

ОСОБЕННОСТИ ТАРИРОВКИ ПЕРСОНАЛЬНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

¹ Дембовский И.Н., ¹ Богданович А.В.

¹ Белорусский государственный университет, Минск

Три десятилетия назад была выделена группа механических систем, в элементах которых при эксплуатации имеют место процессы трения и изнашивания и которые при этом воспринимают и транзитно передают циклическую повторно-переменную объемную нагрузку. Это так называемые трибофатические системы, которые, как правило, являются наиболее массовыми и ответственными в современных машинах [1 – 3]. Для оценки работоспособности таких систем создан новый класс оборудования – машины для комплексных износоусталостных испытаний [4 – 7].

В рамках задания ГНТП «Эталоны и научные приборы» БГУ объединил свои усилия с ООО «НПО «ТРИБОФАТИКА» и ГНУ «ОИМ НАН Беларуси» с целью разработки и внедрения в учебный процесс университетов так называемого персонального испытательного центра (ПИЦ) для износоусталостных испытаний.

ПИЦ предназначен для автоматизированных испытаний образцов материалов (черных, цветных металлов и сплавов, полимерных, композиционных материалов), унифицированных моделей пар трения и трибофатических систем при главном вращательном движении на:

- механическую усталость,
- трение скольжения (фрикционную усталость),
- трение качения (контактную усталость),
- фрикционно-механическую усталость (трение скольжения + механическая усталость),
- контактно-механическую усталость (трение качения + механическая усталость),

в комплекте с информационно-управляющей системой и программным обеспечением на базе персонального компьютера для управления процессами испытаний, прецизионного измерения основных параметров и характеристик, обработки и представления опытных данных с целью использования их для расчета и проектирования типичных деталей машин, механизмов, оборудования и приборов на прочность, усталость, износостойкость, трещиностойкость и долговечность (ресурс). Отметим, что в разработанном оборудовании нашли отражение ряд оригинальных методов износоусталостных испытаний, реализовано около десятка патентов на такие методы [4, 8 – 10].

Основные технические характеристики ПИЦ приведены в таблице 1. Главные особенности ПИЦ – существенное уменьшение габаритных размеров, массы и потребляемой мощности, что, несомненно, отразится на рыночной стоимости и сделает его привлекательным для учреждений образования и соответствующего тиражирования.

Тарировка измерительных каналов информационно-управляющей системы ПИЦ позволяет привести в соответствие напряжение, полученное в канале, и измеряемую физическую величину. При этом рассчитываются и хранятся в базе данных необходимые коэффициенты пересчета.

При проведении тарировки на конкретный датчик или первичный преобразователь оказывается воздействие, величина которого определяется стандартными измерительными приборами. Затем сличаются результаты определения

величины воздействия, полученные при ее измерении стандартным измерительным прибором и автоматизированной системой управления испытательной центра. Перечень приборов, используемых при тарировке, приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Основные технические характеристики ПИЦ

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Диаметр рабочей части образца (вала), мм	6
2.	Габаритные размеры контрообразца ролика (диаметр), мм	60
3.	Основные пара трения	цилиндр - ролик
4.	Частота вращения образца, мин ⁻¹	3000
5.	Допускаемая погрешность поддержания частоты вращения образца (контрообразца) в установившемся режиме, %	±1,5
6.	Абсолютная погрешность фиксации наработки (число оборотов вала образца, число циклов нагружения) до момента достижения предельного состояния, оборот	±1
7.	Способ задания контактной и изгибающей нагрузок	программно - регулируемый
8.	Диапазон задания контактных нагрузок, Н (МПа)	5...700 (500...6000)
9.	Диапазон задания изгибающих нагрузок, Н (МПа)	5...700 (15...2000)
10.	Допускаемая погрешность поддержания контактной и изгибающей нагрузок в установившемся режиме, %	±1
11.	Диапазон измерения момента трения, Н·м	0,2...10
12.	Допускаемая погрешность измерения момента трения, в установившемся режиме, %	±1
13.	Диапазон измерения суммарного износа (сближения осей) образца и контрообразца, мкм	5...3000
14.	Допускаемая погрешность измерения суммарного износа (сближения осей) образца и контрообразца, мкм	±15 в диапазоне 0...500; ±30 в диапазоне 500...300
15.	Диапазон измерения вибрации уровень, дБ	50...150
16.	Допускаемая погрешность измерения вибрации, %	±1
17.	Диапазон измерения температуры в зоне контакта или в произвольной области образца (контрообразца), °С	10-1000
18.	Допускаемая погрешность измерения температуры, %	±3
19.	Количество точек замера контактной и изгибающей нагрузок, суммарного износа (сближения осей), вибрации, температуры за 1 оборот образца	8; 12; 16
20.	Установленная мощность электрооборудования, кВт, не более	1
21.	Информационно-управляющая система сбора и обработки данных	автономная на базе ПЭВМ
22.	Число каналов управления (включая резервные)	8
23.	Число измерительных каналов (включая резервные)	до 16
24.	Экранный интерфейс пользователя	диалоговый графический

