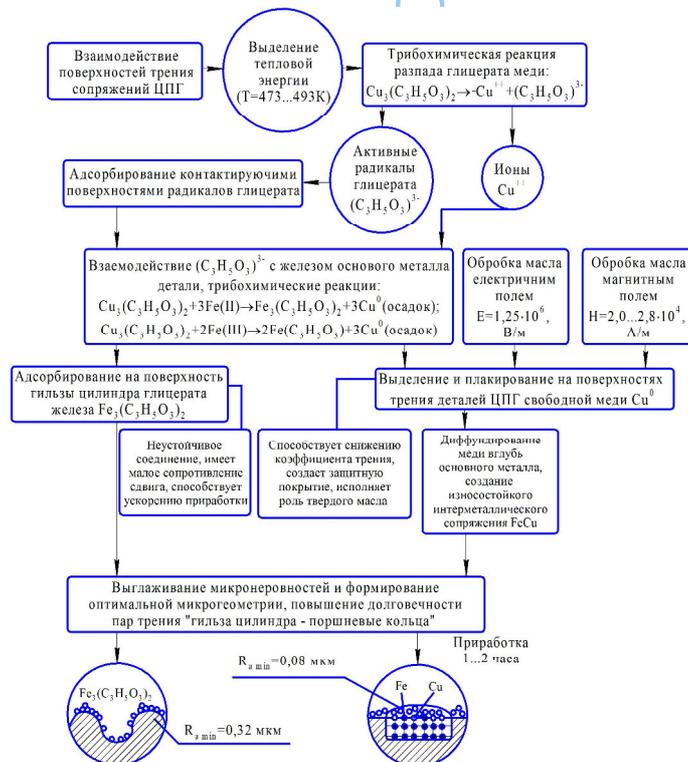


Рис. 2. Схема механизма формирования покрытия при обработке моторного масла электрическим и магнитным полем и добавлением присадки глицерата меди

Fig. 2. The chart of mechanism of forming the coating during processing engine oil by electrical and magnetic field and addition of copper glycerate

В процессе износа деталей трибосопряжения происходит разрушение неровностей поверхности. Работа сил трения направлена на деформирование их поверхностных слоев и выделение тепловой энергии, вызывает распад глицерата меди  $Cu_3(C_3H_5O_3)_2$  на ионы меди  $Cu^{++}$  и активные радикалы глицерата  $(C_3H_5O_3)^{3-}$ . Активные радикалы глицерата  $(C_3H_5O_3)^{3-}$  адсорбируются поверхностью, образуя глицерат железа  $Fe_3(C_3H_5O_3)_2$ . Это соединение имеет низкое сопротивление сдвигу и обуславливает ускорение процесса приработки рабочих поверхностей. Одновременно с отмеченным процессом происходит выделение ионов меди  $Cu^{++}$  при реализации трибохимической реакции распада глицерата меди, а также отложение на поверхностях трения свободной меди  $Cu^0$ , которая способствует снижению коэффициента трения, образованию защитного слоя, который выполняет роль твердой смазки. Протеканием процессов в зоне трения также можно управлять, регулируя внутренними и внешними потоками энергий физических полей, а также, составом и концентрацией присадки в масле.

Если физико-химические процессы протекают интенсивно, то наблюдается диффузия меди вглубь кристаллической решетки железа, которая обеспечивает создание износостойкого интерметаллического соединения  $FeCu$  в зонах контакта и существенно повышает адгезионные свойства покрытия. Кроме этого при пластической деформации поверхностных слоев деталей и выделенного при этом тепла на поверхностях трения протекают процессы образования оксидных пленок. В качестве окислителя выступает воздух, который растворен в масле и содержится в присадке. При этом образованные пленки оксидов являются вторичными структурами, защищающие глубинные слои материалов от взаимодействия при трении, снижая при этом интенсивность изнашивания. Толщина покрытия зависит от концентрации и состава присадки и характеристик внешнего или внутреннего потоков энергии.

При использовании ТТВ в процессе эксплуатации поверхности трения деталей переходят в режим "безыносного трения", а изнашивание происходит не через излом или смятие выступов неровностей поверхностей трения, а через образование и разрушение вторичных структур.

Научиться управлять отмеченными процессами - одна из основных задач проблемы повышения износостойкости и надежности машин. ТТВ дают возможность достичь повышения ресурса машин на основе физического эффекта безыносности и реализации процесса самоорганизации за счет стабилизации технического состояния трибосопряжений деталей.

