

Рис. 2

Список литературы: 1. Reynolds O. On rolling friction.- Philos. Trans. Roy. Soc., 1875, 166, p.155. 2. Carter F.M. On the action of a locomotive driving wheel // Proc. Roy. Soc., Ser.A.- 1926.-Vol.112.-p.151-157. 3. Гольдштейн Р.В., Зазовский А.Ф., Спектор А.А. Решение пространственных контактных задач качения с проскальзыванием вариационным методом. – М, 1979. - (Препринт/ ИПМ АН СССР: 134). 4. Александров А. И. Решение задач контактного взаимодействия упругих тел с использованием нелинейных операторных уравнений. – Днепропетровск, 1989.- 74с. - (Препринт/ ИТМ АН СССР; 89-2). 5. Бокий И.Б. Численный подход к решению контактной задачи взаимодействия двух упругих тел с учетом трения и истории приложения внешнего нагружения. // Вестник ЯГУ. – 12006.- Т.3, №3. –С.42-46. 6. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М: Мир, 1989.– 510 с.

Сдано в редакцию 16.05.07

СТРУКТУРНАЯ НЕЖЕСТКОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ СРЕДЫ ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКОЙ ДОВОДКЕ СОПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ Д.В.С.

Болдарь Л.Н. (ЛНАУ, г. Луганск, Украина)

It is shown that the size of wear of standards at the mutual electrophysicalchemical polishing depends not only on changeability of basic factors but also from structural non-rigid of constituents of environment on the phase scopes.

Состояние вопроса. Анализ последних публикаций в области производства и ремонта двигателей внутреннего сгорания (д.в.с.), показывает, что значительные успехи в плане обеспечения двигателестроения современными материалами и совместимости этих материалов со средой, достигнуты благодаря углублению исследований до нано- и пикоуровней [1-3] и применению нанотехнологий в производстве [4-6]. Вместе с тем в процессе создания материалов и управления их свойствами на наноуровне, нерешенными остаются две задачи: первая – «состоящая в строгом регулировании размера наноструктур при длительной работе в переменном окружении» [1, с.185], или задача повышения точности размеров составляющих и адаптации их со средой и вторая, состоящая «в регулировании термической и химической стабильности, получаемых наноструктур», или задача повышения долговечности структур. Очевидно, что стабильности наноструктур можно достичь при обеспечении условий совместимости их со средой, подобно природной авторегуляции процессов, как это наблюдается в макромасштабе при избирательном переносе, создании наноструктурных покрытий [7], образовании сервовитных пленок и вторичных структур.

Чтобы приблизиться к условиям авторегуляции процессов в сопряжениях или к режиму нормального изнашивания предлагается в начале работы д.в.с. проводить взаимную макроприработку (МП) деталей, под действием переменного электрического тока в водно-органических электролитах [8, 9]. При этом качество МП достигается благодаря «прерывистости эпюра локальных скоростей съема» [10, с. 54] материалов в процессе электрофизического и электрохимического взаимодействия поверхностей [11]. При малых отклонениях формы деталей припуск на локальный съем материалов не превышает полученной в процессе изготовления высоты выступов шероховатости контактирующих поверхностей, а при больших отклонениях, у отремонтированных двигателей, после снятия слоя металла, на поверхностях образуются пористые или плосковершинные микрорельефы. В сопряжениях новых двигателей такая МП может способствовать образованию вторичных структур [5].

В этой статье приводятся результаты исследований влияния состава электролита на развитие площади пятна контакта между образцами пары трения колодочка – ролик (сплав АСМ-сталь40Х) в условиях прерывистости основных факторов процесса МП и прерывистости эпюра локальных скоростей электрохимического съема.

Методика исследований. МП образцов проводилась на машине трения СМЦ-2. В качестве базового электролита использовался водный раствор неорганических солей (ВРС) NaNO_3 и NaCl с добавкой ортофосфата натрия и лимонной кислоты, буферизирующих кислотность среды при $\text{pH} = 7$ [12]. К этому электролиту добавлялись органические вещества: глицерин ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$), триэтанолламин (ТЭА), моторное масло марки Дп-11, этиловый спирт, бензин Б70, а также ПАВ и ХАВ в виде смачивателя Св-102, водного раствора Na_2S , и водного раствора синтетического моющего средства (СМС) типа Лабомид-102.

