

УДК 621 (045)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ

А. Г. Кузьменко

Доктор технических наук, профессор
Кафедра износостойкости и надёжности машин
Хмельницкий национальный университет
ул. Институтская, 11,
г. Хмельницкий, Украина, 29016
E-mail: tribosenator@gmail.com

И. П. Билокур

Доктор технических наук, профессор
Кафедра машиноведения
Национальный авиационный университет
пр. Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: belokyr_ip@ukr.net

О. А. Вишневецкий

Преподаватель
Промышленно-экономический колледж
Национального авиационного университета
ул. Метростроевская, 5-А, г. Киев, Украина, 03057
E-mail: vishn57@mail.ru

Розроблена аналітична модель взаємодії поверхні тертя з незакріпленими частинками абразиву, яка відображає процеси випробування матеріалів на знос. Використання розроблених аналітичних залежностей визначення величини лінійного зносу матеріалів дало можливість зменшити кількість базових експериментальних дослідів. Обґрунтована методика використання розробленої моделі для прогнозування і оцінки технічного стану, діючих опорних вузлів тертя циліндричних деталей машин в момент часу, що нас цікавить

Ключові слова: діагностування, абразивне зношування, схема випробувань, модель зношування, параметри моделі

Разработана аналитическая модель взаимодействия поверхности трения с незакреплёнными частичками абразива, которая отображает процессы испытаний материалов на износ. Использование разработанных аналитических зависимостей определения величины линейного износа материалов дало возможность уменьшить количество базовых экспериментальных исследований. Обоснована методика использования разработанной модели для прогнозирования и оценки технического состояния действующих опорных узлов трения цилиндрических деталей машин в интересующий момент времени

Ключевые слова: диагностирование, абразивное изнашивание, схема испытаний, модель изнашивания, параметры модели

1. Введение

Основой создания совершенной техники и, прежде всего, опорных узлов трения деталей машин на стадии проектирования и производства, является повышение их абразивной износостойкости. В 80 % – 90 % случаев машины выходят из строя из-за износа узлов трения.

Сложность трибологических процессов приводит к большому количеству методов исследований и испытаний, что не обеспечивает сопоставимость результатов. Создание единой теоретической основы экспериментальной трибологии затрудняется также наличием большого числа факторов, влияющих на износ. Интенсивность износа разных пар трения может различаться в 10^9 раз. Также износ одной и той же пары трения зависит от условий нагружения, температуры, скорости, состояния поверхности трения. Испытания на износ выполняются с разными целями: качественное сравнение материалов по изнашиванию; изучение механизма и вида изнашивания; определение параметров моделей, описывающих количественные закономерности процесса. Возникает необходимость разработки методов лабораторных испытаний, позволяющих определять такие параметры изнашивания, с

помощью которых можно оценить износ работающих узлов трения машин [1].

2. Анализ последних достижений в прогнозировании изнашивания незакреплённым абразивом

Решению проблемы определения и прогнозирования величины износа при движении деталей землеройной, бурильной техники, перемещении абразива в трубопроводной арматуре и других видов оборудования уделяется много внимания в научных работах видных учёных [2 – 6].

Использование метода по схеме «образец, который движется в абразивной смеси» (ОДАС), приведено в работе А. П. Малышева [7]. Веллингер и Уэтц опубликовали результаты испытаний по схеме ОДАС при вращении образцов в абразивной смеси [8]. Показателем изнашивания считалось отношение объёмных износов образца к эталону, который испытывался вместе с первым.

К недостаткам можно отнести вращение жидкости, которая присутствует в смеси и неравномерное распределение абразивных частиц. Не была построена модель изнашивания с параллельным определением её пара-

метров и, как следствие, было невозможно переносить результаты на другие силовые, кинематические и геометрические условия проведения испытаний. Определение величины износа путём взвешивания образцов превращало эти показатели в чисто качественные.

На основе теории подобия и размерности [9] нами установлена зависимость между безразмерными комплексами, играющими роль критериев подобия [10].