Проверка диапазона задания частоты вращения образца и определение погрешности системы задания частоты вращения производится при помощи цифрового тахометра TESTO 470 или аналога. Измерение частоты вращения необходимо произ-

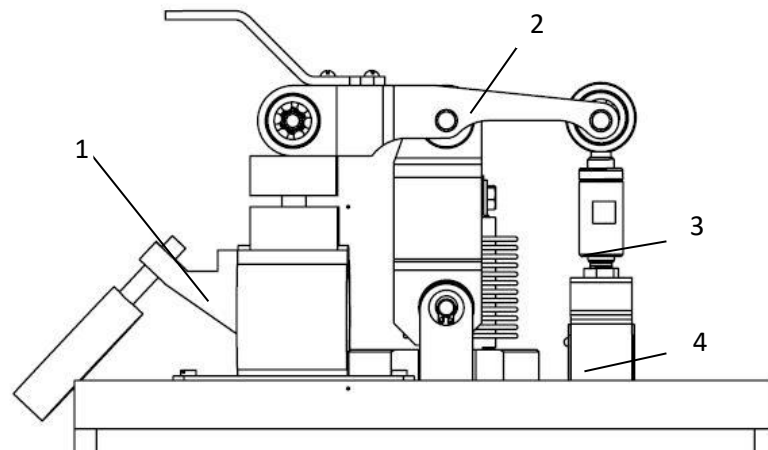
водить не менее четырех раз. Погрешность системы задания частоты вращения определяется по формуле:

$$\delta = [(\omega_3 - \omega_{\text{изм}})/\omega_3] \cdot 100\% , \quad (1)$$

где δ – погрешность в %; ω_3 – заданная частота вращения; $\omega_{\text{изм}}$ – частота вращения, измеренная тахометром.

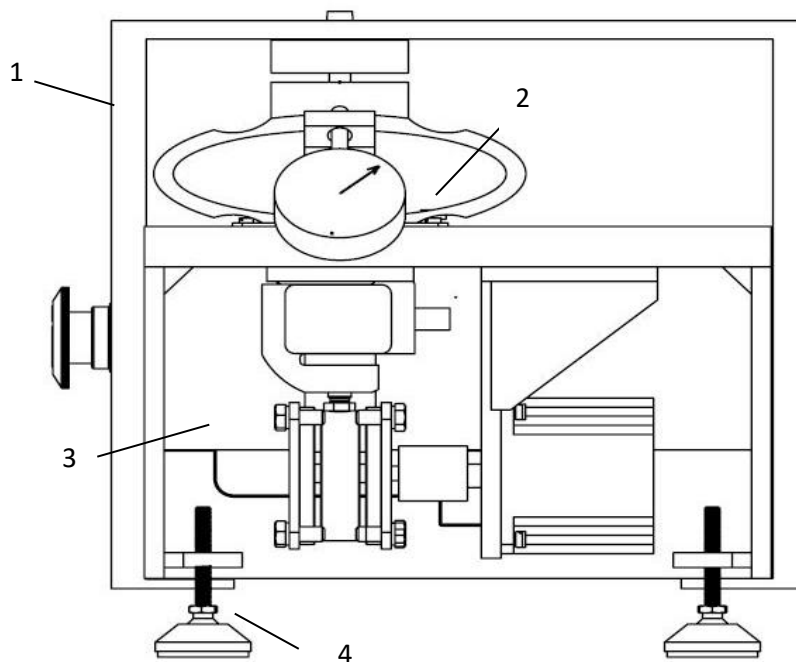
Погрешность при каждом измерении во всем диапазоне не должна превышать $\pm 2\%$.

Тарировка каналов механизмов контактной нагрузки и изгибающей нагрузки с датчиком силы С2А тензометрическим и проверка погрешности этих механизмов проводится с помощью образцового динамометра ДОСМ-3-1. Установка приспособления и динамометра при тарировке механизма контактной нагрузки показана на рисунке 1, а при тарировке изгибающей нагрузки – на рисунке 2.



