

Clindr-3 :: Buckling
Mode Shape: 1 Load Factor = 4.1801

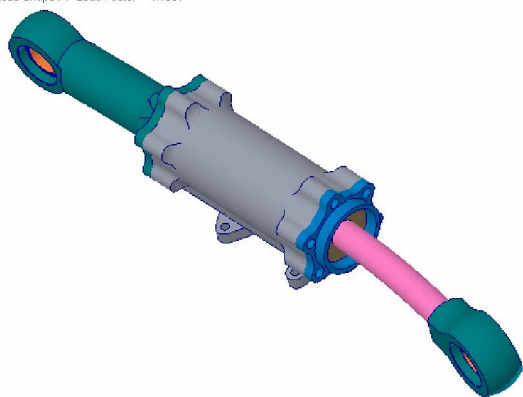


Рис.5. Расчет гидроцилиндра на устойчивость по твердотельной модели

Заключение

Представленная математическая модель гидроцилиндра позволяет изучить его поведение при нагрузках, близких к критическим. Это дает возможность при проектировании гидроцилиндра выбрать конструктивные параметры, обеспечивающие необходимый запас устойчивости при минимальном весе.

Список литературы:

1. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидро-цилиндры. – М.: Машиностроение, 1966. – 172 с.
2. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

УДК 006.86:620.178.16(045)

Н.А. Ходак, канд. техн. наук, О.А. Вишневский, асп., В.А. Шолопов, инж.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими проблемами

Абразивное изнашивание является одним из распространенных видов повреждаемости элементов авиационных конструкций, деталей узлов трения автомобилей, деталей сельскохозяйственных, строительных, горных и других машин путем попадания на их поверхности в процессе эксплуатации частиц минерального происхождения SiO_2 , глинозема, горных пород, продуктов износа поверхностей самих деталей с выступами шероховатостей более твердых поверхностей с их твердыми структурными составляющими (оксидные пленки и др.).

Для обеспечения более длительной работоспо-

собности элементов конструкций и их конструкционных материалов, которые работают в условиях абразивного изнашивания, на их рабочие поверхности наносят покрытия различными способами, что приводит к существенным изменениям механизмов и кинетики процессов разрушения поверхностных слоев деталей.

В связи с этим появляется научно-практическая необходимость разработки современного экспериментального оборудования для исследования процессов абразивного изнашивания и механических свойств материалов и их покрытий, разработки методик определения экстремальных скоростей изнашивания, критериев оценки процессов изнашивания и их математического моделирования с целью опре-

деления сравнительных характеристик материалов и покрытий их абразивной износостойкости, и которое могло бы составить основу при разработке соответствующего стандарта на проведение испытаний материалов на абразивное изнашивание.

Известно, что в комплект существующих машин трения типа “Бринеля”, которые предназначены для исследования процессов абразивного изнашивания материалов не входят устройства регистрации характерных параметров, отвечающих современным требованиям экспериментальных исследований [1-4]. В этой связи возникает необходимость в каждом конкретном случае в лабораторных условиях разрабатывать средства контроля необходимых определенных характерных параметров. Отсутствие координации работ в указанной области приводит к созданию разнородной аппаратуры одного предназначения, что в свою очередь, приводит к дополнительным затратам интеллектуальных и материальных средств.

В большинстве случаев конкретные структурные и схемные решения определяются преимущественно на основе личного опыта и интуиции разработчиков.

Поэтому вопросы модернизации и создания новых средств и оборудования с современными системами автоматизации экспериментальных исследований данного класса, а также их внедрения в выработку соответствующих стандартов, являются весьма актуальными. Не менее актуальными также являются и решения задач математического моделирования процессов абразивного изнашивания, необходимых для получения сравнительных характеристик материалов по абразивной износостойкости.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем

Виды и механизмы абразивного изнашивания конструкционных материалов освещены в работах [5–11] и др. Исследователи отмечают разнообразие

факторов, определяющих тот или иной вид изнашивания и механизм его развития. В основе механизма этого процесса лежит взаимодействие абразивной частицы с металлом, которое состоит из двух этапов: 1) внедрения абразивной частицы в металл; 2) поступательное перемещение ее вдоль поверхности. В большинстве случаев исследования проводили на железоуглеродистых сплавах. Вопросы исследования свойств покрытий нанесенных на различные стали на сегодня еще недостаточно широко изучены.

