

Научная статья
УДК 539.621

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ПОЛИУРЕТАНАМИ

Михаил Евгеньевич Сметанин¹, Сергей Николаевич Исаков²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ a28404082@gmail.com

² isakovsn@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены области использования полиуретанов. Описана лабораторная установка по определению силы трения. Проведен эксперимент и рассчитаны коэффициенты трения между различными марками полиуретана.

Ключевые слова: сила и коэффициент трения, полиуретан, применение полиуретана

Для цитирования: Сметанин М. Е., Исаков С. Н. Определение коэффициента трения между полиуретанами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 695–699.

Original article

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION BETWEEN POLYURETHANES

Mikhail E. Smetanin¹, Sergey N. Isakov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ a28404082@gmail.com

² isakovsn@m.usfeu.ru

Abstract. This article examines the applications of polyurethanes. A laboratory setup for determining frictional force is described. An experiment was conducted, and the friction coefficients between different grades of polyurethane were calculated.

Keywords: force and coefficient of friction, polyurethane, polyurethane application

For citation: Smetanin M. E., Isakov S. N. (2026) Opređenje koe`fficienta treniya mezhdu poliuretanami [Determination of the coefficient of friction between polyurethanes]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 695–699. (In Russ).

Полиуретан был открыт 1937 г. химиков Отто Байер, но широкое распространение он получил в 60-х гг. XX в. [1]. Полиуретан – это вещество из семейства полимеров, получается с помощью реакции соединения простых и сложных полиэфиров и диизоциантов, а также наполнителей и красителей. Соотношение компонентов определяет структуру и свойства материала.

Полиуретан благодаря своим свойствам применяют в различных отраслях [2]:

- тяжелая промышленность (ролики, втулки, виброизоляторы, шкивы и ремни, валы и т. д.);
- строительство (теплоишумоизоляция, герметики, монтажные пены, гидроизоляция, декор стен и наливные полы);
- автомобилестроение (кузовные части и элементы автомобиля: втулки, уплотнения и др.);
- медицина (эндропротезы, импланты, стоматологические конструкции, мембраны, перчатки, стельки и др.);
- легкая промышленность (эластичные ткани, элементы обуви и белья, упаковка и др.);
- мебельная индустрия (крепеж, наполнения, декор, фурнитура, клеи, пропитки и т. д.).

В целлюлозно-бумажной промышленности – широкое применение полиуретана в виде покрытия валов и роликов «обрезиновка», которые не только поддерживают бумагу (полотно, сукно, сетку) но и являются приводными, поэтому надо знать коэффициент трения.

Коэффициент трения определяется на лабораторной установке ТММ-32 [3–5], которая представлена на рис. 1.

Основной частью установки является каретка 3, имеющая поступательное движение на роликах 2 по основанию 14. Движение каретки осуществляется при помощи бесконечного троса 21, запасованного на ролики 18 и 22. Ролик 22 приводится во вращение от реверсивного электродвигателя через червячный редуктор. На каретке 3 крепятся сменные плиты 4, выполненные из различных марок полиуретана. Верхняя часть и служит одной из плоскостей трения. На плиту устанавливается испытуемый образец с грузом 5. Основания 6 образца – сменные диски, выполненные из разных марок полиуретана. Их нижняя поверхность служит второй плоскостью трения. Для проверки плоскости трения в горизонтальное положение основание снабжено

установочными винтами 17. Образец 5 перемещается с помощью жесткого троса 8, прикрепленного к плоской пружине 9, закрепленной на кронштейне 12. К кронштейну 12 прикреплен также индикатор часового типа 13, который измеряет отклонение пружинки. При движении каретки 3 влево образец 5, лежащий на каретке, стремится сдвинуться вместе с кареткой и тянет за собой через трос 8 и плоскую пружину 9. Она начинает изгибаться, развивает усилие, которое удерживает образец 5 на месте, при этом образец 5 скользит по плите 4.

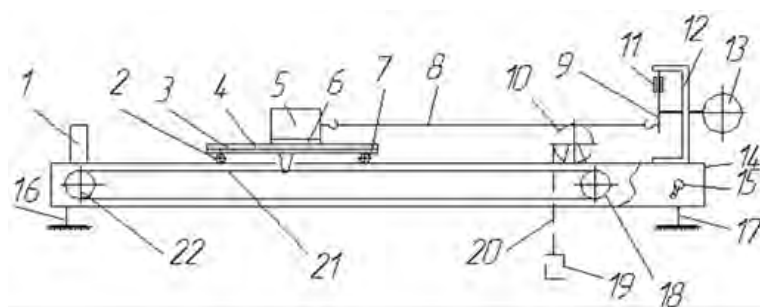


Рис. 1. Схема установки ТММ-32:

1 – упор каретки; 2, 7 – ролики каретки; 3 – каретка; 4 – сменные плиты;
5 – образец; 6 – основание каретки; 8 – трос; 9 – плоская пружина; 10 – барабан;
11 – подвес пружины; 12 – кронштейн; 13 – индикатор часового типа;
14 – основание; 15 – стопор; 16, 17 – установочный винт; 18, 22 – ролики пассива;
19 – груз; 20 – бесконечный трос; 21 – пассив

Расчет проводился по классической формуле определения коэффициента трения $f_{тр}$

$$f_{тр} = \frac{F_{тр}}{N},$$

где $F_{тр}$ – сила, требуемая для движения тела, т. е. сила трения Н;
 N – реакция опоры, Н.