Структурная схема модели трибосопряжения деталей с реализацией процесса самоорганизации приведена на рис. 3.

На вход трибосопряжения подаются ионы металлов с композиционной смазочной среды, которая находится в зоне контакта, или вне ее. С помощью электрического, магнитного, или электромагнитного полей ионы ускоряются и направляются для восстановления на изношенные части рабочей поверхно-

сти деталей. Информацию о состоянии системы можно получить с помощью датчиков, сигналы из которых управляют количеством энергии, необходимой для работы трибосопряжения, изменения условий его функционирования, определения количества вещества, которое подается на вход.



Рис. 3. Структурная схема модели реализации процесса самоорганизации

Fig. 3. The flow chart of an implementation model of self-organization process

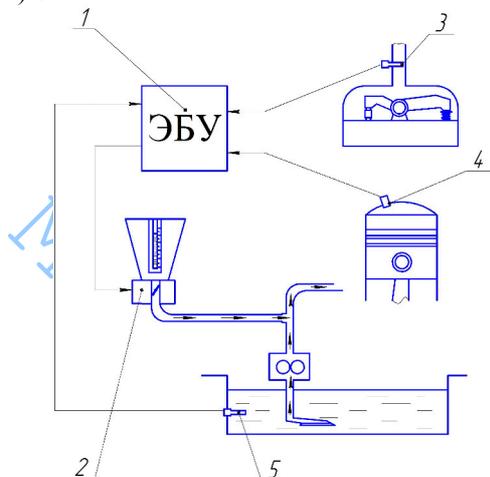
Реализация процессов самоорганизации в электротрибохимическом процессе позволяет получить интенсивность изнашивания на несколько порядков меньшую от интенсивности изнашивания в условиях отсутствия ТТВ. В результате оптимизации процессов получают значения определяющих факторов: плотности и силы тока, напряжения, скорости относительного перемещения, давления в контакте, при которых износостойкость увеличивается на несколько порядков, что позволило сделать вывод о возможности реализации эффекта безыносности на этапе приработки и в процессе эксплуатации.

Авторами предложен и способ автоматического управления износом деталей ДВС в процессе эксплуатации, которая включает введение в моторное масло присадки, при компенсации износа. Присадка подается в систему смазки двигателя с помощью дозаторного устройства, управление которым осуществляется электронным блоком управления (ЭБУ) на основе сигналов от датчиков температуры масла, давления в камере сгорания и качественного состава картерных газов (рис. 4) [16-21].

Реализация способа автоматического управления износа деталей ДВС осуществляется следующим образом. В камере сгорания монтируют датчик давления. В систему вентиляции картерных газов устанавливают датчик качественного состава картерных газов. В картер двигателя устанавливают датчик температуры масла. К масляной магистрали подсоединяют дозаторное устройство для подачи присадки в масло. Выводы отмеченных датчиков соединяют с ЭБУ. При нагревании моторного масла в двигателе до температур больших  $85^{\circ}C$  датчик температуры масла дает команду ЭБУ, который начинает считывать показание других датчиков.

При близких к предельным значениям давления в камере сгорания и качественного состава картерных газов ЭБУ дает управляющий сигнал дозаторному устройству для подачи определенной разовой дозы присадки в главную масляную магистраль. При попадании присадки в масло на поверхностях сопряженных деталей образуются покрытия, которые компенсируют их износ [22]. Следующее считывание информации из датчиков происходит через

определенное время, необходимое для создания этих покрытий. Если параметры датчиков после внесения присадки отвечают норме, ЭБУ переходит в режим слежения по параметрам датчиков. При снижении температуры масла (при остановке двигателя) ЭБУ выключается.



**Рис. 4.** Схема способа автоматического управления износом деталей ДВС в процессе эксплуатации:

1 – электронный блок управления; 2 – дозаторное устройство для подачи присадки в масляную магистраль; 3 – датчик качественного состава картерных газов; 4 – датчик давления в камере сгорания; 5 – датчик температуры масла

**Fig. 4.** The chart of automatic control method of ICE part's wear during operation:

1 – the electronic control unit; 2 – dosing device for supplying additives to the oil line; 3 – the transducer of qualitative composition car-acteristic gases; 4 – a pressure transducer in the combustion chamber; 5 – oil temperature transducer

Использование этого способа позволяет: эффективно повысить долговечность деталей ДВС; управлять процессами износа деталей ДВС и их автокомпенсацией; повысить компрессию в цилиндрах двигателя до уровня 90%; снизить содержание вредных выбросов в отработанных газах (окиси углерода, углеводороду, саже) в 2 раза; уменьшить потребление горюче-смазочных материалов на 20%; достичь повышения ресурса машин на основе физического эффекта безызносности за счет стабилизации технического состояния трибосопряжений.

#### ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих и предложенных методов приработки дал возможность провести их классификацию. Учет процессов в методах приработки составляют основу технологий триботехнического восстановления и предусматривают разработку систем управления приработкой сопряжений деталей. Предложен алгоритм управления процессом приработки деталей электрохимико-механическим методом. Выявлено, что его эффективность зависит от значений критерия Зоммерфельда.

2. При достижении оптимальных значений критерия Зоммерфельда, можно рассчитать толщину

пленки электролита  $h_{min}$  для различных типов сопряжений. Окончательно проследить за протеканием процесса ЭХМП можно по отношению рабочего напряжения процесса  $U$  к величине напряжения холостого хода  $U_{xx}$ . При  $U_p / U_{xx} \geq 0,8$  ( $I / (h_{min} \cdot \chi \cdot U_{xx}) \geq 0,8$ ) можно добавить дополнительную нагрузку  $F$

3. На примере электротрибохимического метода приработки сопряжений деталей дана схема формирования покрытий при обработке моторного масла электрическим и магнитным полем с добавлением присадки глицерата меди. Показано, что триботехнологиями восстановления можно реализовать процесс самоорганизации и предложить схемы автоматического управления износом основных сопряжений ДВС.

4. Реализация процессов самоорганизации в электротрибохимическом методе приработки позволяет получить интенсивность изнашивания на несколько порядков меньшую от интенсивности изнашивания в условиях отсутствия ТТВ. Предложены схемы автоматического управления износом деталей ДВС в процессе эксплуатации, который включает введение в моторное масло присадки для компенсации износа, а также наложения электрического и магнитного полей.

5. Показано, что использование разработанной ТТВ повышает ресурс машин за счет стабилизации технического состояния трибосопряжений. При этом появляется возможность управления и компенсации процессами износа деталей ДВС, повышается компрессия в цилиндрах двигателя до уровня 90% от номинальной, снижается содержание вредных выбросов в отработанных газах в 2 раза, уменьшается потребление ГСМ на 20%.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кравец И.А. 2003.** Ремонтная регенерация трибосистем. Т.: Изд-во Бережанского агротехн. ин-та, 284.
2. **Аулин В.В., Соловых Е.К., Лысенко С.В., Кузык А.В. 2009.** Перспективы развития триботехнологий повышения долговечности деталей дизелей мобильной техники. Материалы Международной научно-практической, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Вадивасова Д.Г.; ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 10-16.
3. **Гершман И.С., Буше Н.А. 1995.** Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах. Трение и износ. Т.16, №1, 61-70.
4. **Аулин В.В. 2014.** Физические основы процессов и состояний самоорганизации в триботехнических системах: монография. Кировоград: Изд. Лисенко В.Ф., 370. (Украина).
5. **Быстров В.Н. 1992.** Избирательный перенос при трении - новые возможности при изготовлении и использовании машин. Эффект безызносности и триботехнологии, 17-33.
6. **Балабанов В.И. 1999.** Безразборное восстановление трущихся соединений. М.: МГАУ, 72.
7. **Костецкий Б.И. 1980.** О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, сма-

зочного действия и изнашивания. Трение и износ. т.1, №4, 622-637.

