

## **РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЯ МОМЕНТА ТРЕНИЯ СТЕНДА СИ-04 ДЛЯ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**В. Б. ПОПОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

**П. С. ДРОБЫШЕВСКИЙ**

*Республиканское унитарное предприятие «Гомсельмаш»,  
Лаборатория износоусталостных испытаний,  
Республика Беларусь*

**В. В. КОМИССАРОВ**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет транспорта», г. Гомель*

### **Введение**

Изучение закономерностей и характеристик трения качения, реализуемых при испытаниях соответствующих пар трения, а также исследование аналогичных параметров при испытаниях подобных силовых (трибофатических) систем связано с регистрацией весьма малых величин момента трения, что требует от испытательной техники обеспечения высокой точности измерения. В этой связи на разрабатываемых опытных образцах полнокомплектного стенда СИ-04 [2] для многоцелевых испытаний необходимо обеспечить точные исследования процессов трения при качении. Поэтому целью проводимых исследований являлась разработка проектной документации, изготовление устройства для измерения момента трения при качении и его апробация.

### **Устройство для измерения момента трения при качении**

В результате проведенных исследований было спроектировано и изготовлено устройство полнокомплектного стенда для измерения момента трения при качении [2]. Принцип работы стенда с данным устройством представлен на рис. 1. Электрощпиндель 1 с заданной скоростью вращает закрепленный испытываемый образец 2. Электродвигатель привода контробразца (на рис. 1 не показан) через датчик момента (моментомер) 3 и карданный вал 4 вращает приводной вал 5, на котором закреплен контробразец-ролик 6 (с помощью болта). Приводной вал закрепляется в подшипниковом узле 8, в котором имеется отверстие для заливания масла с целью снижения трения в подшипниках и получения более точных показаний датчика момента 3. Электродвигатель образца, моментомер 3 и карданный вал 4 связываются посредством специальных пружинных муфт 9, что позволяет проводить испытания при несоосности валов электродвигателя и контробразца до 10 мм. Моментомер 3 закреплен на специальном кронштейне 7, который позволяет выставить вал моментомера соосно с валом электродвигателя за счет перемещения моментомера как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Все узлы закреплены на станине 13.

Электродвигатели с силовыми инверторами позволяют изменять в широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения образца и контробразца, обеспечивая заданную скорость проскальзывания пары трения.

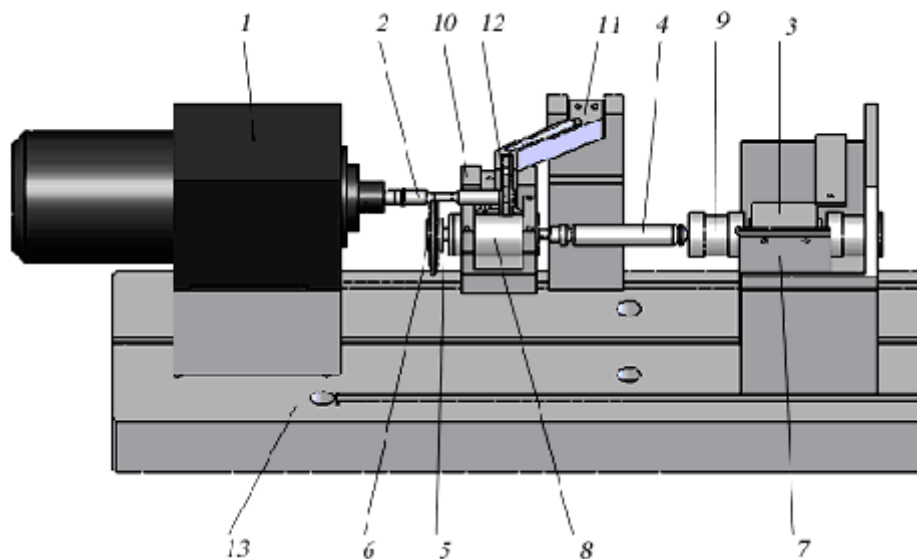


Рис. 1. Вид устройства полнокомплектного стенда для измерения момента трения при качении

При проведении испытаний контрообразец 6 прижимается к рабочей поверхности образца 2 через систему рычагов и плоскую пружину (механизм контактной нагрузки 10), создавая заданную контактную нагрузку. Изгибающие напряжения в образце создаются через рычаги, плоскую пружину (механизм изгибающей нагрузки 11) и обойму 12 с подшипником, установленным на хвостовик вращающегося образца. Расположение площадки трения в зоне растяжения или в зоне сжатия образца обеспечивается изменением направления изгибающей силы, действующей на образец. Величины контактной и изгибающей нагрузок определяются с помощью датчиков силы. Момент трения измеряется с помощью моментомера 3. Суммарное количество оборотов образца, а также частота вращения образца и контрообразца измеряется с помощью датчиков, вмонтированных в корпуса электродвигателей.