В зону трения электролит поступал за счет самозахватывания роликом из ванночки при частоте вращения 300 мин^{-1} .

Колодочки вырезались из вкладышей подшипников скольжения коленчатого вала двигателя 4Ч11,0/12,5 [13]. На поверхности алюминиевого сплава АСМ располагался слой приработочного покрытия ($\text{Sn} + \text{Pb}$). Ролики изготавливались из нормализованной стали 40Х. Их диаметр соответствовал 1-му ремонтному размеру шеек коленчатого вала двигателя 4Ч11,0/12,5. Ширина роликов составляла 12 мм. Номинальная площадь контакта на колодочке $S_n = 1,83 \text{ см}^2$ ($B \times L = 1,00 \times 1,83 \text{ см}$), а начальная площадь контакта (S_k) с роликом не превышала $0,1 \text{ см}^2$.

После пуска машины колодочка прижималась к ролику с силой 78,5 Н. Одновременно с нагружением на пару трения подавался однофазный электрический ток промышленной частоты (50 Гц), силой 2 А. В качестве источника тока использовалась одна из обмоток понижающего трансформатора типа ТС1,5/0,5 и автотрансформатор (ЛАТР), рассчитанный на силу тока 9 А. Отдельные опыты проводились при силе тока 1,0; 0,75 и 0,5 А. В процессе МП сила тока самопроизвольно изменялась и постоянно выводилась оператором на начальное значение с помощью ЛАТРа. Рабочее напряжение при этом изменялось в пределах 0,75-6,25 В. Чтобы исключить растекание тока, оправка крепления колодочки изолировалась от вала каретки машины с помощью текстолитовой втулки.

О протекании МП судили по изменению момента трения, силы тока и рабочего напряжения, которое периодически фиксировалось с помощью быстродействующего прибора НЗ27-5. Повторность опытов в экспериментах принималась от 2 до 5-ти. Продолжительность каждого опыта составляла 15 мин.

Другие особенности методики исследований изложены в источниках [5, 9].

Результаты исследований и их обсуждение. Основные результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние основных факторов на показатели МП образцов

№	Электролит	S _к , %	Сила тока, А	Рабочее напряжение, В	Износ, мг/см ² · мин	
					ролика	колодочки
1	ВРС	100	→ 2,00	← 1,95-1,70	0,055	0,68
2	ВРС + 2 % Д _н -11	93	→ 2,00	← 3,75-3,25	0,012	1,20
3	ВРС + 30 % ТЭА	100	← 2,00	→ 1,00-2,50	0,025	1,26
4	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃	100	← 2,00	→ 0,75-2,25	0,030	2,40
5	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 2,0 % Св-102	100	← 2,00	→ 4,75-6,25	0,045	1,89
6	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 15 % СМС	100	← 2,00	→ 1,70-1,75	0,069	3,75
7	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 2,0 % Na ₂ S	100	← 2,00	→ 1,00-1,75	0,013	1,72
8	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 1,5 % этанола	87	← 2,00	→ 0,90-2,00	0,012	1,01
9	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 5,0 % этанола	100	← 2,00	→ 1,50-2,25	0,039	1,96
10	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 5 % этанола (δ _{min})	25	← 2,00	→ 0,90-1,10	0,010	0,28
11	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 1,5 % Б70	87	← 2,00	→ 0,90-2,00	0,036	0,83
12	ВРС + 30 % С ₃ Н ₈ О ₃ + 4,0 % Б70	100	← 2,00	→ 1,20-1,30	0,025	3,50
13	ВРС + 30 % ТЭА + 2,0 % Св-102	100	← 2,00	→ 1,75-3,75	0,013	1,35
14	ВРС + 30 % ТЭА + 2,0 % Св-102	100	← 1,0	→ 1,75-3,00	0,016	0,77
15	ВРС + 30 % ТЭА + 2,0 % Св-102	87	← 0,75	→ 1,75-3,25	0,011	0,52
16	ВРС + 30 % ТЭА + 2,0 % Св-102	25	← 0,50	→ 1,00-1,75	0,026	0,99

Примечание. Знаками «→» и «←» обозначается самопроизвольный рост и снижение силы тока и напряжения.