Непосредственно, вопросами моделирования процессов абразивного износа различных материалов занимались наиболее известные ведущие специалисты в области трения и износа [12, 13] и др. Однако задачи на установление связи между весовым износом и максимальной глубиной лунки или износом и площадью поверхности лунки до настоящего времени не находили решения исследователями. В работе [14] сделана попытка найти решение этой задачи. Однако полученный результат оказался громоздким и неудобным в использовании.

В работе [15] получена модель абразивного износа, которая не учитывает зависимости весового износа от линейного износа, в ней не указаны методы построения универсальной модели для всех материалов, т.е. отсутствует универсальный обобщенный принцип построения модели абразивного изнашивания.

В некоторых существующих моделях [16,17] основу составляет вероятностно-статистический подход, но недостатком указанных моделей есть громоздкость и неудобство в использовании так, как включают ограниченное число характерных параметров, но которые влияют на износостойкость. В этой связи возникает необходимость создания универсальной и обобщенной модели, которая учитывала бы влияние многих факторов на процесс изнашивания и была бы применима для разных материалов и условий использования. Понятно, что для разработки и экспериментальных проверок моделей, опи-

сывающих процесс абразивного изнашивания, необходима соответствующая экспериментальная база, которая в настоящее время в исследовательских лабораториях отсутствует [1-4].

Цель работы

В настоящей статье рассматриваются отдельные вопросы разработки средств контроля и регистрации характерных параметров при проведении испытаний материалов на абразивное изнашивание на машинах типа “Бринеля”, выполненных на современной элементной базе.

Этот метод испытаний на машинах данного типа приближается к американскому методу входящему в стандарт АСТМС6585. На рис.1 представлена схема экспериментальной установки “Бринеля”. Кроме этого в работе рассматривается вопрос определения максимальной и минимальной скорости изнашивания среднеуглеродистой стали с покрытиями.

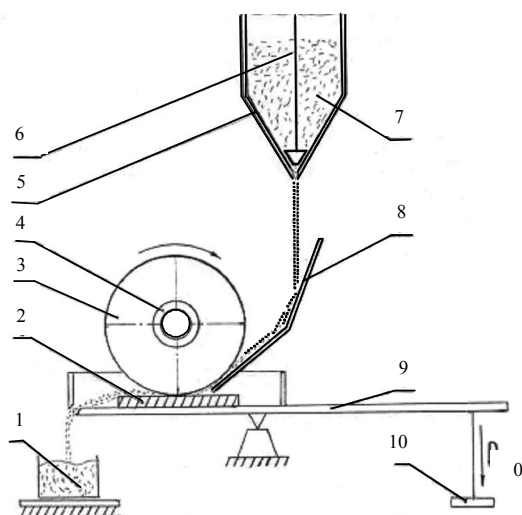


Рис.1. Схема экспериментальной установки:
1 – бункер для собирания отработанного абразива; 2 – образец исследуемого материала; 3 – вращающийся резиновый ролик; 4 – втулка для ролика; 5 – бункер для свободного абразива; 6 – рычаг для регулирования скорости подачи абразива; 7 – свободный абразив; 8 – лоток для подачи абразива; 9 – рычаг для регулирования усилий прижатия ролика к поверхности абразива; 10 – нагружение рычага силой P_0

Кроме этого существующая установка “Бринеля” оборудована шестьюразрядным механическим счетчиком для регистрации количества оборотов резинового ролика (на рис.1 не показан). Смонтирован счетчик с обратной стороны установки возле выходного вала электропривода для вращения ролика. Регистрировать обороты ролика при расположении счетчика, за установкой оператору затруднительно, что является существенным недостатком при многократном регистрировании данных параметров в процессе испытаний.