#### **Отработка и наладка изготовленного устройства для измерения момента трения при качении**

Изготовленное устройство полнокомплектного стенда для измерения момента трения при качении при установке на станине испытательного стенда требует однократную подстройку положения датчика момента соосно вала двигателя контрообразца. Данная подстройка выполняется при помощи винтов 16, 17 в горизонтальном положении и при помощи винтов 18, 19 в вертикальном положении (рис. 2). В подшипниковый узел заливается жидкая смазка.

Тарировка устройства для измерения момента трения при качении производится с помощью грузов, которые устанавливаются на чашу 21 предварительно уравновешенного рычага 20. При этом вал датчика момента, обращенный к двигателю контрообразца, фиксируется винтом 15.

Задаваемый момент рассчитывается по формуле

$$M = mgL,$$

где  $M$  – момент вращения, Н · м;  $m$  – масса груза, кг;  $L$  – плечо рычага, м.

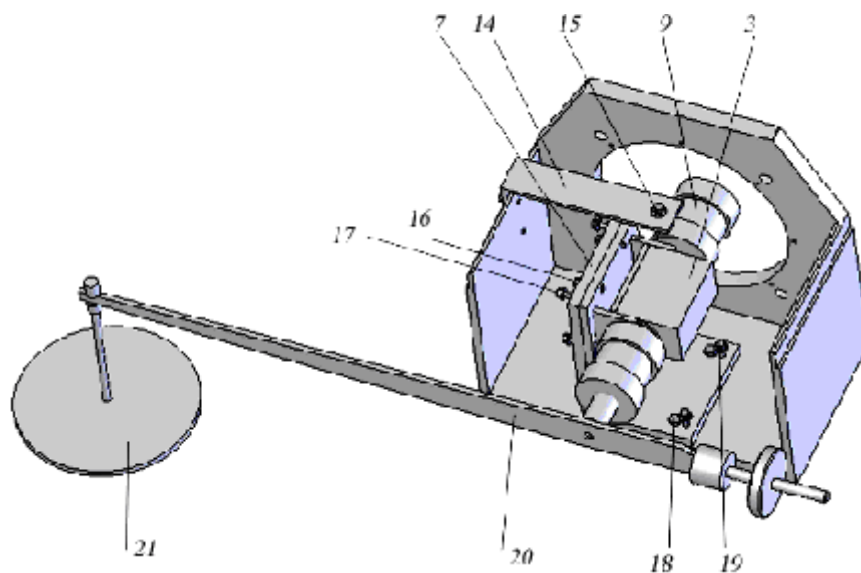


Рис. 2. Схема тарировки устройства полнокомплектного стенда для измерения момента трения при качении

В данном устройстве используется высокоточный и устойчивый к механическим воздействиям датчик момента T20WN фирмы НВМ (Германия). Данные датчики допускают измерение крутящего момента при скоростях вращения до  $10000 \text{ мин}^{-1}$ .

При измерении динамического крутящего момента следует иметь в виду, что калибровка, проведенная для статического крутящего момента, также применима к динамическому крутящему моменту.

Амплитуда момента (от пика до пика) не должна превышать 80 % от номинального крутящего момента. Во всех случаях амплитуда должна находиться в пределах нагрузочного диапазона.

Тарировка устройства для измерения момента трения при качении производится с помощью грузов, которые устанавливаются на чашу 21 предварительно уравновешенного рычага 20. При этом вал датчика момента, обращенный к двигателю контрообразца, фиксируется винтом 15.