По данным табл. 1 видно, что во всех экспериментах из-за малой вязкости электролитов, выход пары трения на режим авторегуляции, не наблюдался. Как известно, при использовании вязких электролитов [6] об окончании процесса МП и переходе пары трения и подшипников скольжения коленчатого вала на режим ЭХО свидетельствовал самопроизвольный рост напряжения (см. участок Б, рис. 1а) и снижение силы тока до нулевых значений.

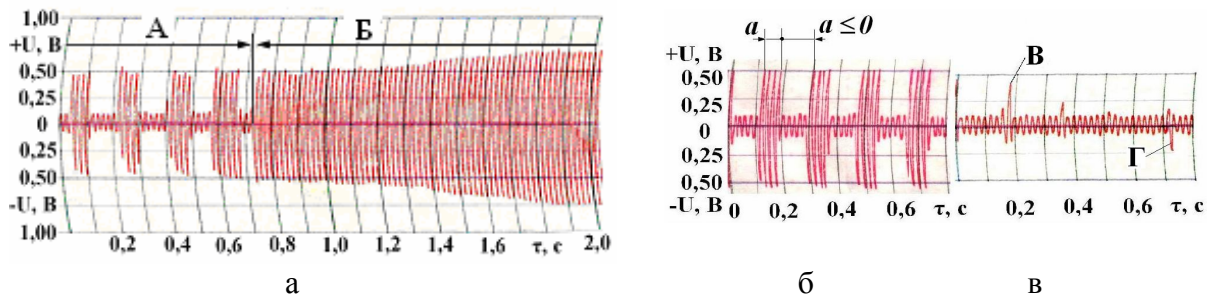


Рис.1. Изменение напряжения при МП пары трения: а – на вязком электролите; б – при добавлении к ВРС 30 % глицерина или ТА; в – при условиях оп.10 и 16

Тем не менее, во всех опытах, кроме 10 и 16-го, площадь пятна контакта на колодочке S_k достигала 87-100 % S_n . Рабочее напряжение в процессе МП изменялось синхронно частоте вращения ролика (см. рис. 1 б): некоторому зазору a соответствовало максимальное напряжение, а контакту поверхностей ($a \leq 0$) – малое напряжение и большая сила тока.

Определяющими в опытах 10 и 16 были, соответственно, малое биение ролика ($\delta_{\min} = 0,01-0,03$ мм), и малая сила тока. При этом рабочее напряжение (см. рис. 1в) и момент трения (кривая 1, рис.2а), практически, не изменялись.

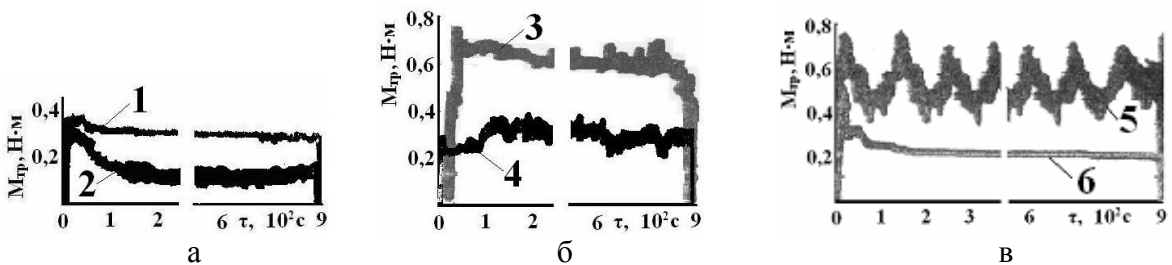


Рис. 2. Изменение момента трения при МП:
1 – п.10 (см. табл. 1); 2 – п.14; 3 – п.1; 4 – п.6; 5 – п.3,4; 6 – п.5

Очевидно, на очень малом зазоре при кратковременном повышении напряжения (см. всплески В и Г на рис.1в) электрофизические явления незначительно усиливали износ, а пятно электрохимического контакта [11] вообще не возникало. По виду поверхности сплава АСМ вблизи пятна контакта (рис. 3а) можно предположить, что эрозионно-химические процессы имели лишь локальный характер.