Реакция опоры определяется как сумма массы груза и образца, умноженная на ускорение свободного падения.

Отсчет показания шкалы индикатора в миллиметрах по вспомогательной таблице переводится в ньютоны и дает величину силы трения. В силу скачкообразного характера трения и изменчивости его величины для различных участков плоскости плиты 4 отсчет значений величины силы трения визуально по шкале индикатора 13 сделать не удастся. Стрелка индикатора 13 довольно быстро колеблется в некотором диапазоне шкалы. Можно отметить крайние положения стрелки и соответствующее им среднее положение, следовательно, по индикатору 13 можно определить только среднее значение силы трения.

Исследуемые образцы – 4 разных марок полиуретана (рис. 2). Они отличаются по цвету и условно будут отличаться: прозрачный (Пр), желтый (Ж), белый (Б), красный (К).



Рис. 2. Образцы: две пластины (Ж и К), четыре диска (К, Ж, Б и Пр)

При измерении силы трения наблюдались ее колебания. Это связываем с автоколебаниями, непостоянством (отклонением) геометрии и др. В таблице представлены минимальные, максимальные и средние коэффициенты трения.

Коэффициент трения (минимальный, максимальный и средний различным парам трения)

Диск	Пластина	Коэффициенты трения		
		Мин.	Макс.	Среднее
Пр	Ж	0,78	0,83	0,81
Пр	К	0,63	0,69	0,66
Б	Ж	0,53	0,57	0,55
Б	К	0,27	0,35	0,31
Ж	Ж	0,63	0,70	0,66
Ж	К	0,85	0,91	0,88
К	Ж	0,56	0,71	0,63
К	К	0,27	0,30	0,29

По логике коэффициент трения должен зависеть от твердости. Чем выше жесткость, тем меньше вминается тело в тело и меньше «бурт», который надо преодолеть, чтобы сдвинуться. Есть нюанс: более мягкое тело «подстроится» и изогнется, чтобы максимально увеличить площадь соприкосновения. Это увеличит площадь (количество участков), на которой будут образовываться межатомные силы между различными телами. Будет увеличиваться адгезионная составляющая силы трения.

Найдем зависимости коэффициента трения и твердости полиуретана и представим зависимости в виде графиков (рис. 3).

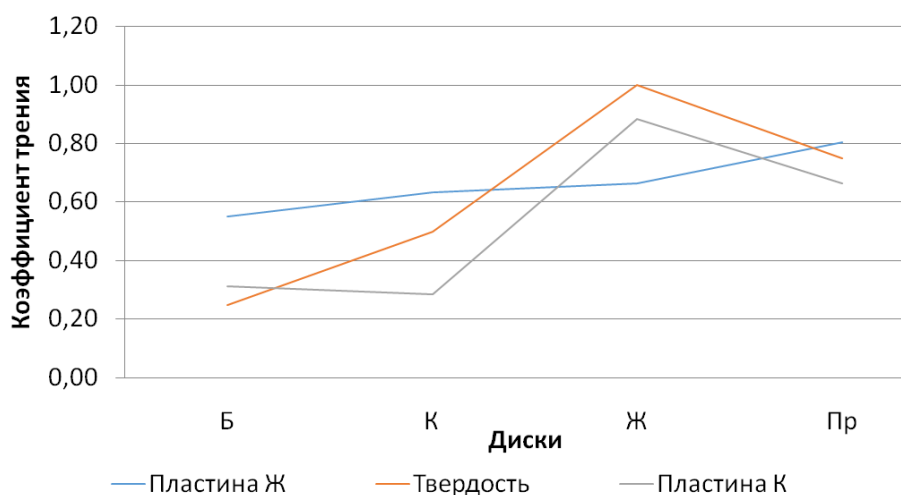


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента трения и твердости

В целом зависимость подтвердилась (тренд восходящий). Ожидалось, что трение на одинаковых полиуретанах будет повышено, но пока не подтвердилось.

В статье определены коэффициенты трения для пар трения «полиуретан-полиуретан» различных марок. Но в реальном производстве контакт идет с сеткой, суком и бумагой, а еще присутствует налипание пыли и частичек на поверхности или влажность поверхностей. Но эти факторы будут учтены в следующих исследованиях.

Список источников

1. История появления полиуретана, кто изобрел // Эластопласт : [сайт]. URL: <https://elastoplast.pro/articles/istoriyapoyavleniya-poliuretana> (дата обращения: 14.11.2025).
2. Что такое полиуретан и где его применяют // СИБУР : [сайт]. URL: <https://clck.ru/3RQuRz> (дата обращения: 14.11.2025).
3. Габайдуллина Э. И. Изучение граничного трения // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы X Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. С. 215–218.
4. Санников А. А., Исаков С. Н. Лабораторные работы по трибологии и триботехнике : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений 15.03.02, 23.03.02, 190109. Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. 46 с.
5. Ковалев К. И., Стафейчук Е. А., Исаков С. Н. Влияние обезжиривания поверхности на коэффициент трения // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2018. С. 272–275.