При проведении тарировки на устройство измерения момента создается воздействие и измеряется напряжение, полученные от датчика. Поскольку датчик и канал измерения имеют высокую линейность, то для функции пересчета определяется только 2 коэффициента – смещение нуля и наклон характеристики. Смещение нуля по напряжению определяем в режиме ручного управления при отсутствии воздействий на измеритель момента. Затем нужно перейти в окно «Тарировка» главного меню. Данные из поля «Напряжение (В)» вводим соответствующую строку для датчика момента в столбец «Ноль (В)». Затем на чашу 21 устанавливаем груз, создающий рассчитанное значение момента. Желательно, чтобы это значение было ближе к верхней границе диапазона измерения для датчика момента. Перейдя снова в режим ручного управления, определяем напряжение канала, соответствующее этому рассчитанному значению момента. Затем опять переходим в окно «Тарировка» и вводим данные в полях «Значение»: «измеренное» – значение напряжения для заданного значения момента, «реальное» – заданное значение момента.

После тарировки можно провести проверку точности измерения момента в ручном управлении. Для этого последовательно накладываем на чашу грузы известной массы (для которых рассчитываем создаваемый ими момент) и сравниваем расчетные данные с фактическими.

### **Экспериментальная апробация устройства для измерения момента трения при качении**

Для экспериментальной апробации разработанного устройства были проведены ускоренные испытания моделей силовых систем [3], [4]. Пример программы нагружения показан на рис. 3, а. Контактная нагрузка  $F_N = 254 \text{ Н}$  (контактные напряжения  $p_0 = 2400 \text{ МПа}$ ) задается через 2 мин после начала испытаний. Изгибающая нагрузка в этом случае отсутствует. Как видно, величина  $F_N$  оказывается практически постоянной в течение всего времени испытаний.

Результаты измерения момента трения приведены на рис. 3, б. Как видно, момент трения  $M_T$  также остается практически постоянным на протяжении всего времени испытаний и составляет  $0,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

*Результаты испытаний на контактно-механическую усталость.* Сначала выполнены испытания с организацией трения в зоне растяжения изгибаемого вала. Программа нагружения и результаты измерения момента трения приведены на рис. 4. В этом случае, как и при испытаниях на контактную усталость, контактная нагрузка  $F_N = 254 \text{ Н} = \text{const}$  (контактные напряжения  $p_0 = 2400 \text{ МПа}$ ) задается через 2 мин после начала испытаний. Изгибающая нагрузка  $Q$  (направлена вниз) задается ступенчато, через 10 мин после начала испытаний. Начальный уровень изгибающей нагрузки  $Q = 160 \text{ Н}$  (изгибные напряжения  $\sigma_a = 160 \text{ МПа}$ ). Приращение изгибных напряжений  $\Delta\sigma_i = 40 \text{ МПа} = \text{const}$  на каждой ступени нагружения. Переход со ступени на ступень осуществляли без промежуточных пауз. Испытания проводили непрерывно до заданного числа циклов нагружения ( $6 \cdot 10^5$  циклов). Длительность каждой ступени нагружения  $n_i = 10^5$  циклов.