1- динамометр образцовый; 2- рычаг механизма контактной нагрузки; 3- стяжка; 4- датчик силы

Рис. 1. Схема приспособления для тарировки системы измерения контактных нагрузок



1- кронштейн; 2- динамометр образцовый; 3- датчик силы; 4- привод механизма изгибающих нагрузок

Рис. 2. Схема приспособления для тарировки системы измерения изгибающих нагрузок

Величина нагрузки задается программой в ручном режиме управления (рисунок 3). Доводка нагрузки также может осуществляться вручную с помощью стяжки или упорного винта (см. рисунки 1, 2). Измерения проводят в точках 100; 300; 500; 600 Н динамометром ДОСМ-3-1.

Таблица 2 – Перечень приборов, используемых при тарировке ПИЦ

Наименование операции	Наименование прибора
Тарировка датчика контактной нагрузки.	Образцовый динамометр 3-го разряда ДОСМ-3-1 ГОСТ 9500-84.
Тарировка датчика изгибающей нагрузки.	Образцовый динамометр 3-го разряда ДОСМ-3-1 ГОСТ 9500-84.
Тарировка датчика силы трения.	Образцовый динамометр 3-го разряда ДОСМ-3-0,05 ГОСТ 9500-84.
Тарировка датчика перемещений (износа).	Индикатор 2-МИГ ГОСТ 9696-82, штатив ШМ-ПН-8, стойка С-Ш (ГОСТ 10197-70), концевые меры длины 2Н-1 (ГОСТ 9038-83)
Тарировка диапазона частоты вращения образца	Цифровой тахометр TESTO 470; предел измерений 1 - 99 999 об/мин, погрешность $\pm 0,02$ %.

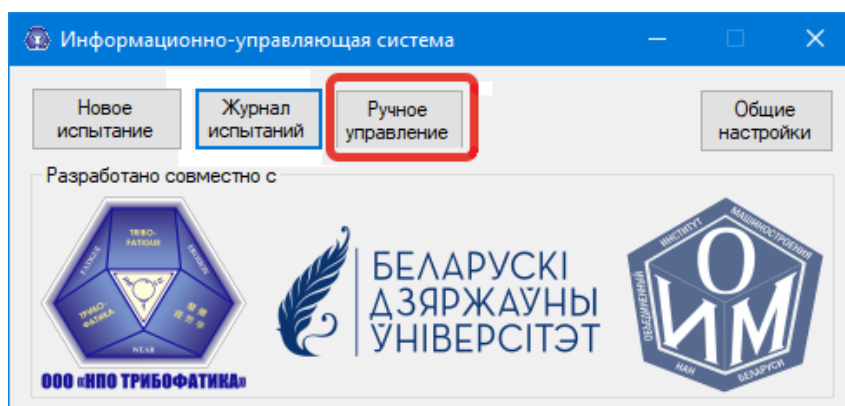


Рис. 3. Кнопка «Ручное управление» для открытия окна «Ручное управление» в главном окне программы

В программе переходим в режим тарировки (Меню «Ввод данных» -«Тарировка») и выбираем канал «Контактная нагрузка» или «Изгибающая нагрузка». С помощью кнопок управления механизмами нагрузок, также стяжки или упорного винта, добиваются, чтобы шарик динамометра касался соответствующего механизма нагрузки, при этом на шкале динамометра стрелка должна указывать на 0.

Измерение в каждой точке проводится не менее четырех раз, как при увеличении нагрузки, так и при разгрузке.

Погрешность определяется по формуле:

$$\delta = [(P_{ст} - P_{дин})/P_{пред}] \cdot 100\% , \quad (2)$$

где δ – погрешность в %; $P_{ст}$ – нагрузка, измеренная ПИЦ, Н; $P_{дин}$ – нагрузка, измеренная динамометром образцовым, Н; $P_{пред}$ – предельное значение диапазона измерений нагрузки для ПИЦ, Н.

Погрешность в каждой точке любого диапазона при каждом измерении не должна превышать $\pm 3\%$.

Тарировка канала измерения силы трения с датчиком силы NSX-A30kg тензометрическим и проверка погрешности системы измерения силы трения при качении (испытания на контактную и контактно-механическую усталость) и при скольжении (испытания на фрикционную и фрикционно-механическую усталость) проводится с помощью образцового динамометра ДОСМ-3-0,05.

