

4. Развитие теории контактных задач в СССР / Под общ. ред. Л.А. Галина и др. – М. : Наука, 1976. – 492 с.
5. Трение, изнашивание и смазка : Справочник. В 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М. : Машиностроение, 1978. – Кн. 1. 1978. – 400 с.

**Bibliography:**

1. Contact tasks of theory of resiliency / Mossakovskiy V.I. and other. – К. :Naukova dumka, 1985. – 176 p. (Rus.)
2. Reference book of machine builder. Т. III / Under rel. S.V. Serensen, N.S. Achercan. – М. : GNTIML, 1951. – 1098 p. (Rus.)
3. Galin L.A. Contact tasks of theory of resiliency. – М. : Gostehizdat, 1953. – 264 p. (Rus.)
4. Development of theory of contact tasks in USSR / Under rel. L.A. Galin and as. – Science, 1976. – 492 p. (Rus.)
5. Friction, wear and greasing: Reference book. In 2 b. / Under rel. I.V. Kragelskiy, V.V. Alisin. – М. : Mashinostroenie, 1978. – В. 1. 1978. 400 p. (Rus.)

Рецензент: В.М. Кравченко  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 6.02.2012

УДК 621.9.014.2

©Ищенко А.А.<sup>1</sup>, Ширяев А.В.<sup>2</sup>, Фесенко Е.А.<sup>3</sup>, Ширяев И.А.<sup>4</sup>

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОКОЯ ПЛАСТМАСС  
СО СТАЛЬЮ**

*Рассмотрены результаты экспериментального исследования коэффициента трения покоя в контакте образцов из оптически-активного материала на основе эпоксидной смолы ЭП-40 со стальной плоскостью. Приведена конструкция установки типа «наклонная плоскость» для исследования коэффициентов трения образцов из различных материалов. Предложены экспериментальные зависимости для определения коэффициентов трения эпоксидной смолы по металлу при различных контактных напряжениях.*

**Ключевые слова:** контакт, напряжения, коэффициент трения, наклонная плоскость, эпоксидная смола.

**Ищенко А.О., Ширяев О.В., Фесенко Є.О., Ширяев І.О.** Дослідження коефіцієнта тертя спокою пластмас зі сталлю. Розглянуті результати експериментального дослідження коефіцієнта тертя спокою в контакті зразків з оптично-активного матеріалу ЕП-40 із сталевую площиною. Приведена конструкція установки типу «площина, похилої», для дослідження коефіцієнтів тертя зразків з різних матеріалів. Запропоновані експериментальні залежності для визначення коефіцієнтів тертя ЕП-40 по металу при різних контактних напругах.

**Ключові слова:** контакт, напруги, коефіцієнт тертя, площина, похилої, епоксидна смола.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> студент гр. МЗ-07, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

*A.O. Ischenko, O.V. Shiryayev, E.O. Fesenko, I.O. Shiryayev. Research of coefficient of friction of rest of plastics with steel. The results of experimental research of coefficient of friction of rest are considered in the contact of standards from optically-active material, made of EP-40 epoxy resin with a steel plane. Attached was the design of a unit of «inclined plane» of type is for research of coefficients of friction of standards from different materials. Offered experimental to dependence for determination of coefficients of friction of on EP-40 a metal at different contact tensions.*

**Keywords:** contact, tensions, coefficient of friction, ramp.

**Постановка проблеми.** Напряжения, возникающие при взаимодействии упругих тел, зависят от сил трения на контактной поверхности. А при исследовании напряженного состояния с применением оптически-активных материалов на основе эпоксидных смол в расчётах обязательно необходимо учитывать эти напряжения. Кроме того, в связи с широким применением композитов для ремонта металлургических агрегатов, определение коэффициентов трения композиционных материалов, влияние трения на напряженное состояние является важной научной проблемой.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Основы науки о трении были заложены выдающимися учеными, такими, как Кулон, Эйлер, Паран и др. В разное время исследованиями процессов, происходящих в контакте скользящих тел занимались В.С. Щедров, Г.И. Трояновский, А.В. Чичинадзе и многие другие. Наиболее полные исследования трения и закономерностей изменения коэффициентов трения под действием различных факторов является Крагельский И.В. [2, 4]. Им были исследованы и обоснованы зависимости коэффициентов трения в контакте различных пар материалов. Несмотря на достаточное количество работ, посвященных трению, в результате литературного обзора не найдены данные о значениях коэффициентов трения композитных материалов на основе эпоксидных смол, а также отсутствуют исследования закономерности его изменения при различных контактных давлениях.