Установленные шестьюразрядные механические счетчики с кулачковым механизмом имеют малые размеры цифр, что в свою очередь затрудняет работу оператора и в силу конструктивных исполнений не дают возможности перенести такой счетчик в точку удобную для оператора. В этой связи предложено механический счетчик заменить автоматическим электронным с цифровой индикацией типа ЕСА-3, который выпускается серийно [18]. При этом достигается дистанционность регистрации количества оборотов ролика. Суть предложения заключается в том, что на вал механического счетчика устанавливается специально изготовленный диск с периферийным одним отверстием, через которое проходит импульс света от осветителя, расположенного с левой стороны диска на фотоэлектрический преобразователь, помещенный на одном уровне с осветителем с правой стороны диска. При вращении диска импульс света, попадающий от отверстия на фотодатчик, соответствующий одному обороту выходного вала механического счетчика, регистрируется теперь электронным счетчиком. Таким образом получаем одно из возможных модернизированных технических решений рассматриваемой задачи.

На рис.2 и 3 показана структурная схема датчика скорости вращения резинового ролика n_n и принципиальная схема усилителя сигнала фотоприемника 3, которые могут служить вторым вариантом реше-

ния поставленной задачи. Особенностью второго варианта является возможность передачи регистрации скорости вращения резинового ролика $n_{\text{и}}$ и количество оборотов, выполненных в период эксперимента N , на монитор компьютера.

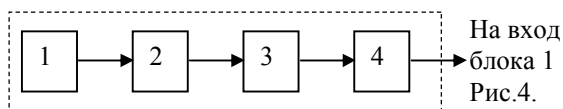


Рис.2. Структурная схема датчика измеряемой скорости вращения $n_{\text{и}}$ ролика:

1 – фотодиод с инфракрасным излучением (тип КФДМ) 2 – модулятор излучения фотодиода 1; 3 – фотоприемник (тип АЛ1108А) инфракрасного промодулированного излучения фотодиода 1; 4 – усилитель сигнала фотоприемника 3 (см. рис.3)

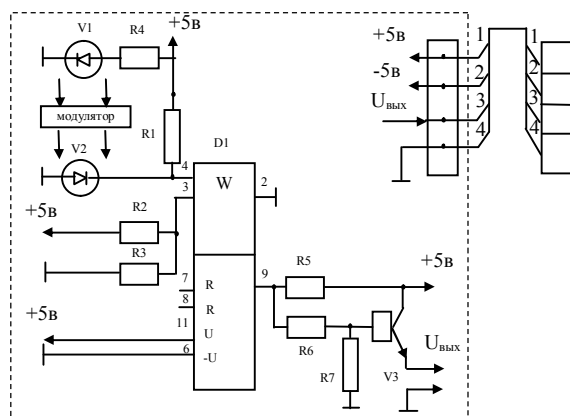


Рис.3. Принципиальная схема усилителя сигнала фотоприемника 3 (см. рис.2)

Датчик скорости вращения резинового ролика 3 (рис. 1) состоит из двух основных частей: электронной части и модулятора. Электронная часть (см. рис.3) выполнена на светодатчике инфракрасного излучения V1, светоприемнике V2 инфракрасного излучения, микросхеме D1, транзисторе V3. Инфракрасное непрерывное излучение V1 модулируется модулятором. Промодулированное излучение воспринимается V2.

На рис.2 V1, модулятор и V2 обозначены соответственно 1, 2, 3. Импульсный сигнал полученный на V2 поступает на вход микросхемы D1. Усиленный сигнал с выхода D1 поступает на транзистор V3, с эмиттера V3 импульсный сигнал поступает (см. рис.4)

на вход электронного блока 1. Транзистор V3 служит для согласования выхода D1 со входом электронного блока 1. На рис.2 электронная часть датчика измеряемой скорости $n_{\text{и}}$ обозначена в виде блока 4.