В качестве основной формы зависимости между безразмерными критериями выбрана функция вида:

$$\frac{du_w}{ds} = K_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{v\delta}{v_0} \right)^n \left(\frac{V_{II} + V_B}{V_{II}} \right)^k \left(\frac{T_c}{T_{пл}} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где u_w – линейный износ абразива; s – путь трения в точке изнашиваемой по-верхности; T_c – температура абразивной смеси; $T_{пл}$ – температура плавления материала образца; σ – давление песка на образец; v – скорость скольжения абразивных частиц по образцу; δ – зернистость абразива; v_0 – кинематическая вязкость сыпучего абразива, HB – твёрдость материала образца, K_w – коэффициент пропорциональности, v_{II} – объём абразива (песка), v_B – объём воды.

Рассматривая эту функцию, возникла возможность определения основных параметров и величин, задействованных в модели (1), которые применимы для аналитического диагностирования и прогнозирования абразивного изнашивания незакреплённым абразивом.

3. Постановка задач исследования

Испытания материалов на абразивную износостойкость является неотъемлемой составляющей прогнозирования сроков работы соответствующих узлов трения, поэтому в данной работе разрабатывается методика определения основных величин, задействованных в процессе абразивного изнашивания.

Поэтому были поставлены следующие задачи:

- дополнить многофакторную критериальную модель абразивного изнашивания по схеме MWU (схему ОДАС назвали именем её авторов) безразмерным комплексом, связанным с давлением атмосферы и абразива на образец;
- определить силы, действующие на цилиндрический образец;
- определить давление абразива на образец;
- определить путь трения для каждой точки изнашиваемой поверхности;
- показать корректность построенной многофакторной модели, представленной в интегральной форме.

4. Результаты исследований линейного изнашивания незакреплённым абразивом

В зависимости (1) добавим ещё один безразмерный комплекс, составленный из определяющих величин атмосферного давления P_{AT} и давления P_{II} , возникающего под действием слоя абразива:

$$P_p = \frac{P_{AT} + P_{II}}{P_{AT}}, \quad (2)$$

В связи с добавлением безразмерного комплекса (2), модель (1) примет следующий вид

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{v\delta}{v_0} \right)^n \left(\frac{V_{II} + V_B}{V_{II}} \right)^k \left(\frac{T_c}{T_{пл}} \right)^\alpha \left(\frac{P_{AT} + P_{II}}{P_{AT}} \right)^\beta. \quad (3)$$

Для разработки методики определения основных величин в процессе абразивного изнашивания по схеме ОДАС в первую очередь была найдена сила, действующая на образец.

Рассмотрим схематический рисунок расчётной схемы установки (рис. 1) для испытаний цилиндрического образца в гидроабразивной смеси.

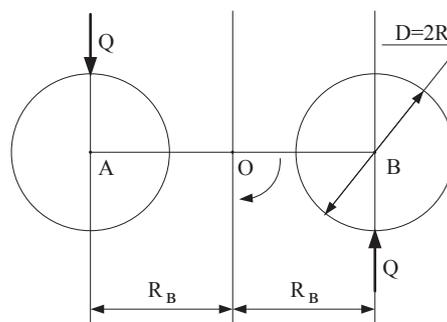


Рис. 1. Расчётная схема установки для испытаний на изнашивание латунных цилиндрических образцов радиуса R , где точки A, B соответствуют проекциям осей образцов

При вращении держателя с двумя образцами на каждый из них действует сила Q , уравновешенная моментом M по соотношению

$$M = 2R_B Q. \quad (4)$$

Из полученной формулы (4) имеем:

$$Q = \frac{M}{2R_B}. \quad (5)$$

Момент в системе привода может быть выражен через потребляемую мощность из зависимости вида:

$$M = 72400 \frac{N}{n}, \quad (6)$$

где момент M [кг·см], потребляемая мощность N [кВт], частота вращения n [об/мин].

В результате эксперимента были получены следующие данные: $N = 0.7$ кВт, $n = 450$ об/мин.

По соотношению (3) имеем $M = 112.6$ кг·см. Расчёт силы, действующей на образец при $R_B = 3.85$ см, по формуле (5) дал следующий, уточнённый по сравнению с работой [6], результат $Q = 14.6$ кг.

Определим давление абразива на образец. Среднее давление на цилиндр при взаимодействии с абразивом через силу Q , можно определить из зависимости:

$$\sigma_{cp} = \frac{Q}{DH}, \tag{7}$$

где D – диаметр цилиндра, H – высота цилиндра.