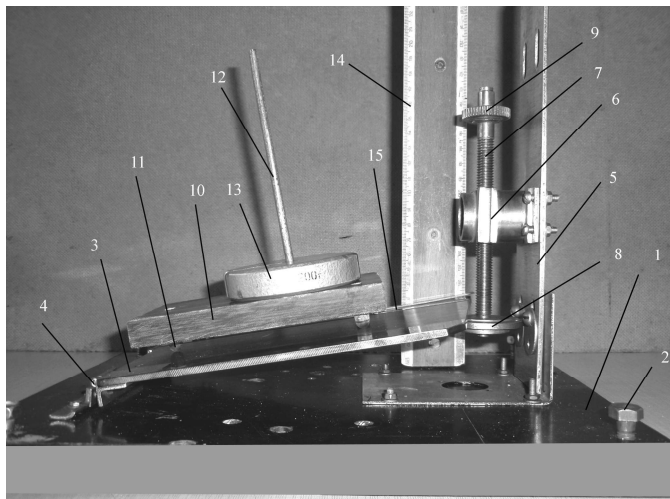


Рис. 1 – Схема установки для исследования коэффициента трения покоя

**Цель статьи** – экспериментальное исследование коэффициента трения покоя в контакте тел, изготовленных из материалов на основе эпоксидной смолы, со стальными деталями.

**Изложение основного материала.** Исследования коэффициента трения покоя проводились на установке типа «наклонная плоскость», спроектированной и изготовленной в лаборатории кафедры МОЗЧМ ПГТУ. Фотография экспериментальной установки представлена на рис.1. На основании 1 закреплён шарнир 4, позволяющий пластине 3 изменять угол наклона. Вертикальное перемещение осуществляется ходовым винтом 7 через фланец 8, вращающимся в неподвижной гайке 6. Гайка закреплена на стойке 5. Вращение винта осуществляется колесом 9. Каретка 19 с тремя сферическими образцами 11 (радиус сферы – 4 мм) может устанавливаться на две полированные дорожки или на шлифованную плоскость пластины 3. На каретке расположен нагрузочный штырь 12, на который надеваются грузы 13. Расположение штыря (1/3 от двух линейно расположенных образцов) обеспечивает равномерное распределение нагрузки на каждый образец.

Замер геометрических размеров для расчёта угла наклона производится по перемещаемым линейкам 14 и 15, закреплённых вертикально и на плоскости. Горизонтально основание 1 выставляется опорными винтами 2 при помощи уровня.

Для проведения эксперимента по замеру коэффициента трения скольжения покоя на об-

разцах из материала на основе эпоксидной смолы, была разработана специальная методика. Устройство устанавливалось на массивную плиту верстака, основание при помощи уровня выставлялось горизонтально в двух перпендикулярных направлениях. Подъёмная пластина перемещалась в крайнее нижнее положение. Линейки выставлялись нулевым делением на поверхность пластины и на ось шарнира и закреплялись. Сферические поверхности образцов и рабочие дорожки пластины обезжиривались медицинским спиртом. Каретка устанавливалась образцами либо на полированные дорожки, либо на шлифованную плоскость, на штырь надевались требуемые грузы.

Затем край пластины перемещался вверх до начала движения, или поворота каретки. По линейке 14 отсчитывалось вертикальное перемещение пластины  $h$ , а по линейке 15 – длину  $L$  наклонной плоскости. Угол наклона пластины к горизонту, равный углу трения: а коэффициент трения:

$$\rho = \arcsin\left(\frac{h}{L}\right), \tag{1}$$

$$f = \operatorname{tg}(\rho) \tag{2}$$

Контактное напряжение по формулам Герца [3]:

$$\sigma_{z \max} = 0,918 \sqrt[3]{\frac{P_{обр}}{D^2 \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}} \left(\frac{\text{кг}^2}{\text{см}^2}\right), \tag{3}$$

где  $P_{обр} = P/3$  – нагрузка на один образец (кГ),

$P = P_{гр} + P_{кар}$  – вес грузов и каретки (кГ),

$P_{кар} = 0,255$  кГ;

$D = 0,8$  см – диаметр кривизны образца;

$\mu_1 = 0,3$ ;

$E_1 = 2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup> – коэффициент Пуассона и модуль продольной упругости стальной плоскости;

$\mu_2 = 0,37$ ;

$E_2 = 3 \cdot 10^4$  кг/см<sup>2</sup> – коэффициент Пуассона и модуль продольной упругости образцов из эпоксидной смолы [5].

Эксперимент повторялся 4-5 раз на каждом уровне нагружения. Результаты экспериментального исследования приведены в таблице и на рис. 2.