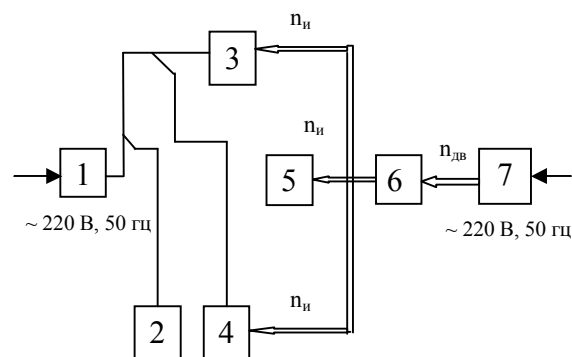


Рис.4. Блок-схема кабельных и механических связей комплектующих изделий модернизированной экспериментальной установки:

1 - электронный блок ТЦ-3М (579.6050.00.000) измерения скорости вращения (в об/мин.) с цифровой индикацией; 2 - цифровой электромеханический суммирующий счетчик числа оборотов (интегратор $n_{\text{и}}$) $N_c = f(n_{\text{и}}, t)$, где t - время; 3 - датчик скорости вращения ($n_{\text{и}}$) с инфракрасным излучателем и фотоприемником с усилителем выполненного на микросхеме K554MA3 - 1 шт; 4 - датчик (прерыватель) сигнала, один импульс которого, соответствует одному обороту резинового ролика; 5 - резиновый ролик (см. рис.1.), вращается со скоростью $n_{\text{и}}$; 6 - редуктор с передаточным числом $i \approx 0,04166$; 7 - двигатель 3Ф, кор.замк., тип АОЛ 011/4, 220/380В, 50Вт, 50Гц, КПД 0,43, $\cos \varphi = 0,62$, ГОСТ 3212-56

Модулятор излучения светодиода V1 представляет собой металлический тонкий диск диаметром 110 мм, с 60 отверстиями с центрами расположенных на расстоянии 50 мм от центра диска. Центры отверстий расположены равномерно на угловом расстоянии (6°) шесть градусов друг относительно друга. Диск закреплен на валу электропривода резинового ролика, который вращается с заданной скоростью. Диск вращается в зазоре между светодатчиком V1 и светоприемником V2 и таким образом производится модулятором модуляция излучения. Частота модуляции зависит от скорости вращения $n_{\text{и}}$ и при этом частота импульсов пропорционально значению $n_{\text{и}}$. Блок

1 (см. рис. 4) показывает n_u в оборотах за минуту.

Перечень необходимых элементов к электрической схеме усилителя сигнала фотоприемника 3, показанного на рис.3 следующий:

D1-микросхема К554СА3 – 1 шт;

V1- светодиод инфракрасного излучения КФДМ – 1 шт;

V2- светоприемник инфракрасного излучения АЛ108А – 1 шт;

V3- транзистор КТ315;

Резисторы:

R1, R2 - МЛТ-0,25 200КОм $\pm$ 10% – 2 шт;

R3 - МЛТ-0,25 100КОм $\pm$ 10% – 1 шт;

R4 - МЛТ-0,25 27Ом $\pm$ 10% – 1 шт;

R5 - МЛТ-0,25 1КОм $\pm$ 10% – 1 шт;

R6 - МЛТ-0,25 1,8КОм $\pm$ 10% – 1 шт;

R7 - МЛТ-0,25 6,2КОм $\pm$ 10% – 1 шт.

Электромеханический суммирующий счетчик (ЭСО) числа оборотов N_c состоит из трех частей: электрической схемы (см. рис.5) питания, указателя числа оборотов (УЧО) 0312.10.83 и коммутатора.

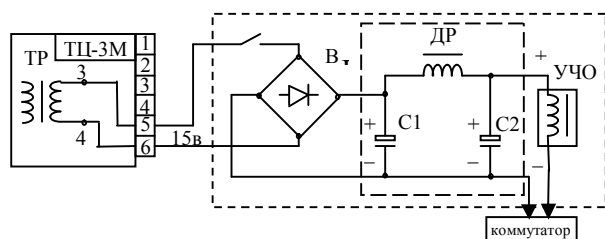


Рис.5. Принципиальная схема питания электромеханического счетчика (тип 0312.10.83) оборотов резинового ролика 3 (см. рис.1.):