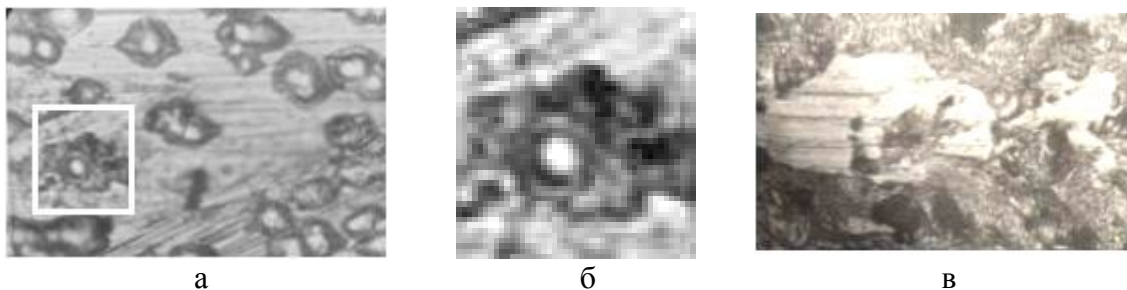


Рис. 3. Вид поверхности пятна контакта на колодочке после МП: а – п.10 (см. табл.1); б – фрагмент поверхности рис. 3а; в – пп.2-4 (x487)

Округлая форма лунок и растравленные вокруг них участки (см. рис. 3 а, б) дают основание предположить, что окончательно материалы сплавов растворялись электрохимически.

Экстремальный сьем материала колодочки наблюдался в экспериментах 1 и 6: наименьшим он был при использовании ВРС, а наибольшим – при добавлении к электролиту 30 % глицерина и 15 % водного раствора СМС. Момент трения на ВРС снижался незначительно, а на электролите с СМС – даже возрастал (см. кривые 3, 4 рис 2г). При этом из-за большой окислительной и низкой несущей способности ВРС, на поверхности сплава АСМ образовывался упрочненный, закрытый шламом рельеф. Большой сьем материала колодочки в эксперименте 6, вероятно, можно объяснить сильным эмульгирующим действием водного раствора СМС [14].

При добавлении к ВРС растворимых в нем глицерина или ТЭА, а также нерастворимого моторного масла, развитие площади пятна контакта сопровождалось электроэрозионным сьемом и последующим механическим «размазыванием» расплавленных материалов и электрохимическим «залечиванием» последствий искрового пробоя (см. рис 3в). Наименьший износ ролика в экспериментах наблюдался при добавлении к ВРС 2 % Д_п-11. Вероятно, его амфифильные молекулы [15] полностью оттесняли электролит с границы раздела сплав/электролит (рис. 4а) и блокировали электрохимический процесс растворения продуктов электроэрозии [11].

