

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.88/.89(045)

А.Г. Овчаренко,
А.Ф. Мельников

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ключевые слова: износ, двигатель внутреннего сгорания, антифрикционная присадка, наноалмаз, нанокобальт, ускоренные испытания, схема Арчарда, машина трения, смазочная композиция, методика.

В сельскохозяйственном производстве Российской Федерации используется более 5,5 млн двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Показатели надежности техники в условиях эксплуатации показывают, что от 30 до 50% отказов приходится на ДВС. Долговечность двигателей в основном определяется износом поршневых колец и гильз цилиндров, шатунных и коренных шеек коленчатых валов, вкладышей, кулачков распределительных валов, толкателей и других деталей. Двигатели внутреннего сгорания часто выходят из строя в связи с задиром пар трения.

Для повышения долговечности ДВС в настоящее время предлагаются различные присадки, обладающие, по заверению производителей, следующими свойствами: повысить мощность ДВС до 20%, снизить расход топлива до 15%, повысить компрессию до 12%. Ассортимент продуктов этого назначения составляет несколько десятков наименований: антифрикционные присадки, противоизносные, вязкостные присадки, обкаточные присадки, ускоряющие и улучшающие качество приработки трущихся поверхностей в капитально отремонтированных двигателях в пери-

од обкатки, плакирующие присадки. К сожалению, приводимые характеристики присадок не всегда достоверные, а величины показателей носят рекламный характер.

Для получения достоверных данных предлагаемых присадок наиболее надежный способ – провести экспериментальные испытания присадок. Однако испытания в ДВС не всегда оправданы из-за риска повреждения двигателя. Создание специальных стендов не всегда возможно из-за большой стоимости самих стендов и длительного времени проведения испытаний. Поэтому актуальность приобретают методы ускоренных испытаний таких присадок, которые позволяют за минимальный срок получить необходимые сведения об износостойкости пар трения и свойствах антифрикционных композиций.

В настоящее время для оценки противоизносных свойств различных смазочных материалов известно большое количество машин трения. Некоторые стандартизованы, другие являются авторскими разработками и отличаются высокой экспрессностью и надежностью результатов. Несмотря на это, проблема ускоренных испытаний износа материалов при наличии смазки до конца не решена.

Авторами проанализированы существующие схемы машин трения. Из известных схем с учетом простоты конструкции, возможности создания «точечного» контакта поверхностей трения и значительно-

го диапазона давлений в точке контакта была выделена схема трения Арчарда, схема «цилиндры с перекрещивающимися осями». Была разработана экспериментальная установка для экспресс-оценки триботехнических свойств смазочных масел и различных антифрикционных присадок. Схема машины трения представлена на рисунке 1.

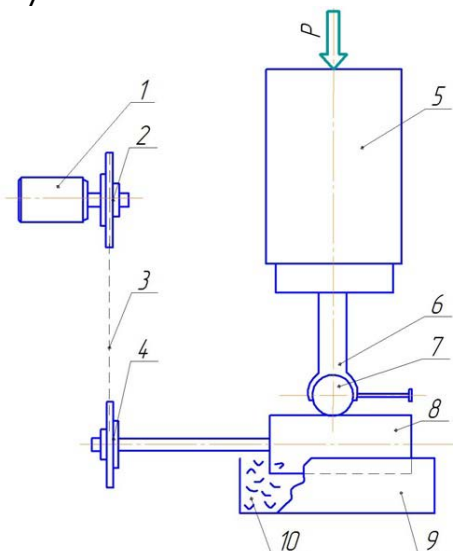


Рис. 1. Схема машины трения:
1 – электродвигатель; 2 – шкив ведущий;
3 – ремень; 4 – шкив ведомый;
5 – узел нагружения; 6 – узел закрепления;
7 – цилиндрический образец;
8 – рабочий ролик; 9 – ванночка; 10 – масло

Машина трения позволяет производить исследования в следующих диапазонах изменения параметров:

- скорость скольжения – 0,7-2,3 м/с;
- нагрузка – 3-100 Н (давление в диапазоне 1,5-50 МПа);
- диаметр контртела (рабочего ролика) – 30 мм;
- диаметр образца – 6 мм.

Машина трения имеет следующие преимущества:

- на одном из образцов можно проводить до 30-40 испытаний;
- время испытания не превышает 10-40 мин. в зависимости от смазочного материала и пар трения;
- малые размеры установки и простота в эксплуатации;
- значительный диапазон создаваемых давлений в точке контакта;
- нет необходимости обеспечения строгой перпендикулярности образца и контртела.

Была разработана методика ускоренных испытаний различных присадок. В основе предлагаемой методики лежит уравнение объемного износа, которое пока-

зывает, что интенсивность изнашивания (объем изношенного материала, приходящийся на единицу пути трения) прямо пропорциональна нормальной нагрузке и обратно пропорциональна твердости более мягкого материала (уравнение Арчарда) [1]:

$$I = \frac{K \cdot P}{H}, \quad (1)$$

где I – интенсивность объемного изнашивания;

K – коэффициент износа ($K < 1$);

P – нормальная нагрузка;

H – твердость более мягкого материала.