Расчёт среднего давления абразива на образец при диаметре цилиндра D=2,2 см, высоте H=2 см, Q=14,6 кг по формуле (7) дал следующий результат $\sigma_{cp}=3,3 \text{ кг/см}^2$.

Для определения максимального давления σ_0 приняли распределение давления в виде закона косинуса (рис. 2).

$$\sigma(\phi) = \sigma_0 \cos \phi_1,$$

где $\phi_1 = \phi_0 - \phi$.

При этом получаем следующую зависимость:

$$\sigma(\phi) = \sigma_0 \cos(\phi_0 - \phi). \tag{8}$$

Проектируя давления на направление силы Q (рис. 3) и учитывая, что H – высота цилиндра, имеем

$$Q_{\Delta} = H\sigma(\phi)Rd\phi\cos\phi,$$

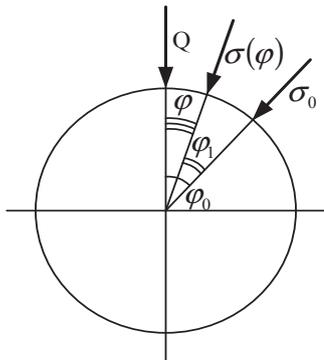


Рис. 2. Схематическое распределение давления абразива на образец в виде закона косинуса

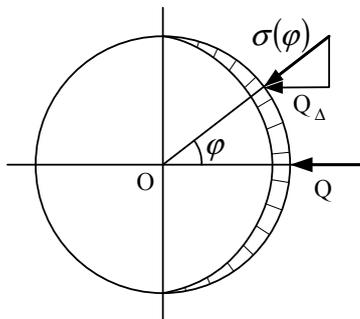


Рис. 3. Схематическое распределение давления абразива на образец по нормали (Q – равнодействующая всех горизонтальных сил, действующих на цилиндрический образец со стороны абразива)

Из зависимости (8) с учетом модели (7) получим следующую промежуточную формулу

$$Q_{\Delta} = HR\sigma_0 \cos\phi \cos(\phi_0 - \phi)d\phi.$$

Из условия равновесия силы Q и противодействующего давления имеем следующее соотношение

$$Q = 2HR\sigma_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos\phi \cos(\phi_0 - \phi)d\phi.$$

Учитывая то, что

$$\begin{aligned} \int \cos\phi \cos(\phi_0 - \phi)d\phi &= \\ &= \frac{1}{2} \int (\cos(2\phi - \phi_0) + \cos\phi_0)d\phi, \\ &= \frac{1}{4} \sin(2\phi - \phi_0) + \frac{1}{2} \phi \cos\phi_0 \end{aligned}$$

и

$$Q = 2RH\sigma_0 \left(\frac{1}{4} \sin(2\phi - \phi_0) + \frac{1}{2} \phi \cos\phi_0 \right) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = RH\sigma_0 \left(\sin\phi_0 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_0 \right)$$

получаем следующую зависимость

$$Q = RH\sigma_0 \left(\sin\phi_0 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_0 \right). \tag{9}$$

Из уравнения (9) получим

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \frac{Q}{\left(\sin\phi_0 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_0 \right) RH} = \\ &= \frac{2RH\sigma_{cp}}{\left(\sin\phi_0 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_0 \right) RH} = \\ &= \frac{2}{\sin\phi_0 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_0} \sigma_{cp} \end{aligned}$$

или

$$\sigma_0 = \frac{4}{2\sin\phi_0 + \pi\cos\phi_0} \sigma_{cp}. \tag{10}$$

Твёрдость латуни, из которой сделан образец, равна HB = 35 кг/мм². Дисперсность абразивной среды равна

$$\delta = \frac{0.2 + 0.3}{2} = 0.25 \text{ (мм)}.$$

Путь трения за один оборот для точки на поверхности цилиндра, соответствующей углу ϕ , найдём по формулам, которые уточняют аналогичные формулы работы [6]:

$$s(\phi) = 2\pi\sqrt{(R_B - R\sin\phi)^2 + R^2\cos^2\phi} \text{ для } \phi \in \left[-\frac{\pi}{2}; 0\right]. \tag{11}$$

$$s(\phi) = 2\pi\sqrt{(R_B + R\sin\phi)^2 + R^2\cos^2\phi} \text{ для } \phi \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]. \tag{12}$$

В точке на окружности, соответствующей углу $\phi = -\frac{\pi}{2}$, путь трения за один оборот равен длине

окружности, описываемой этой точкой

$$s\left(\phi = -\frac{\pi}{2}\right) = 2\pi(R_{\lambda} - R);$$

Скорость трения v по определению равна

$$v = \frac{s}{T},$$

где T – период вращения держателя с образцами, n – частота вращения, $T = 1/n$.