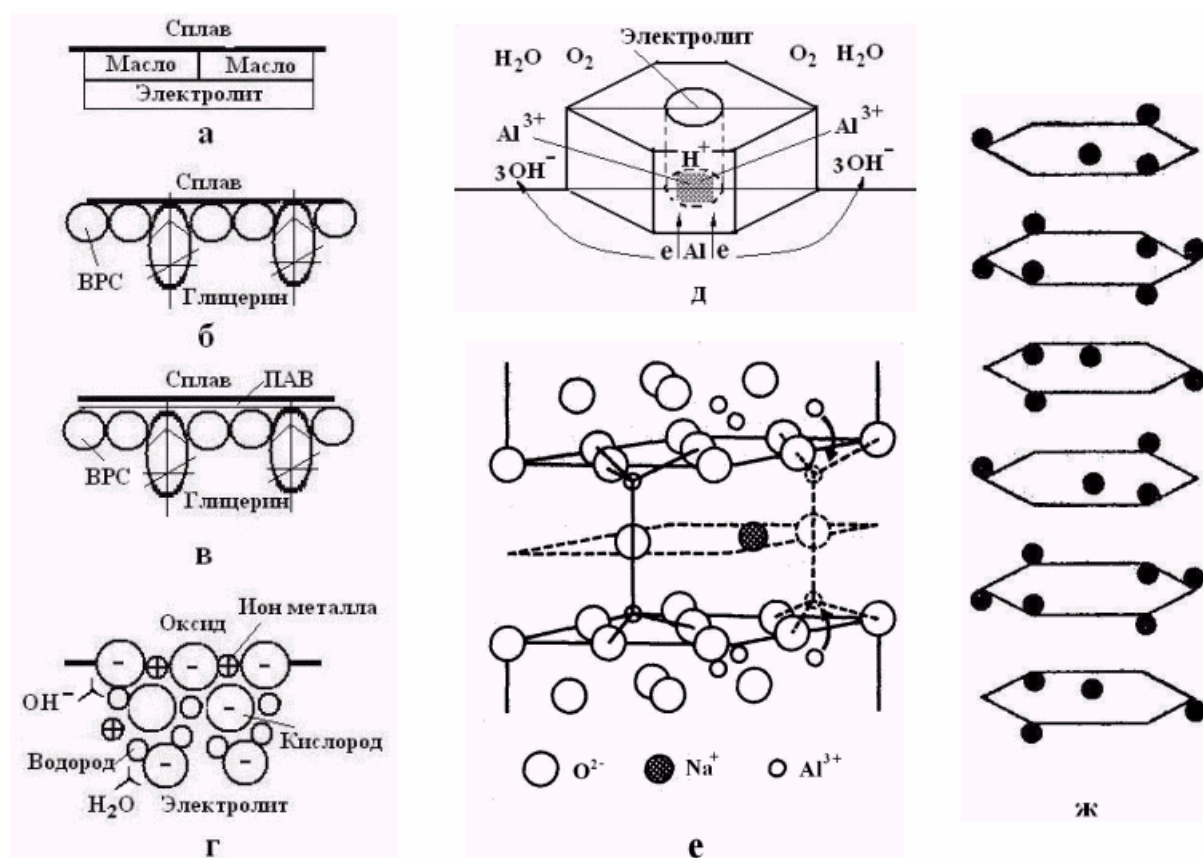


Рис. 4. Схемы размещения: а-г – составляющих на границах раздела сплав/электролит; д – ионов алюминия и водорода во внутримолекулярной поре оксида Al_2O_3 [16]; е – атомов алюминия в окта- и тетраэдрических узлах β -глинозема [17]; ж – атомов алюминия в октаэдрических пустотах шести плотноупакованных слоев корунда [18]

Некоторое понижение рабочего напряжения и рост силы тока к концу МП (см. пп.1 и 2, табл.1), вероятно, происходило из-за улучшения взаиморасположения образцов и активного состояния разрушенных поверхностных слоев.

На ВРС с глицерином или ТЭА (см. пп. 3, 4) износ образцов, в большей мере, увеличивался при добавлении глицерина. Вероятно, его большие молекулы в растворе солей (см. рис. 4б, где тонкими линиями показано преимущественное направление размещения гидроксильных групп и водорода по отношению к атомам углерода) располагались на границе раздела вблизи анодных участков и, как при ЭХО, способствовали усилению избирательного растворения сплавов [19]. К меньшему износу колодки на электролите с ТЭА, вероятно, приводили ингибирующие аминогруппы ТЭА [20, 21]. Момент трения при этом периодически изменялся от 0,8 до 0,4 Н·м (см. кривую 5, рис. 2в).

При добавлении к электролитам третьих веществ – смачивателя, водного раствора сульфида натрия, этанола и смеси углеводородов (Б70), внешний вид пятна контакта на колодке оставался таким же, как на рис. 3в.

В процессе МП на электролите со смачивателем наблюдался существенный рост рабочего напряжения (см. пп. 5 и 13-15). Очевидно, в процессе МП тонкий слой смачивателя оттеснял с границы раздела все составляющие электролитов (см. рис. 2а). При этом, в сравнении с опытами на электролите с глицерином (см. п.4 и п.5), износ образцов и момент трения существенно снижались (см. кривую 6 на рис. 2в). Износ ролика на электролите с ТЭА и смачивателем уменьшался в 2 раза (см. п.3 и п.13).