В – выпрямитель КЦ405А; ДР – дроссель; У.Ч.О. – указатель числа оборотов 0 312.10.83; Конденсаторы С1, С2 – К50-16, 50В, 100мкф

Схема питания ЭСО представляет собой выпрямительное устройство на основе применения выпрямительного полупроводникового изделия КЦ405А. Питание осуществляется переменным напряжением 15 В. от трансформатора ТР1 (контакты 3, 4) через штырьки 5, 6 разъема электронного блока

ТЦ-3М. Выпрямленное напряжение подается на фильтр, который включает дроссель (ДР) и конденсаторы С1, С2-К50-16, 50В, 100мкф. На выходе фильтра получаем постоянное напряжение 25 В. Плюс напряжения 25в непосредственно подается на один конец обмотки УЧО. Минус напряжения 25 В подается через коммутатор 4 (см. рис.5).

УЧО (рис.5) представляет собой пятиразрядный электромеханический счетчик электрических импульсов, подаваемых на обмотку. Таким образом количество поданных импульсов после включения установки суммируется с показанием счетчика до включения. Счетчик является сумматором импульсов за известные (измеренные) промежутки времени включения установки от начала проведения эксперимента N_n и до его окончания N_o , т.е $N_c = N_n + N_o$.

Коммутатор (прерыватель) представляет собой диск диаметром 70 мм, толщиной 6 мм из изоляционного материала. Вдоль обода диска закреплена металлическая контактная ламель. На одной из боковых поверхностей диска закреплено контактное кольцо. При этом ламель и боковое кольцо электрически соединены между собой.

Коммутатор установлен на валу резинового ролика и вращается со скоростью n_u . Контактная ламель и кольцо соприкасаются с контактными щетками. Такая конструкция щеточно-контактной системы позволяет получить замкнутую электрическую цепь и разомкнутую электрическую цепь между щетками в течении времени равной половине времени необходимого для выполнения одного оборота. Таким образом, за каждый оборот подается на обмотку УЧО один импульс. За заданный (измеренный) промежуток времени на УЧО непосредственно получим суммарное значение числа оборотов резинового ролика N_c , которое включает показания количества оборотов ролика выполненных до включения установки N_n и соответствует началу проведения эксперимента, а N_o соответствует количеству оборотов

ролика выполненных в период непосредственного выполнения эксперимента. В результате получим $N_3 = N_c - N_n$.

Методика исследования

Для проведения экспериментов использовали квадратные образцы из Ст.30 размером 30х30 и толщиной 5 мм. На поверхность образцов наносили диффузионные боридные покрытия и детонационные покрытия состава $Al_2O_3 + TiO_2$.

Выбор диффузионных боридных покрытий обусловлен их высокой твердостью и износостойкостью. Процесс диффузионного насыщения стали бромом осуществляли в боросодержащей порошкообразной смеси в контейнере с плавким затвором на установке и по методике [19], при температуре 950°C в течении 3ч. При этом толщина боридного слоя составляла 130 мкм.

Проведенные нами ранее исследования показали, что детонационные покрытия системы $Al_2O_3 + TiO_2$ значительно превышают по износостойкости покрытия из Al_2O_3 . В связи с этим исследования кинетики и механизма абразивного изнашивания проводили на более перспективном детонационном покрытии.

Для построения моделей макропроцессов весового износа покрытий от пути были проведены сравнительные опыты на износостойкость покрытий В и $Al_2O_3 + TiO_2$ в трех абразивных средах SiO_2 , SiC , B_4C . Для получения аналитической зависимости весового износа от пути используем пакет математических программ «MathCad-2001». Приведем фрагмент компьютерной программы для получения формулы зависимости весового износа покрытия В от пути в песке SiO_2 с зернистостью 160-200 мкм. Для этого вводили координаты экспериментальных точек (5) и компоненты аппроксимирующей функции (6):