Используя результаты эксперимента, рассмотрим пример определения скорости трения абразива по образцу. Частота вращения равна $n = 450$ об/мин;

период вращения $T = \frac{60}{450} = 0.13$ [с]; путь трения за один

оборот держателя образцов находим по формуле

$$s = 2\pi(R_B - R) = 2\pi \cdot (38.5 - 11) = 217.34 \text{ [мм]}.$$

$$\text{Скорость трения равна } v = \frac{217.34}{0.13} = 1.67 \text{ [м/с]}.$$

Определим распределение износа по поверхности трения образца и величину параметра k_w .

Рассмотрим модель изнашивания в линейно-дифференциальной форме

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m. \quad (13)$$

В интегральной форме модель (13) примет следующий вид

$$u_w = k_w \sigma^m s. \quad (14)$$

Подставим в выражение (14) распределение давлений по (8) и зависимость пути трения от угла по (11) и (12) за один оборот держателя с образцами. Получим следующую модель линейного изнашивания

$$u_w(\phi) = 2\pi k_w \sigma_0^m \cos^m(\phi_0 - \phi) \sqrt{(R_B - R \sin\phi)^2 + R^2 \cos^2\phi}, \quad (15)$$

Тогда модель (14) примет вид

$$u_w(\phi) = 2\pi n t k_w \sigma_0^m \cos^m(\phi_0 - \phi) \sqrt{(R_B - R \sin\phi)^2 + R^2 \cos^2\phi}, \quad (16)$$

где t – время испытаний, а n – частота вращения держателя с образцами.

Используя данные эксперимента в четырёх точках, получим следующую систему уравнений для значений $\phi \in [0; \frac{\pi}{2}]$.

$$\begin{cases} u_w(\phi_1) = 2 \cdot \pi \cdot 4^m k_w n t \sigma_{cp}^m \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_1 + \sin\phi_0 \sin\phi_1}{2\sin\phi_0 + \pi \cos\phi_0} \right)^m \sqrt{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_1 + R^2} \\ u_w(\phi_2) = 2 \cdot \pi \cdot 4^m k_w n t \sigma_{cp}^m \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_2 + \sin\phi_0 \sin\phi_2}{2\sin\phi_0 + \pi \cos\phi_0} \right)^m \sqrt{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_2 + R^2} \\ u_w(\phi_3) = 2 \cdot \pi \cdot 4^m k_w n t \sigma_{cp}^m \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_3 + \sin\phi_0 \sin\phi_3}{2\sin\phi_0 + \pi \cos\phi_0} \right)^m \sqrt{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_3 + R^2} \\ u_w(\phi_4) = 2 \cdot \pi \cdot 4^m k_w n t \sigma_{cp}^m \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_4 + \sin\phi_0 \sin\phi_4}{2\sin\phi_0 + \pi \cos\phi_0} \right)^m \sqrt{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_4 + R^2} \end{cases} \quad (17)$$

Систему (17) можно решить почленным делением первого уравнения на второе, третьего на четвёртое. Таким образом, после соответствующих сокращений, получим следующую систему с двумя неизвестными.

$$\begin{cases} \frac{u_w(\phi_1)}{u_w(\phi_2)} = \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_1 + \sin\phi_0 \sin\phi_1}{\cos\phi_0 \cos\phi_2 + \sin\phi_0 \sin\phi_2} \right)^m \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_1 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_2 + R^2}} \\ \frac{u_w(\phi_3)}{u_w(\phi_4)} = \left(\frac{\cos\phi_0 \cos\phi_3 + \sin\phi_0 \sin\phi_3}{\cos\phi_0 \cos\phi_4 + \sin\phi_0 \sin\phi_4} \right)^m \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_3 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_4 + R^2}} \end{cases} \quad (18)$$