Добавка к электролиту водного раствора сульфида натрия приводила к понижению напряжения и уменьшению износа образцов (см. пп. 4 и 7). Вероятно, атомы серы, натрия и водорода образовывали в приповерхностных слоях сульфиды, оксиды, гидрооксиды металлов и другие соединения [22], и этим защищали их от износа, а также активировали границы раздела сплав/электролит/сплав. Представить расположение молекул глицерина и сульфидов, имеющих цис- и транс- изомерное строение [23], среди молекул воды, атомов кислорода и водорода [24] (см. рис. 4г), даже в виде схемы, весьма сложно. Так, в работе [16] для объяснения точечного травления (разрыхления) алюминиевого сплава АО20-1 при МП было предпринято схематическое изображение расположения алюминия и водорода в порах окисной пленки Al_2O_3 (см. рис.4д). Однако, такое упрощенное структурное представление окисей и гидроокисей металлов, участвующих в МП на макро- и микроуровнях, существенно отличается от их строения на молекулярном уровне, как по форме, так и по сути. Например, расположение атомов натрия или других металлов (в том числе Fe и Cr) в молекуле оксида алюминия (см. рис. 4е [17]) существенно меняет его исходное строение (см. рис. 4ж) и свойства [18]. Так, β -глинозем имеет свойства твердого электролита, а α - Al_2O_3 – свойства керамического диэлектрика с уникальным сочетанием высокого электросопротивления и теплопроводности. Во многом эти различия зависят от большой подвижности ионов натрия в широкой щели между шпинельными блоками (см. рис.4е). В этой связи особую пластичность поверхностных слоев алюминиевых сплавов (Al-Sb-Mg и Al-Sn-Cu) при их МП со сталью 40Х в среде водно-органических электролитов и под действием внешнего электрического тока [25], вероятно можно объяснить особым поведением ионов металлов, водорода и углерода в оксидной пленке алюминия [17].

При добавлении к электролиту малого количества этанола и бензина (см. пп. 4, 8 и 11, табл. 1) наблюдалось уменьшение износа образцов. При увеличении их концентрации до 4-5 %, износ материала колодки существенно возрастал (см. пп. 9 и 12), однако рабочее напряжение на этаноле изменялось незначительно и даже уменьшалось на бен-

зине. Очевидно, это можно объяснить возросшей активностью гидроксильных групп по объему электролита (при добавлении этилового спирта), и синергическим действием составляющих бензина в приграничных слоях.

Вывод. Исследования показали, что достичь требуемого качества МП при электрофизикохимической доводке сопряженных деталей можно не только за счет изменчивости основных факторов в пространстве и во времени, которое приводит к электрофизическому активированию поверхностных слоев, «прерывистости эпюра локальных скоростей электрохимического съема» и уравниванию объемных свойств материалов и среды, но также, в значительной степени, и за счет подбора состава электролита, учитывая строение его составляющих и их поведение на межфазных границах.

Список литературы: 1. Нанотехнология в ближайшее десятилетие. Прогноз направлений исследований / Под ред. М.К. Роко. Пер с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с. 2. Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с. 3. Шепелев А.Г., Андреев А.А., Пономаренко Т.А. и др. Динамика информационных потоков по наноструктурным PVD покрытиям / Тр. Междунар. конф. ОТТОМ-6, ч.2. – Харьков: «ХФТИ», 2005. – С.154-158. 4. Гречихин Л.И. Малая гибридизация и аллотропические изменения / Міжнародн. зб. наук праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: Дон НТУ, 2006. Вип. 32. – С.92-99. 5. Болдарь Л.Н. О текстурировании поверхностных слоев материалов при макроприработке деталей под действием тока и электролитов / Міжнародн. зб. наук. пр. «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип.32. – С.33-40. 6. Болдарь Л.Н. Приработка деталей отремонтированных автотракторных двигателей. Создание условий для структурной приспособляемости материалов и среды / Сб. докл. 7-й Международн. конф. «ОТТОМ-7». – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2006. Т.1. –С.288-296. 7. Решетняк Е.Н., Стрельницкий В.Е. Синтез наноструктурных пленок: достижения и перспективы / Харьковская нанотехнологическая ассамблея-2007. Т.1. Наноструктурные материалы. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2007. – С.6-16. 8. А.с. 1045049 МКИ G 01M 15/00. Способ приработки деталей / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев (СССР) №3449488/25-06. Заявл. 9.06.82. Опубл. 30.09.83. Бюл. №36. – С.2. 9. Болдарь Л.Н. Початкове припрацювання деталей тракторних двигунів на електроліті під дією електричного струму. Повідомлення 1. Макроприпрацювання // Сучасне машинобудування. 2000, № 3-4, с. 17-24. 10. Основы повышения точности электрохимического формообразования / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман, Б.П. Саушкин; Под ред.И.И. Мороза. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 152 с. 11. Болдарь Л.Н. Механизм образования «пятна электрохимического контакта» при доводке коренных подшипников коленчатого вала /Зб. наук. пр. ЛНАУ. Серія: «Технічні науки». – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2006. - № 65 (88). – С. 55-65. 12. Алексеев В.П., Болдарь Л.Н., Михалев В.Д. Выбор состава электролита для ЭХМП трущихся пар / Сб. науч. тр. Харьк. с.х. ин-та им. В.В. Докучаева. – Харьков: 1978. – Т.257. – С.65-68. 13. Шевченко А.И., Сафонов П.И. Справочник слесаря по ремонту тракторов. – Л.: Машиностроение, 1989. – 512 с. 14. П.-Ж.де Жен, Ж.Бадос. Хрупкие объекты: Пер с фр. – М.: Мир, 2000. – 189 с. 15. Волкова-Гугешашвили М.И., Волков А.Г., Миркин В.С. Адсорбция на границе раздела двух несмешивающихся фаз жидкостей: обобщение изотермы Фрумкина и строение межфазных границ // Электрохимия. – 2006. – Т.42, №10. – С.1194-1200. 16. Болдарь Л.Н. Приработка деталей КШМ и ЦПГ отремонтированных дизелей. Микроприработка / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія «Технічні науки». – Луганськ: ЛНАУ, 2005. № 49/72. – С.59-69. 17. Третьяков Ю.Д., Метлин