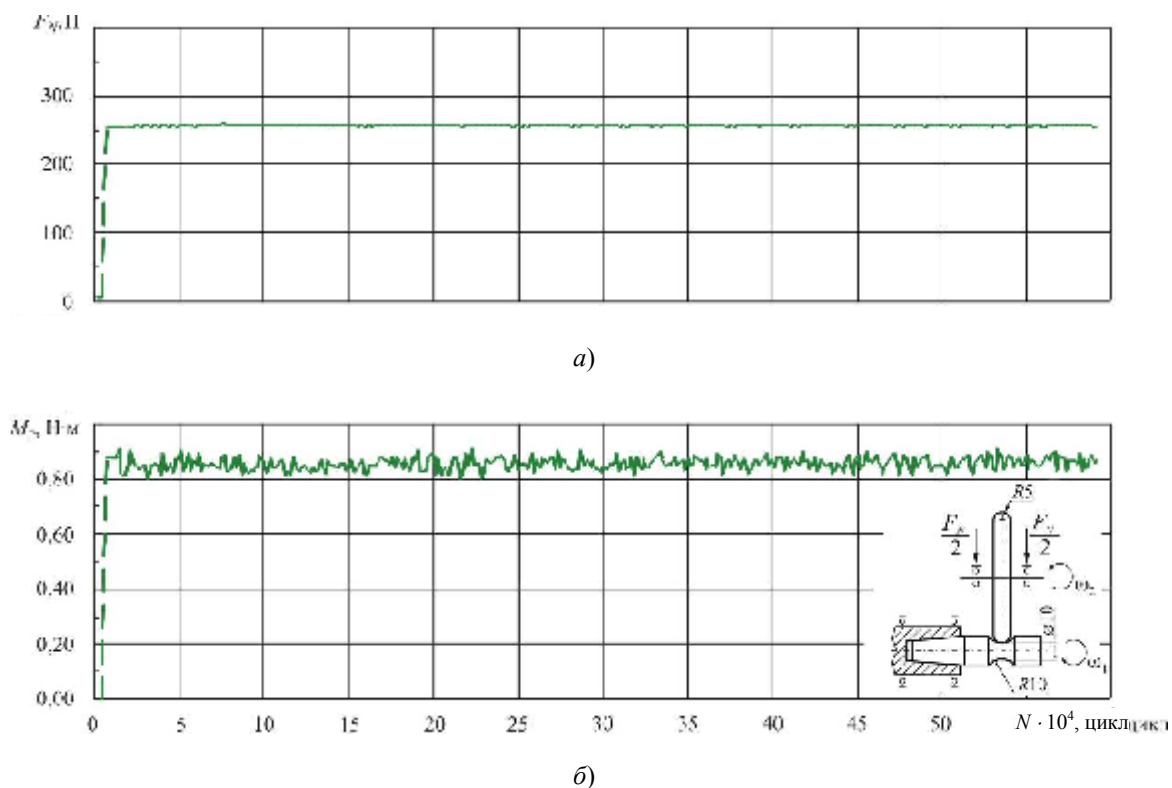
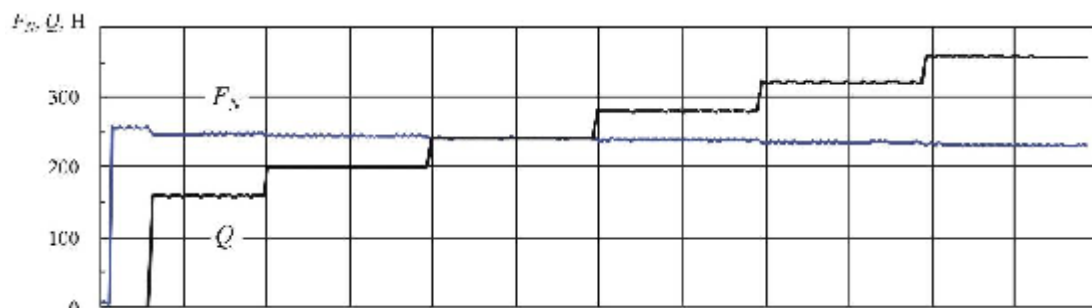


Рис. 3. Пара трения: протокол испытаний на контактную усталость  $\sigma_a = 0$

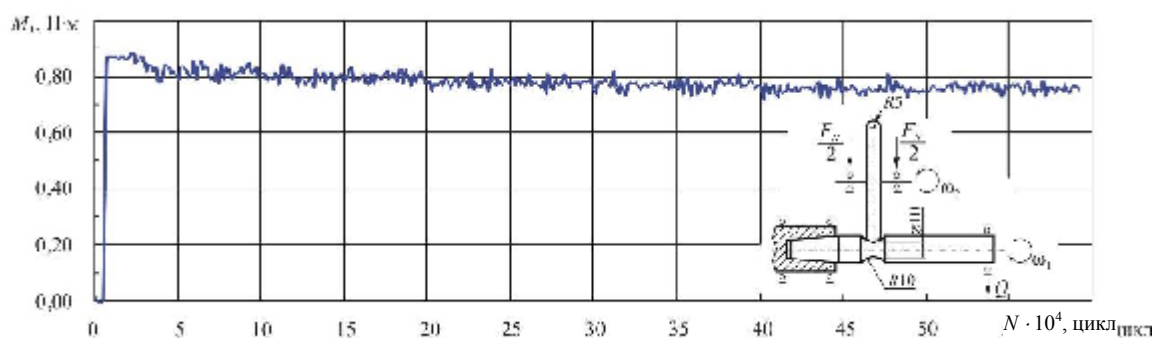
Как видно из рис. 4, в процессе испытаний имеет место снижение величины момента трения  $M_T$ , примерно на  $0,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$  за все время испытаний.