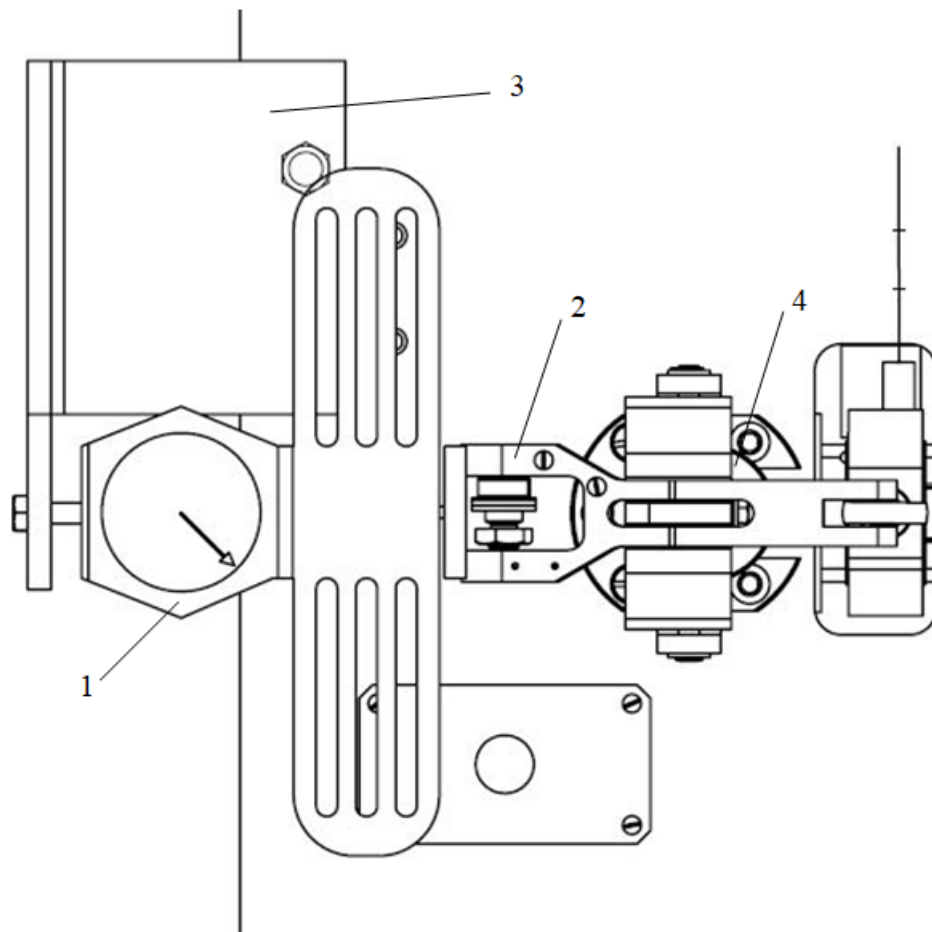
Величину силы, имитирующей трение, устанавливают с помощью

приспособления с винтом (рисунок 4), контролируя ее по образцовому динамометру ДОСМ-3-0,05.

Измерения проводят в точках 50; 100; 150; 250 Н с помощью датчика силы НSХ-А30kg, в каждой точке измерение проводят не менее четырех раз, как при увеличении нагрузки, так и при разгрузке. Погрешность определяют по формуле:

$$\delta = [(F_{ст} - F_{дин})/F_{пред}] \cdot 100\% , \quad (3)$$

где δ – погрешность в %; $F_{ст}$ – сила, измеренная датчиком ПИЦ, Н; $F_{дин}$ – сила, измеренная динамометром образцовым, Н; $F_{пред}$ – предельное значение диапазона измерений силы трения для ПИЦ, Н.



1- динамометр образцовый; 2- механизм контактных нагрузок; 3- кронштейн; 4- датчик силы измерителя силы трения

Рис. 4. Схема приспособления для тарировки системы измерения силы трения

Погрешность в каждой точке любого диапазона при каждом измерении не должна превышать $\pm 1\%$.