$$data := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 10 & 0,0002 \\ 20 & 0,0004 \\ 30 & 0,0006 \\ 40 & 0,00075 \\ 50 & 0,0009 \\ 60 & 0,0010 \\ 70 & 0,00105 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$F(x) = \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \\ x^3 \\ x^4 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Первый столбик матрицы *data* состоит из абсцисс экспериментальных точек, второй из количественных значений весового износа покрытия В, что в данной программе записывается в виде:

$$X := data^{<0>} \quad Y := data^{<1>} \quad (7)$$

С помощью программы «List-Squares Curve Fitting» пакета программ “MathCad” получаем коэффициенты аппроксимирующей функции:

$$S = \begin{pmatrix} -7,5757577 \cdot 10^{-7} \\ 0,0000201 \\ 3,4090909 \cdot 10^{-8} \\ -1,5151515 \cdot 10^{-9} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Таким образом аналитическая зависимость износа борированного покрытия в песке имеет вид:

$$f_1(x) = -7,5757577 \cdot 10^{-7} + 0,0000201 \cdot x + 3,4090909 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 1,5151515 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 \quad (9)$$

где x – путь в метрах, $f(x)$ – весовой износ в граммах.

Аналогично получаем зависимость весового износа борированного покрытия от пути в карбиде кремния (10) и в карбиде бора (11):

$$f_2(x) = 0,0000012 + 0,0000042 \cdot x + 5,0145688 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 8,7606838 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 + 3,2051282 \cdot 10^{-12} \cdot x^4 \quad (10)$$

$$f_3(x) = -2,7839771 \cdot 10^{-8} - 0,0001875 \cdot \sqrt{x} + 0,0006056 \cdot x - 0,0001344 \cdot x^2 + 0,000028 \cdot x^3 - 0,0000026 \cdot x^4 \quad (11)$$

Для износа покрытия $Al_2O_3+TiO_2$ были получены следующие аналитические зависимости от пути:

- в песке (SiO_2):

$$f_4(x) := -6,1467313 \cdot 10^{-8} - 0,0002204 \cdot x + 8,7170609 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 3,8738843 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 + 0,0037013 \cdot \sqrt{x} - 0,0038297 \cdot \ln(x+1) \quad (12)$$

- в карбиде кремния (SiC) с зернистостью 30-50 мкм:

$$f_5(x) := 1,8543699 \cdot 10^{-9} + 0,0011807 \cdot x - 0,000104 \cdot x^2 + 0,000054 \cdot x^3 + 0,0004184 \cdot \sqrt{x} - 0,001303 \cdot \ln(x+1) \quad (13)$$

- в карбиде бора (B_4C) с зернистостью 30-50 мкм:

$$f_6(x) := -1,0536002 \cdot 10^{-7} + 0,0001006 \cdot x - 0,6294644 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 - 0,0000809 \cdot \ln(x+1) \quad (14)$$

График зависимости $f_1(x)$ приведен на рис.6 (см. формулу (9)).

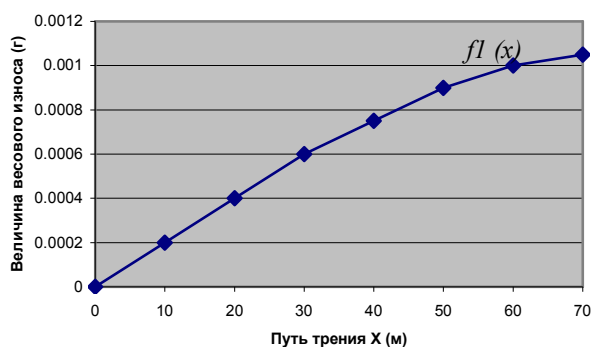


Рис. 6. Зависимость величины износа от длины пути

Аналитическая запись зависимости весового износа покрытий от пути позволяет найти точки, где скорость ($V_L(x)$) весового износа по пути принимает экстремальные значения (max, min). Для нахождения этих точек достаточно найти скорость износа от пути (производная от $f(x)$ по L),

$$V_1(x) := f_1'(x) = 0,0000201 + 6,8181818 \cdot 10^{-8} \cdot x - 4,5454545 \cdot 10^{-9} \cdot x^2,$$

где x – путь в метрах.