Далее провели испытания в зоне сжатия изгибаемого вала. Программа нагружения и результаты измерения момента трения приведены на рис. 5. Контактная нагрузка оставалась прежней ( $F_N = 254 \text{ Н} = \text{const}$ ; контактные напряжения  $p_0 = 2400 \text{ МПа}$ ); ее задавали через 2 мин после начала испытаний. Изгибающую нагрузку  $Q$  (направлена вверх) задавали ступенчато, через 10 мин после начала испытаний. Начальный уровень

изгибающей нагрузки  $Q = 160$  Н (изгибные напряжения  $\sigma_a = 160$  МПа). Интервал приращения изгибных напряжений  $\Delta\sigma_i = 40$  МПа = const. Переход со ступени на ступень осуществляли без промежуточных пауз. Испытания проводили непрерывно до заданного числа циклов нагружения ( $6 \cdot 10^5$  циклов). Длительность каждой ступени нагружения  $n_i = 10^5$  циклов. Как видно, в процессе испытаний имеет место рост величины момента трения  $M_T$ , от 0,85 до 0,95 Н · м.



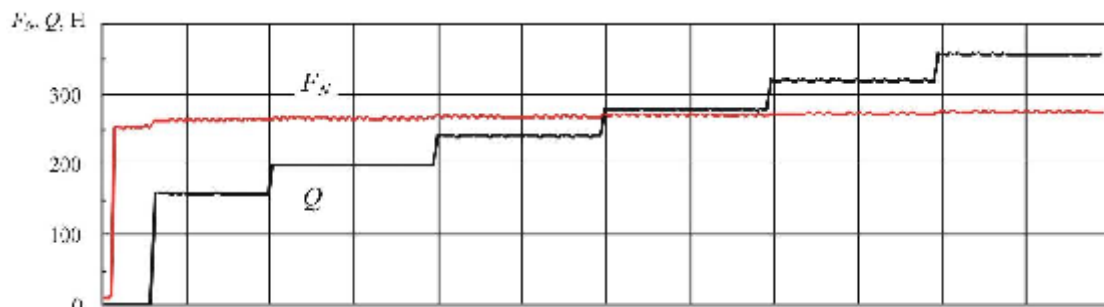
а)



б)

Рис. 4. Силовая система: протокол испытаний на контактно-механическую усталость при  $\sigma_a < 0$

Совмещение программ нагружения и осредненных (на каждой из шести ступеней нагружения изгибающей нагрузкой  $Q$  длительностью  $10^5$  циклов момент трения измеряли 66 раз и затем определяли его среднее значение) на каждой ступени нагружения результатов измерения момента трения для всех трех проведенных экспериментов представлено на рис. 6. Это позволяет считать, что данная зависимость является статистически устойчивой.



а)

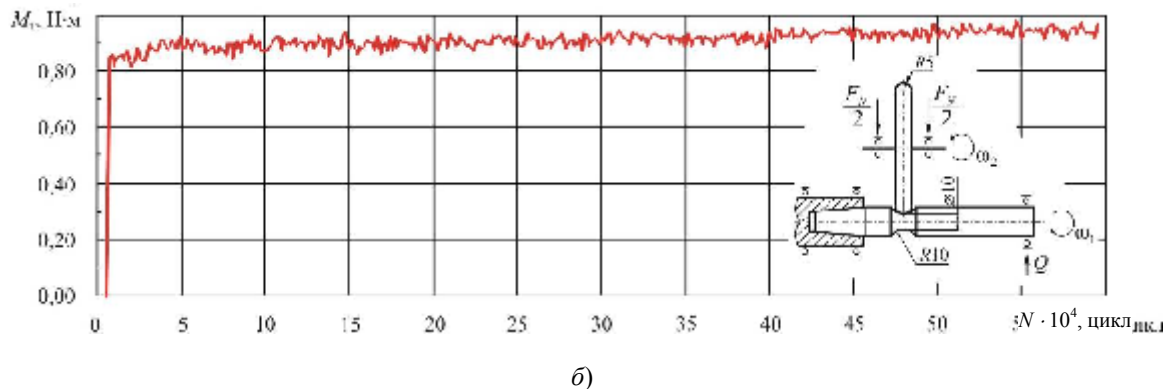
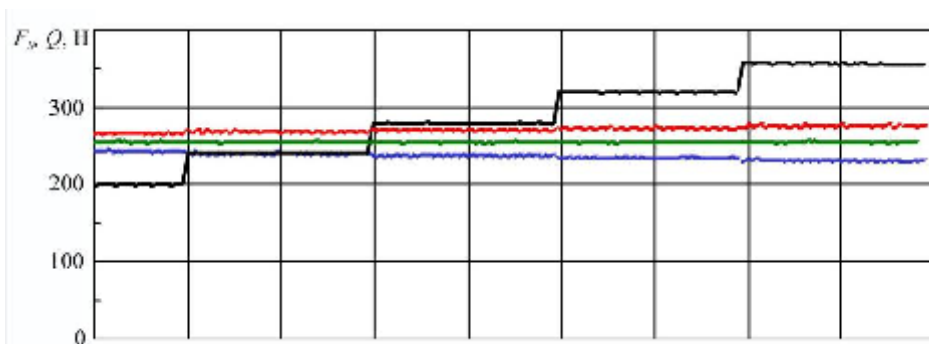
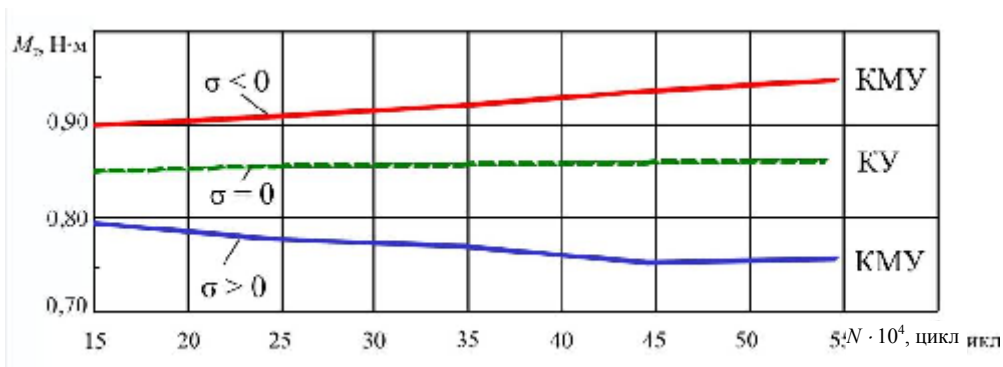