8. **Джус Р.Н. 2004.** Системно-физический подход к объяснению безыносного трения при использовании ревитализантов. Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 23. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 183-186. (Украина).
9. **Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. 2000.** Износостойкость пар трения серый чугуна-гальваническое хромовое покрытие при использовании смазочных композиций с различными присадками. Трение, износ, смазка. (Электр, ресурс). www.tribo.ru. Т.2, №3, 17-20.
10. **Сафонов В.В. 1999.** Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук; 05.20.03. Саратов, 51 с.
11. **Алексеев В.П., Замота Т.Н., Домбровский М.А., Зорин Р.В. 2003.** Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун-цилиндр. Сб. науч. трудов ЛНАУ. Технические науки. №31. Луганск, 4-9.
12. **Аулин В.В., Соловых Е.К., Лысенко С.В. 2005.** Использование возможностей технологий триботехнического восстановления для повышения долговечности дизельных двигателей после ремонта. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка. Технический сервис АПК, техника и технологии в сельскохозяйственном машиностроении. Харьков. №39, 105-111.
13. **Аулин В.В., Лысенко С.В., Кузык А.В. 2010.** Повышение эксплуатационной надежности машин путем модифицирования моторного масла. Вестник Харьковского нац. техн. университета сельск. хозяйства. Проблемы надежности машин и средств механизации сельскохозяйственного производства. Харьков. №100, 127-133.
14. **Аулин В.В., Лысенко С.В., Кузык А.В. 2010.** Теоретическое обоснование изменения режимов трения в цилиндро-поршневой группе ДВЗ. Проблемы трибологии (Problems of tribology). Хмельницкий. ХДУ. №3, 46-54. (Украина)
15. **Аулин В.В., Лысенко С.В., Кузык А.В. 2009.** Изменение технического состояния основных ресурсопределяющих сопряжений двигателя и моторного масла в процессе эксплуатации. Проблемы трибологии (Problems of tribology). Хмельницкий. ХНУ. №4, 118-122.
16. **Аулин В.В., Онолов М.В., Бобрицкий В.М., Натальин И.И., Лысенко С.В., Жулай А.Ю., Дубовик В.А. 2007.** Патент №26959. Украина. Способ управления износом деталей двигателя внутреннего сгорания в процессе эксплуатации. u200706472. Заявл. 11.06.2007. Опубл. 10.10.2007. Бюл. №16.
17. **Аулин В.В., Онолов М.В., Кузык О.В., Лысенко С.В., Ливицкий А.М., Голуб Д.В., Лысенко В.Н. 2009.** Патент №45786. Украина. Способ автоматического управления износом двигателя внутреннего сгорания. u200906111. Заявл. 15.06.2009. Опубл. 25.11.2009. Бюл. №22.
18. **Аулин В.В. 2015.** Теоретическое обоснование метода и системы диагностирования мобильной сельскохозяйственной техники/ В.В. Аулин, А.В. Гринькив // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенка, №163, 39-45.
19. **Аулин В.В. 2015.** Проблемы повышения эксплуатационной надежности та возможности усовершенствования стратегии технического обслуживания мобильной сельскохозяйственной техники, В.В. Аулин, А.В. Гринькив. Сборник научных трудов Кировоградского национального технического университета: Техника в сельском хозяйстве, отраслевое машиностроение, №29, 32-35.
20. **Аулин В.В. 2013.** Состояние самоорганизации среды почвы и закономерности износа рабочих органов почвообрабатывающих машин. Проблемы трибологии (Problems of tribology). Хмельницкий: ХНУ, №1,114-119.
21. **Аулин В.В., Слонь В.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В. 2015.** Исследование изменения мощности дизеля автомобилей, работающих в нестационарных условиях. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin-Rzeszow, Poland. Vol.17(2), 103-108.
22. **Попов В., Кипреев Ю., Савенко О., Марченко Д. 2015.** Анализ характеристик контакта поверхностей с первоначальным линейным и точечным касанием. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin-Rzeszow, Poland. Vol.17(2), 9-16.

#### INCREASE OF OPERATIONAL WEARABILITY OF MACHINE'S MATING PARTS BY TRIBOTECHNICAL REWORK AND RUNNING-IN PROCESS CONTROL

**Summary.** The classifications of the main running-in methods of mating machine's parts, which are based on the tribotechnical rework techniques of their working surfaces. The algorithm of control of running-in process of mating parts using electrochemical-mechanical method is developed and the scheme of mechanism of coating formation by modification of the engine oil by adding the copper-containing additives and processing of electrical and magnetic field is developed. A realization method for automatic control of engine's parts wear with tribotechnology of rework is proposed.

On example of a triboelectrochemical method of running-in of mating parts the scheme of forming coatings in the processing of engine oil by electric and magnetic field with the addition of additives glycerate copper is given. It is shown that the technology tribological recovery can implement the conditions in which manifests self-organization and automatically control the de-

preciation of fixed interfaces internal combustion engine, as well as to vary the contents of the components in the running environment, create composite technology and working environment, control tribochemical reactions on friction surfaces, use different on the nature of internal and external flows of energy for the targeted and accelerated delivery of components of anti-friction, wear-resistant coatings in friction zone, forming layers

of secondary structures and amorphous films on the surfaces of friction units of material elements, to create secondary structures on the friction surfaces during the running and operation of the elements of friction units.

**Key words:** oil, additive, wear, drive, physical fields, self-organization, rework technology, running-in control.

MOTROL 2016.  
Vol. 18.  
No. 2.