Ю.Г. Керамика – материал будущего. – М.: Знание, 1987. – 48 с. **18.** Покровский Б.И. Материалы для оптических квантовых генераторов / Сб. статей «Оксидные материалы в электронной технике». Сер. «Химия». – 1983, №6. – С.38-52. **19.** Петров Ю.Н., Филимоненко В.Н., Шац Б.З. Возможности электрохимической обработки в электролитах с органическими растворителями // Электродные процессы и технология электрохимической размерной обработки металлов. – Кишинев: Штиинца, 1980. – С.63-66. **20.** Калинин А.А., Мельников В.Г. Смазочные свойства водосодержащих жидкостей на основе триэтанолamina // Химия и технология топлив и масел. – 1988. - №7. – С.20-21. **21.** Бердников А.И., Манчаров Ю.С., Казанкина А.Ф., Михайлов И.Г. Объемная вязкость жидкости ПГВ // Химия и технология топлив и масел. - 1986. - №4. – С.26-28. **22.** Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Пер. с англ.- М.: Metallургия, 1979. – 640 с. **23.** Jan Suhr. Synthese und Nachweis neuer schwefelhaltiger Molekule und Ionen im RF-Plasma. – Koln, 2006. – 158 p. **24.** Гуэррини Е., Трасатти С. Некоторые последние достижения в понимании факторов электрокатализа // Электрохимия. – 2006. – Т.42, №10. – С.1131-1140. И **25.** Петров Ю.Н., Алексеев В.П., Болдарь Л.Н., Михалев В.Д. Совместная электрохимико-механическая доводка пары трения сталь-антифрикционный материал // Электронная обработка материалов, 1980. - №1. – С.32-35.

Сдано в редакцию 18.05.07

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ, ПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ И ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Борисенко В. Ф., Сидоров В. А., Хоменко В. Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

The technical diagnostics of electromechanical systems is urgent question. It can be resolved only when taking into account the mutual influence between each element that enters into the system. These elements are mechanical part of system, electrical drive, power supply. To confirm this statement was realized technical state estimation of the electromechanical system containing the direct current separate excitation motor mechanically connected with the load through spring linkage.

Цель проведенной работы: изучение поведения электромеханической системы с учетом упругих свойств механической связи для осуществления диагностирования технического состояния на примере двухмассовой электромеханической системы с приводным двигателем постоянного тока, питаемым от шестипульсного тиристорного преобразователя.

Объект исследования – двухмассовая электромеханическая система.

Предмет исследования – диагностирование технического состояния двухмассовой электромеханической системы.

Для достижения поставленной цели применены следующие методы: регистрации величин (сигналы получены с датчиков в аналоговой форме, затем проведено их преобразование в цифровую с частотой дискретизации 1000Гц – для частот вращения и тока якоря двигателя, и 500 Гц – виброускорения); цифровой обработки сигналов (фильтрация, спектральный анализ); моделирование упругих свойств системы, приводного двигателя постоянного тока независимого возбуждения и тиристорного шестипульсного преобразователя.