Для экспериментальной установки интенсивность изнашивания можно выразить как

$$I = \frac{V_{\text{изн}}}{L}, \quad (2)$$

где $V_{\text{изн}}$ – объемный износ образца, м^3 ;

L – путь скольжения, м.

Путь скольжения при экспериментах определяется по известной формуле:

$$L = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \cdot \tau = v \cdot \tau, \quad (3)$$

где n – частота вращения рабочего ролика, об/мин.;

R – радиус ролика, м;

τ – время испытаний, с;

v – линейная скорость в зоне контакта, м/с.

Для определения объемного износа на экспериментальной установке используем расчетную схему (рис. 2).

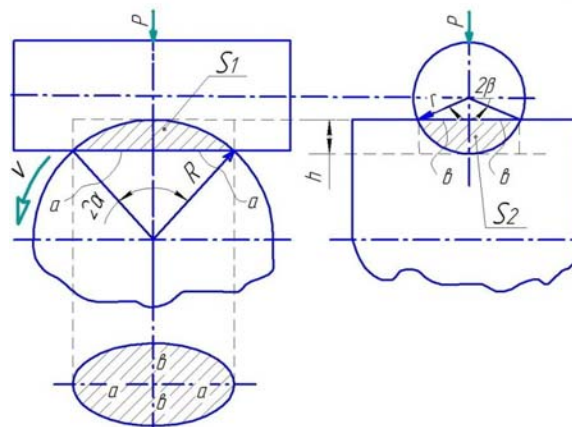


Рис. 2. Схема для определения объемного износа:

a, b – радиусы эллипса пятна износа;

S_1, S_2 – площади сегментов ролика и образца соответственно; h – глубина лунки износа

С учетом постоянства $\frac{R}{r} = \text{const}$, очень малых величин центральных углов α и β , величины глубины лунки износа h можно объем износа приближенно оценить как

объем части цилиндра с основанием, равным площади кругового сегмента:

$$V_{изн} = S_1 \cdot 2b = S_2 \cdot 2a, \quad (4)$$

где S_1, S_2 – площади круговых сегментов ролика и образца соответственно, m^2 ;

a, b – радиусы эллипса пятна износа, m .

В дальнейшем неточность при определении объема лунки износа учитывается постоянным коэффициентом для конкретной экспериментальной установки.

Воспользуемся приближенной формулой для определения площади кругового сегмента при малых центральных углах окружности [2]:

$$S_1 = \frac{2}{3} \cdot 2a \cdot h. \quad (5)$$

При центральном угле, равном $2\alpha < 30^\circ$, ошибка вычисления площади сегмента не превышает 0,3%, а при $2\alpha < 60^\circ$ – 1,5%.

Тогда с учетом (3) выразим объем износа образца как

$$V_{изн} = \left(\frac{2}{3} \cdot 2a \cdot h\right) \cdot 2b = \frac{8}{3} a \cdot b \cdot h. \quad (6)$$

С учетом площади пятна износа в виде эллипса равной $S = \pi \cdot a \cdot b$ (рис. 2) получим выражения для объемного износа

$$V_{изн} = \frac{8}{3\pi} \cdot S \cdot h = \frac{8}{3\pi} \cdot S \cdot (R - R \cos \alpha), \quad (7)$$

где $\cos \alpha = \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - a^2}$.

Окончательно получим

$$V_{изн} = \frac{8}{3\pi} \cdot S \cdot (R - \sqrt{R^2 - a^2}). \quad (8)$$

С учетом выражений (2) и (3) запишем интенсивность износа

$$I = \frac{\frac{8}{3\pi} \cdot S \cdot (R - \sqrt{R^2 - a^2})}{v \cdot \tau}. \quad (9)$$

С учетом (1) получим выражение

$$\frac{\frac{8}{3\pi} \cdot S \cdot (R - \sqrt{R^2 - a^2})}{v \cdot \tau} = K \cdot \frac{P}{H}. \quad (10)$$

Преобразуем (10) в зависимость

$$S = \frac{K}{\frac{8}{3\pi}} \cdot \frac{P}{H} \cdot v \cdot \frac{\tau}{R - \sqrt{R^2 - a^2}}. \quad (11)$$

Окончательно получим выражение для методики ускоренных испытаний в виде

$$S = K_0 \cdot \frac{P}{H} \cdot v \cdot \tau, \quad (12)$$

где S – площадь пятна износа, m^2 ;

K_0 – постоянная экспериментальной установки, учитывает геометрическое подобие частиц износа, подобие геометрических размеров пары трения, установив-

шийся режим износа, неточности при определении объема лунки износа,

$$K_0 = \frac{K}{\frac{8}{3\pi} \cdot (R - \sqrt{R^2 - a^2})}, \quad 1/m;$$

P – нормальная сила, H ;

H – твердость материала цилиндрического образца, H/m^2 ;

v – линейная скорость в зоне контакта, m/c ;

τ – время износа, c .