Исследуем функцию $V_L(x)$ на экстремум на интервале $[0;100]$.

Найдем производную от скорости и приравняем ее нулю. Тогда получим следующие значения пути и весового износа.

$$V_1 = 6,8181818 \cdot 10^{-8} - 9,090909 \cdot 10^{-9} \cdot x = 0$$

$$x=7,5$$

$$V_L(0)=0,0000202 \text{ (мгм/м)}$$

$$V_L(100) = 0,00002012 + 6,8181818 \cdot 10^{-6} - 4,5454545 \cdot 10^{-5} = 0,0000201 + 0,0000068181818 - 0,000045454545 = -0,000018536$$

То есть в точке $x = 7,5$ м от начала пути наблюдается максимальная скорость износа. Минимальная скорость наблюдается в точке $x = 100$ м, что объясняется большей, площадью соприкосновений ролика и образца по сравнению с начальной площадью соприкосновения ролика и данного образца, и соответственно меньшим удельным давлением при данной нагрузке $P = 44,1$ Н, а значит реальным уменьшением износа.

Аналогично находим экспериментальные значения скорости износа в других образцах, используя выражения (9) – (14).

Временной момент наибольшей скорости износа дает возможность предвидеть интенсивное увеличение скорости износа покрытия в реальных условиях эксплуатации в момент времени, получаемый из соотношения: $T_p/(100/0,163)$, что эквивалентно $0,00163 \cdot T_p$ (T_p – реальное время износа используемого покрытия).

Для обработки экспериментальных данных и их использования на персональном компьютере в соответствии с моделями, полученными в работе [20], была написана программа на языке высокого уровня C++. Для компиляции программы использовали среду программирования Borland Builder C++ 5.0 фрагмент которой приведен ниже.

Фрагмент компьютерной программы для получения зависимостей весового износа покрытий от линейного износа:

```
double Q(double b, double R, double h)
{
double z;
```

```

z=2*b*R*ArcSin(sqrt((2*(h/R)-pow(h/R,2))));
return z;
}
double Iv(double b,double R, double h)
{
double z;
z=b*pow(R, 2)*(ArcSin(sqrt(2*(h/R)-pow((h/R), 2)))-
(1-(h/R))*sqrt(2*(h/R)-pow((h/R), 2)));
return z;
}
double Im(double b, double R, double h, double ro)
{
double z;
z=ro*b*pow(R, 2)*(ArcSin(sqrt(2*(h/R)-pow(h/R, 2)))-
(1-h/R)*sqrt(2*(h/R)-pow(h/R, 2)));
return z;
}
double ImQ(double b, double R, double q, double ro)
{
double z;
z=0.5*ro*R*9q-(b*R*sin(q/b*R)));
return z;
}
void fastcall TForm1::cmdExjtClick(TObject*Sender)
{
Close();
}.

```

Выводы

1. В настоящее время не созданы автоматизированные средства контроля параметров при проведении опытов на абразивную износостойкость материалов и покрытий (см. ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы»).

2. В работе приведены результаты разработки автоматизированных средств контроля и измерения значений скорости вращения и числа оборотов резинового ролика, обеспечивающего внедрение и по-

ступательное перемещение абразивных частиц вдоль исследуемой поверхности металлических покрытий с передачей их на монитор компьютера. Анализируются структурные и принципиальные схемы отмеченных средств и перечень необходимых комплектующих изделий для их реализации.

3. Представлены результаты сравнительных экспериментов на износостойкость ряда покрытий в трех абразивных средах и получены аналитические зависимости весового износа от пути с использованием программ “MathCad”.

4. Разработаны программы на языке высокого уровня C++ для вывода значений параметров абразивного износа на персональный компьютер.