Числитель и знаменатель правой части каждого из уравнения системы (18) поделим на $\cos\phi_0$. Получим систему, которую решим пакетом программ прикладной математики MathCAD, предварительно обозначив $\text{tg}\phi_0$ через x , а m через y . Рассмотрим решение системы (19).

$$\begin{cases} \frac{u_w(\phi_1)}{u_w(\phi_2)} = \left(\frac{\cos\phi_1 + x \sin\phi_1}{\cos\phi_2 + x \sin\phi_2} \right)^y \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_1 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_2 + R^2}} \\ \frac{u_w(\phi_3)}{u_w(\phi_4)} = \left(\frac{\cos\phi_3 + x \sin\phi_3}{\cos\phi_4 + x \sin\phi_4} \right)^y \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_3 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_4 + R^2}} \end{cases} \quad (19)$$

После преобразований (19) получим

$$\begin{aligned} & \left(2 \ln \frac{u_w(\phi_1)}{u_w(\phi_2)} - \ln \frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_1 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_2 + R^2} \right) \ln \frac{\cos\phi_3 + x \sin\phi_3}{\cos\phi_4 + x \sin\phi_4} - \\ & - \left(2 \ln \frac{u_w(\phi_3)}{u_w(\phi_4)} - \ln \frac{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_3 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin\phi_4 + R^2} \right) \ln \frac{\cos\phi_1 + x \sin\phi_1}{\cos\phi_2 + x \sin\phi_2} = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Решая уравнение (20), получим значение $x = 0.785$, что даёт возможность определить $\phi_0 = 0.667$.

Из первого уравнения системы (19) найдём значение $m = 3.25208$. Коэффициент $k_w = 1.90119 \times 10^{-5}$ найден из первого уравнения системы (19). С помощью уравнения (8) можно найти значение σ для конкретного значения ϕ .

Определим влияние зернистости на абразивный износ. Цель этой части испытаний состоит в том, чтобы получить обобщенную зависимость абразивного износа по схеме MWU с учетом размера абразивного зерна δ . В общем виде зависимость интенсивности линейного износа от основных факторов, включая размер абразивных частиц, предложена нами в следующем виде:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{v\delta}{v_0} \right)^n \epsilon^k. \quad (21)$$

Сохраняя все факторы кроме σ и δ базовыми, имеем частный случай

$$\text{этой зависимости в форме } \frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m \delta^n.$$

В интегральной форме уравнение (21) имеет вид

$$u_w = k_w \sigma^m \delta^n s. \quad (22)$$

Для определения трех параметров модели k_w, m, δ необходимо иметь три базовых точки на пространстве экспериментальных точек

$$\{u_{w1}(\sigma_1, \delta_1, s_1); u_{w2}(\sigma_2, \delta_2, s_2); u_{w3}(\sigma_3, \delta_3, s_3)\}. \quad (23)$$

Запишем модель (22) для трех точек (23)

$$\begin{cases} u_{w1} = k_w \sigma_1^m \delta_1^n s_1 \\ u_{w2} = k_w \sigma_2^m \delta_2^n s_2 \\ u_{w3} = k_w \sigma_3^m \delta_3^n s_3 \end{cases} \quad (24)$$

Взяв последовательные отношения уравнений системы (24), получаем

$$\begin{cases} \frac{u_{w1}}{u_{w2}} = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^m \left(\frac{\delta_1}{\delta_2}\right)^n \frac{s_1}{s_2} \\ \frac{u_{w2}}{u_{w3}} = \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_3}\right)^m \left(\frac{\delta_2}{\delta_3}\right)^n \frac{s_2}{s_3} \end{cases} \quad (25)$$

Прологарифмируем оба уравнения системы (25)

$$\begin{cases} \lg \frac{u_{w1}}{u_{w2}} = m \lg \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + n \lg \frac{\delta_1}{\delta_2} + \lg \frac{s_1}{s_2} \\ \lg \frac{u_{w2}}{u_{w3}} = m \lg \frac{\sigma_2}{\sigma_3} + n \lg \frac{\delta_2}{\delta_3} + \lg \frac{s_2}{s_3} \end{cases} \quad (26)$$