На сегодняшний день значительное внимание уделяется созданию и использованию различных присадок, содержащих наночастицы, которые обладают высокой поверхностной энергией и удерживают на своей поверхности масляную пленку. Такие частицы становятся носителями смазки, способными проникать в узкие зазоры, тем самым исключая граничное и сухое трение.

Практический интерес представляют присадки на основе наночастиц сверхтвердых материалов (наноалмазов) и различных металлов (Fe, Ni, Cu, Ag, Zn, Cd, Sn, Pb и др.), которые обеспечивают антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства в парах трения.

Наиболее известной и отработанной на практике является алмазосодержащая присадка «Деста» (ТУ 07508902-188-2003), выпускаемая ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай». Считается, что наличие большого количества сверхмалых частиц графита и наноалмаза изменяет свойства смазочной пленки и характер взаимодействия поверхностей трения, способствует ускоренной приработке трущихся поверхностей [3].

На рисунке 3 приведены результаты ускоренных испытаний по предложенной методике чистого масла М-8В (ГОСТ 10541-78), масла М-8В с присадкой «Деста» и масла М-8В с присадкой, содержащей нанокобальт. Последняя присадка разработана авторами статьи.

Анализ полученных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективной при указанных условиях нагружения будет присадка с нанокобальтом.

Таким образом, разработана достаточно простая методика ускоренных испытаний для сравнительного анализа различных антифрикционных присадок, позволяющая по площади пятна износа оценивать износ поверхностей и прогнозировать антифрикционный эффект различных смазочных композиций, используемых для пар трения скольжения.

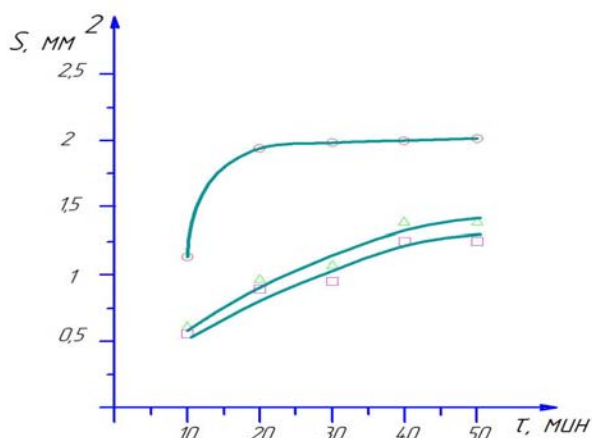


Рис. 3. Результаты испытаний на износ различных масляных композиций при нагрузке 5 Н:

- – чистое масло М-8В;
- Δ – масло М-8В + Деста;
- – масло М-8В + нанокобальт 0,2%



УДК 621.9Т

А.А. Багаев,
Р.С. Чернущ

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСХОДОМЕРА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОСЕВОЙ ЗАГРУЗКЕ

Ключевые слова: передаточная функция, центробежный расходомер, датчик, точность измерения, расход зерна, переходный процесс, дифференциальное уравнение, ячейка, сила.

Перспективным средством измерения расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов является центробежный расходомер при условии повышения его точности. Повышение точности невозможно без анализа динамических свойств системы «двигатель-крыльчатка». Динамические свойства двигателей достаточно хорошо изучены [1]. Вместе с тем основной трудностью является отсутствие сведений о динамическом поведении воспринимающего органа – крыльчатки.

Известно, что момент сопротивления центробежного расходомера зависит от конструктивных параметров крыльчатки и физических свойств сыпучего материала [2].

В результате реализации численного эксперимента было получено уравнение регрессии момента сопротивления в виде

- Библиографический список**
1. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
 2. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М.: АСТ Астрель, 2006. – 509 с.
 3. Сакович Г.В., Комаров В.Ф., Петров Е.А. Синтез, свойства, применение и производство наноразмерных синтетических алмазов. Часть 2. Применение и производство // Сверхтвердые материалы. – 2002. – № 4. – С. 8-23.

полинома второго порядка [3]. Переменными факторами являются: угловая скорость крыльчатки ω_2 , расход материала Q , угол изгиба лопасти турбинки относительно радиального направления α_n , коэффициенты трения скольжения f_1 и восстановления частиц ε . Полученные выражения не позволяют исследовать динамические процессы в электромеханической системе «электрический двигатель – редуктор – крыльчатка расходомера», поскольку эти уравнения не являются дифференциальными, не позволяют получить передаточную функцию момента сопротивления и осуществить имитационное моделирование переходных процессов в центробежном расходомере. В связи с этим целью работы является получение системы дифференциальных уравнений для поля центробежных сил и передаточной функции момента сопротивления.

Для получения дифференциальных уравнений воспользуемся подходом, изложенным в работе [4]. При рассмотрении явлений, происходящих в поле цен-