Рис. 5. Силовая система: протокол испытаний на контактно-механическую усталость при  $\sigma_a > 0$



а)



б)

Рис. 6. Осредненные результаты испытаний на контактную и контактно-механическую усталость

Из рис. 6 следует основное заключение: если в зоне трения качения (при постоянной контактной нагрузке) возбуждаются циклические напряжения, обусловленные внеконтактной изгибающей нагрузкой, то момент трения, а следовательно, и коэффициент сопротивления качению монотонно увеличиваются с ростом абсолютных величин циклических напряжений сжатия ( $\sigma < 0$ ) на ~12 % и также монотонно снижаются с ростом циклических напряжений растяжения ( $\sigma > 0$ ) на ~12 %.

Таким образом, проведенные наладочные работы по устройству полнокомплектного стенда для измерения момента трения при качении, тарировка и экспериментальная проверка результатов доработки показали, что изготовленные узлы стенда работоспособны, поддерживают заданные параметры с допустимой погрешностью и производят измерения исследуемых параметров (момента трения) с высокой точностью и достоверностью.

## **Заключение**

1. Разработана проектная документация и изготовлен измеритель момента трения опытного образца стенда для многоцелевых испытаний.
2. Измеритель момента трения предназначен для сравнительных исследований характеристик трения в паре трения и в силовой системе, при этом объекты испытаний унифицированы по размерам.
3. По результатам тарировки установлено, что измеритель момента трения обеспечивает погрешность, во всем диапазоне не превышающую  $\pm 2\%$ .
4. Проведена экспериментальная апробация устройства для измерения момента трения при качении. Показано, что предложенная конструкция принципиально работоспособна.
5. Разработанный измеритель момента трения при качении весьма актуален для исследования сборочных единиц и агрегатов мобильных сельскохозяйственных и транспортных машин.

## **Литература**

1. ГОСТ 30755–2001. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования (Межгосударственный стандарт). – Введ. 01.07.02. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 8 с.
2. Разработка измерителя момента трения опытного образца стенда для многоцелевых испытаний : отчет о НИР / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; рук. В. Б. Попов. – Гомель, 2009. – 27 с.
3. Тюрин, С. А. Сравнительное исследование коэффициентов трения при качении и контактно-механической усталости / С. А. Тюрин, С. С. Щербаков, Л. А. Сос-новский // Завод. лаб. – 2005. – Т. 71, № 2. – С. 48–51.
4. СТБ 1233–2000. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость. – Введ. 01.10.00. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 8 с.

*Получено 07.09.2011 г.*