Таблица

Изменение коэффициента трения покоя в зависимости от контактного напряжения

Материал образца-материал плоскости	Напряжение в контакте, кг/см <sup>2</sup> , (10 <sup>-1</sup> МПа)	Средний коэффициент трения
Эпоксидная смола – шлифованная сталь	839,693	0,132
	1020,83	0,118
	1153,69	0,111
Эпоксидная смола – полированная сталь	493,65	0,118
	839,693	0,089
	1020,83	0,081
	1153,69	0,075
	1261,46	0,061

Средние значения коэффициента трения покоя на шлифованной поверхности при максимальном контактом давлении 102 МПа (1020,8 кг/см<sup>2</sup>) составило 0,118, а для полированной при этом же давлении – 0,081. По результатам экспериментов выполнена линейная аппроксимация и построены графики изменения коэффициента трения от напряжения в контакте (рис. 2).

Для шлифованной поверхности эмпирическая зависимость имеет вид:

$$f=0,187-6,632 \cdot 10^{-5} \sigma_{zmax}. \quad (4)$$

и является функцией убывающей.

Для полированной поверхности коэффициент трения с увеличением давления в контакте также понижается и описывается уравнением:

$$f=0,151-7,0342 \cdot 10^{-5} \sigma_{zmax}. \quad (5)$$

Как видно из графика, зависимости для шлифованной и полированной поверхности практически параллельны, что свидетельствует о сходности процессов, происходящих в контакте эпоксидных образцов и стальной плоскости.

Схожие закономерности были получены и в ряде исследований [4] при скольжении резины по стали и оргстекла по стали.

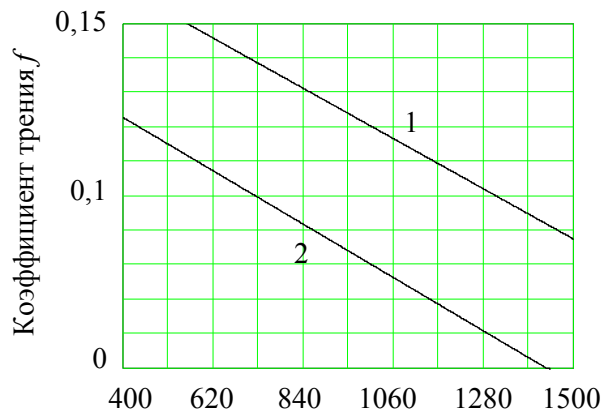
### Выводы

1. Сконструирована и изготовлена установка для исследования коэффициента трения покоя типа «наклонная плоскость».

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований изменения коэффициента трения в контакте сфера-плоскость.

3. Определены средние значения коэффициента трения скольжения образца из эпоксидной смолы по шлифованной и полированной стальной плоскости при контактном напряжении 102 МПа. Их величина составила 0,118 и 0,081 соответственно.

Рис. 2 – Графики изменения коэффициента трения от напряжения в контакте для шлифованной (1) и полированной (2) поверхностей



Максимальное контактное напряжение  $\sigma_{zmax}$ , МПа

4. Получены эмпирические зависимости коэффициента трения эпоксидной смолы от контактного напряжения для шлифованной и полированной стальных плоскостей:

$$f=0,187-6,632 \cdot 10^{-5} \sigma_{zmax}; \quad f=0,151-7,0342 \cdot 10^{-5} \sigma_{zmax}.$$

### Список использованных источников:

1. Фролов К.В. Современная трибология: итоги и перспективы. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
2. Крагельский И.В., Щедров В.С. Развитие науки о трении: сухое трение. – М. : Издательство академии наук СССР, 1956. – 237 с.
3. Справочник машиностроителя. Том 2. Под редакцией Чудакова Е.А., М. : ГНТИМЛ, 1951. – 1080 с.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. – М. : Машгиз, 1962. – 384 с.
5. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. – М. : Металлургия, 1967. – 388 с.

### Bibliography:

1. Frolov K.V. Modern tribology: results and prospects. – M. : P. H. of LKI, 2008. – 480 p.
2. Kragelskiy I.V., Scedrov V.S. Development of sciences about a friction : dry friction. – M. : P. H. of academy of sciences of USSR, 1956. – 237 p.
3. Reference book of machine builder. T. 2. Edit. Chudakov E.A., M. : GNTIML, 1951. – 1080 p.
4. Kragelskiy I.V. Friction and wear. – M. : Mashgiz, 1962. – 384 p.
5. Poluhin P.I., Zheleznov Y.D., Poluhin V.P. Thin-sheet rolling and service of rollers. – M. : Metallurgy, 1967. – 388 p.

Рецензент: В.М. Кравченко  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 6.02.2012