Запишем систему (26) в следующем виде

$$\begin{cases} m \lg \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + n \lg \frac{\delta_1}{\delta_2} = \lg \frac{u_{w1}}{u_{w2}} - \lg \frac{s_1}{s_2} \\ m \lg \frac{\sigma_2}{\sigma_3} + n \lg \frac{\delta_2}{\delta_3} = \lg \frac{u_{w2}}{u_{w3}} - \lg \frac{s_2}{s_3} \end{cases} \quad (27)$$

Решая систему уравнений (27) относительно параметров m, n, получим

$$m = \frac{\lg \delta_1 \lg \frac{u_{w3} s_2}{u_{w2} s_3} + \lg \delta_2 \lg \frac{u_{w1} s_3}{u_{w3} s_1} + \lg \delta_3 \lg \frac{u_{w2} s_1}{u_{w1} s_2}}{\lg \sigma_1 \lg \frac{\delta_2}{\delta_3} + \lg \sigma_2 \lg \frac{\delta_3}{\delta_1} + \lg \sigma_3 \lg \frac{\delta_1}{\delta_2}}$$

$$n = \frac{\lg \sigma_1 \lg \frac{u_{w3} s_2}{u_{w2} s_3} + \lg \sigma_2 \lg \frac{u_{w1} s_3}{u_{w3} s_1} + \lg \sigma_3 \lg \frac{u_{w2} s_1}{u_{w1} s_2}}{\lg \delta_1 \lg \frac{\sigma_2}{\sigma_3} + \lg \delta_2 \lg \frac{\sigma_3}{\sigma_1} + \lg \delta_3 \lg \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}$$

Многофакторную критериальную модель абразивного изнашивания по схеме MWU представим в интегральной форме

$$u_w(\phi) = 2\pi n t k_w \sigma_0^m \cos^m(\phi_0 - \phi) \times \sqrt{(R_B \mp R \sin \phi)^2 + R^2 \cos^2 \phi} \left(\frac{v \delta}{v_0}\right)^n \times \left(\frac{V_{II} + V_B}{V_{II}}\right)^k \left(\frac{T_c}{T_{пл}}\right)^\alpha \left(\frac{P_{AT} + P_{II}}{P_{AT}}\right)^\beta,$$

При вычислении пути трения расчётных точек, используем зависимости (11 – 12).

На основании экспериментальных данных, полученных при изнашивании латунных цилиндров, и моделируя величину линейного износа в точках замеров, получили следующие функциональные зависимости (рис. 4).

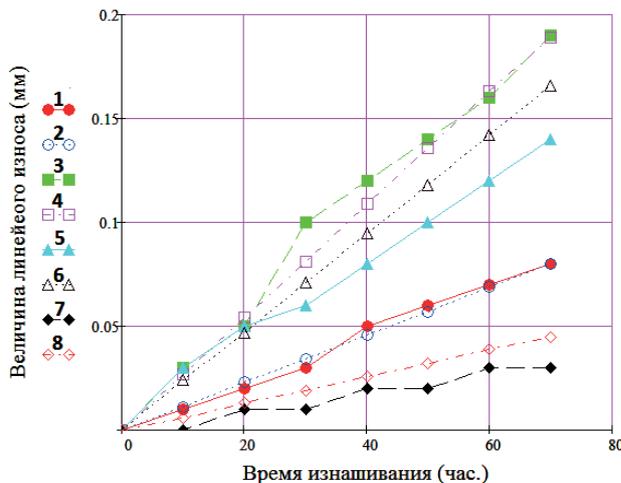


Рис. 4. Зависимости экспериментальной и смоделированной величин линейного износа в точках замеров от времени изнашивания: 1, 3, 5, 7 – графики зависимостей экспериментально найденного линейного износа, от времени в точках, которые соответствуют углам 0°, 30°, 60°, 90°; 2, 4, 6, 8 – графики смоделированных величин линейного износа в соответствующих точках

Среднее значение среднеквадратических ошибок, которые соответствуют угловым координатам точек взаимодействия, не превосходят 0,012 мм.

5. Выводы

Построена многофакторная критериальная модель абразивного изнашивания по схеме MWU в дифференциальной и интегральной формах. Предложены методики определения силы и давления, действующих на движущийся цилиндрический образец со стороны абразивной смеси. Показана методика определения основных величин влияющих на величину износа в исследуемых точках поверхности трения, а также, пути трения. Экспериментальным путём доказана корректность построенной модели абразивного изнашивания в незакреплённом абразиве. Таким образом, используя найденные параметры модели, прогнозируем величину линейного износа и наоборот, задавая допустимую величину линейного износа, получаем время безаварийной эксплуатации детали.