Список литературы:

1. Буяновский И.А. Методы и средства трибологических испытаний // ХТТМ. – 1994. – № 3. – С. 29 – 40.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1995. – 424 с.
3. Зенкин Н.А., Гринкевич К.Э., Комплекс диагностической аппаратуры и методология контроля параметров трибосистемы в динамических условиях испытаний // Контроль. Диагностика. – 2002. – № 6. – С. 49 – 51.
4. Гринкевич К.Э. Некоторые положения структурно-динамической концепции трибосистемы и их практическая реализация // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 3. – С. 344 – 350.
5. Хрущев М.М., Бабичев М.А., Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 251 с.
6. Кащеев В.Н. Сопротивление металлической поверхности абразивному разрушению. Долговечность трущихся деталей машин. – М.: Машиностроение, 1990. – Вып. 4 – С. 279 – 295.
7. Добровольский А.Г., Кошленко Г.И. Абразивная износостойкость материалов. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
8. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техника, 1970. – 390 с.
9. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машгиз, 1962. – 383 с.; 1968. – 480 с.
10. Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин. –

М.: Машиностроение, 1986. – 248 с. 11. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с. 12. Тененбаум М.М., Бернштейн Д.Б. Моделирование процесса абразивного изнашивания. Моделирование трения и износа: Материалы I межотраслевого научного семинара по моделированию трения и износа. М.: НИИМаш, 1967. – С. 81 – 92. 13. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбатов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 319 – 326. 14. Гавриков М.В., Мазинг Р.И. Применение на наследственно-стареющей модели изнашивания осесимметричной контактной задаче // Трение и износ. – 1989. – Т. 10, №6. – С. 981 – 986. 15. Рыжиков А.Л., Гронянов В.М., Тараканчиков Л.Г. Модель абразивного износа алюмооксидной керамики. //

Трение и износ. – 1991. – Т. 12, № 2. – С. 361 – 364. 16. Сорокатый Р.В. Моделирование поведения трибосистем методом трибоэлементов // Трение и износ. – 2002. – Т. 23, № 1. – С.16 – 22. 17. Федоров С.В. Обобщенная модель трения // Трение и износ. – 1993. – Т. 1, № 3. – С. 460 – 470. 18. Хомак Н.А. О регистрации характерных параметров при проведении программных усталостных испытаний: Сб. науч. тр. // Вопросы технологии контроля и повышения надежности деталей и узлов авиатехники. – К.: РИО КИИГА, 1984. – С. 111 – 117. 19. Лабунец В.Ф., Ворошин Л.Г., Киндратчук М.В. Износостойкие боридные покрытия. – К.: Техника, 1989. – 158 с. 20. Вишневецкий О.А. Модель зависимости величины абразивного износа от линейного. – Вісник НАУ. – 2004. – № 1. – С. 122 – 125.

УДК 621.436

В.О. Пильов, д-р техн. наук, А.Ф. Шеховцов, д-р техн. наук, В.Т. Турчін, інж., В.С. Вікторов, інж., О.В. Просяник, асп.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДА КОНСТРУКТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОРШНЯ ДВЗ ЗА СУКУПНІСТЮ КРИТЕРІЇВ ЙОГО ТЕРМОНАПРУЖЕНОСТІ

Подальший розвиток конструкцій дизельних двигунів поряд з підвищенням вимог щодо їх економічності по паливу і маслу та зменшення токсичності відпрацьованих газів невпинно висуває задачі збільшення літрової потужності, і тим самим, зменшення питомих масогабаритних показників. Це, безумовно, приводить до суттєвого зростання термонапруженості деталей камери згоряння (КЗ). Так, наприклад, коефіцієнт теплового навантаження Вгорова, як відношення циліндрової потужності до діаметру циліндра, 30 років тому для кращих тракторних дизелів відповідав

значенню 0,15 кВт/мм [1], а на сьогодні він має значення понад 0,2 кВт/мм, тобто зріс практично на 30%. Таким чином, маємо швидкість зростання згаданого коефіцієнта в середньому 1% на рік. В цілому вказана тенденція суттєво загострює проблему забезпечення надійності й ресурсу усіх деталей КЗ, у тому числі і поршнів, підвищує роль методів математичного моделювання процесів і оптимізації конструкцій.

В [2] за один з ефективних методів підтримки багатокритерійної конструктивної оптимізації поршня за сукупністю критеріїв його термонапруженості