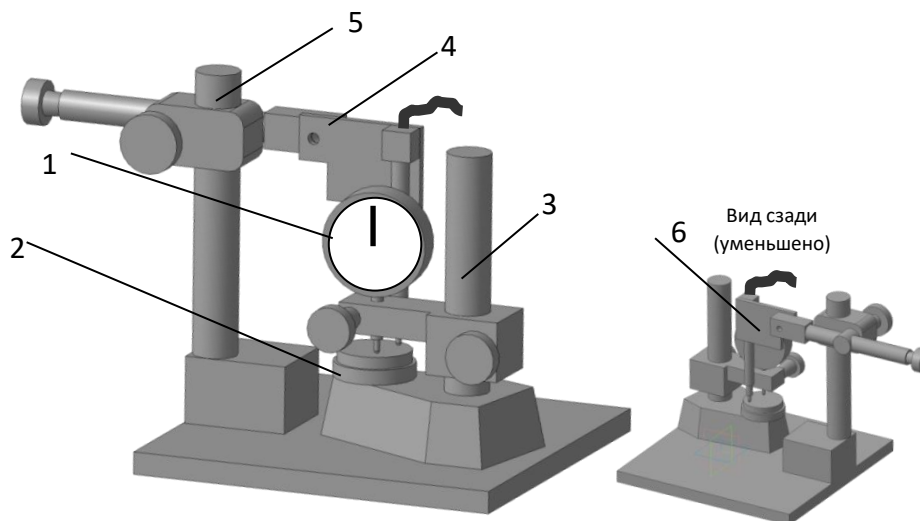
Тарировку и определение погрешности системы измерения перемещений с датчиком модели 1-WI/5MM-T производят при помощи индикатора 2-МИГ ГОСТ 9696-82, штатива ШМ-ПН-8, стойки С-Ш, плиты притирочной ГОСТ 10905-86, концевых мер длины 2Н-1 ГОСТ 9038-83 или аналогов. Установка приспособлений, индикаторных головок и штатива показана на рисунке 5. Значение показания индикаторной головки 1 устанавливают в «0». В ручном режиме управления выбирают канал измерения перемещений. Показания в графе «Значение» принимаются за «Ноль». Если в программе предусмотрено обнуление начальных показаний графы «Значение», то следует обнулить эти показания. Плавно вращая винт регулировки высоты

измерительного столика 2 стойки С-Ш 3 (см. рисунок 5), устанавливают показания индикаторной головки в контрольную точку. Результатом наблюдения считается величина, равная разности показания в графе «Значение» в контрольной точке и показания в графе «Значение», принятого за «Ноль».

Измерения проводят в точках 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Измерения в каждой точке проводят не менее четырех раз как при движении столика вверх, так и при движении вниз. Погрешность определяют по формуле:

$$\Delta = L_{ст} - L_{дин}, \quad (4)$$

где Δ – погрешность в мкм; $L_{ст}$ – показания перемещения, измеренного ПИЦ, мкм; $L_{дин}$ – значение перемещения по индикатору, мкм.



1-головка измерительная; 2- винт регулировки высоты измерительного столика; 3- стойка С-Ш; 4 – датчик модели 1-WI/5MM-T; 5- штатив; 6- кронштейн

Рис. 5. Схема приспособления для определения погрешности системы измерения перемещений

Погрешность при каждом измерении не должна превышать ± 20 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сосновский, Л.А. *Механика износоусталостного повреждения* / Л.А. Сосновский. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 434 с.
2. *Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика)*. Науч. редактор Сосновский Л.А. / Л.А. Сосновский, В.Т. Троценко, Н.А. Махутов, Гао Ван-Чжэн, А.В. Богданович, С.С. Щербаков. – Гомель, Киев, Москва, Ухань, 2001. – 170 с.
3. Щербаков, С.С. *Механика трибофатических систем* / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский. – Минск: БГУ, 2010. – 407 с.
4. Сосновский, Л.А. *Методы износоусталостных испытаний силовых систем и их моделей* / Л.А. Сосновский // *Трение и износ*. – 1993. - № 5. – С. 937 – 952.
5. Высоцкий, М.С. *Трибофатика – новые пути для повышения надежности машин* / М.С. Высоцкий, В.Н. Корешков, В.А. Марченко, Л.А. Сосновский, В.И. Стражев // *Весці АНБ. Серыя фіз.-тэхн. навук*. – 1994. - № 4. – С. 32 – 41.
6. *Трибофатика-95 : ежегодник* / под общ. ред. Л.А. Сосновского // Вып. 1 : *Машины серии СИ для износоусталостных испытаний* / под ред. М.С. Высоцкого / Ф.Ю. Белиц [и др.]. – Гомель : НПО «ТРИБОФАТИКА», 1996. – 80 с.

7. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования (Стандарт Беларуси) : СТБ 1067–97. – Введ. 01.01.1998. – Мн. : ГОССТАНДАРТ, 1997. – 10 с.
8. *Methods and Main Results of Tribo-Fatigue Tests* / L.A. Sosnovskiy [et al.] // *International Journal of Fatigue*. – 2014. – V. 66. – P. 207–219.
9. Методы износоусталостных испытаний и их реализация на машине СИ / Н.А. Махутов [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1995. – № 6. – С. 17–42.
10. Сосновский, Л.А. Экспериментальные основания трибофатики. Сообщения 1-3 / Л.А. Сосновский // Проблемы прочности. – 1997. – № 3. – С. 74–82. – № 4. – С. 17–29.