Литература

1. Кузьменко, А. Г. Прикладная теория методов испытаний на износ [Текст] / А. Г. Кузьменко. – Хмельницкий: ХНУ, 2007. – 579 с.
2. Польцер, Г. Основы трения и изнашивания [Текст] / Г. Польцер, Ф. Майсснер – М.: Машиностроение. – 1984. – 264 с.

3. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст] / М. М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 164 с.
4. Костецкий, Б. И. Надёжность и долговечность машин [Текст] / Б. И. Костецкий. – Киев.: Техніка, 1975. – 226 с.
5. Крагельский, И. В. Основы расчётов на трени и знос [Текст] / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Малышев, А. П. Изнашивание материалов от трения [Текст] / А.П. Малышев // Вестник общества сибирских инженеров. – 1917. – Т. 2, № 5-6.
7. Хрущев, М. М. Абразивное изнашивание [Текст] / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
8. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования [Текст] / В. А. Веников. – М.: Высш. Шк, 1976. – 479 с.
9. Кузьменко, А. Г. Теоретические основы метода испытаний на абразивный износ по схеме Малышева – Веллингера – Уэтца [Текст] / А. Г. Кузьменко, О. А. Вишневский // Проблемы тертя та зношування. – 2011. – Вип. 55. – С. 79-82.
10. Кузьменко, А. Г. Теоретические основы и экспериментальная реализация метода испытаний на абразивный знос с определением параметров моделей изнашивания по схеме Малышева – Валлингера – Уэтца (MVU) [Текст] / А. Г. Кузьменко, О. А. Вишневский // Вісник ХНУ. – 2011. – №3. – С. 7-19.

В даній роботі обґрунтовуються конструктивні та технологічні заходи для зменшення динамічних навантажень на опорні вузли приводного механізму шляхом визначення основних критеріїв оцінки пружної системи технологічної машини та отримання їх аналітичних виразів. На прикладі розрахунку конвеєрної вібромашини було обґрунтовано вплив додаткової пружної складової з боку транспортуючого елемента при конструюванні вібробуджувачів

Ключові слова: вібробуджувач, динаміка руху, кінематичний привод, вібраційний конвеєр, пружна система

В данной работе обосновываются конструктивные и технологические мероприятия для уменьшения динамических нагрузок на опорные узлы приводного механизма путем определения основных критериев оценки упругой системы технологической машины и получения их аналитических выражений. На примере расчета конвейерной вибромашины было обосновано влияние дополнительной упругой составляющей со стороны транспортирующего элемента при конструировании вибровозбудителя

Ключевые слова: вибровозбудитель, динамика движения, кинематический привод, вибрационный конвейер, упругая система

УДК 621.09

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ВІБРОКОНВЕЄРНОЇ МАШИНИ З КІНЕМАТИЧНИМ КОМБІНОВАНИМ ВІБРОЗБУДЖЕННЯМ

І. П. Паламарчук

Доктор технічних наук, професор*

В. І. Паламарчук

Аспірант*

E-mail: vlad_drakula@mail.ru

В. І. Драчишин

Аспірант*

*Кафедра процесів та обладнання переробних і харчових виробництв
Вінницький державний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008

1. Вступ

Елементи пружних систем вібраційних машин характеризуються досить широким спектром технологічного використання. Так, за функціональним призначенням можна виділити три основних групи подібних елементів: пружні підвіски, опори та передаточні пристрої (рис. 1), дослідженню яких приділено широку увагу в наукових працях [1, 2].

Пружні підвіски необхідні для підсилення та стабілізації коливального процесу, для забезпечення необхідної форми траєкторій точок робочих органів, для зниження зусиль у віброприводі під час запуску. З цією метою пружні елементи повинні бути достатньо м'якими для виключення передачі вібрації на корпус машини та мати необхідну стійкість для забезпечення ефективного зв'язку між робочими органами та станиною. При цьому відзначаються, в основному, металічні та гумокордні конструктивні схеми.