

УДК 621.822.1

Испытания антифрикционных материалов тяжело нагруженных подшипников скольжения

Мухсинов Булат Маратович¹,
главный инженер

mukhsinov.b@yandex.ru

Мухсинов Ринат Маратович¹,
директор

mrinatm@mail.ru

Ромашко Александр Мефодиевич²,
доцент кафедры, канд. техн. наук,
доцент

romashkoam@bmstu.ru

¹ ООО «ПКБ «Сокол», Москва, Россия

² Кафедра «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена вопросам обеспечения надежности тяжело нагруженных подшипников скольжения, широко применяемых в мостостроении и других областях для восприятия значительных нагрузок и при малых скоростях скольжения. Актуальность работы обусловлена отсутствием в Российской Федерации необходимой нормативной базы и специализированных испытательных лабораторий. Целью исследования являлась отработка методики трибологических испытаний антифрикционных материалов, определение статических и динамических коэффициентов трения в соответствии с требованиями национальных и международных стандартов, а также разработка рекомендаций для национальных нормативных документов. Испытания проведены на специально спроектированном стенде, позволяющем моделировать необходимые условия работы. Пара скольжения состояла из полированной нержавеющей стали и образца сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Результаты, полученные в ходе выполнения экспериментов, соответствуют результатам ведущих международных лабораторий. На основе проведенной работы отработана методика испытаний, что подтверждает возможность создания в Российской Федерации полноценной испытательной базы для сертификации материалов тяжело нагруженных подшипников скольжения и формирования необходимой национальной нормативной документации.

Ключевые слова: тяжело нагруженные подшипники скольжения, трибологические испытания, коэффициент трения, антифрикционные полимеры, испытательный стенд, нормативная база

Testing of heavy-duty antifriction materials sliding bearings

Mukhsinov Bulat Maratovich¹,
Chief Engineer

mukhsinov.b@yandex.ru

Mukhsinov Rinat Maratovich¹,
Director

mrinatm@mail.ru

Romashko Alexander Methodievich²,
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

romashkoam@bmstu.ru

¹ PKB Sokol LLC, Moscow, Russia

² Department of Lifting and Transport Systems of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract. The article is devoted to the issues of ensuring the reliability of heavily loaded sliding bearings, which are widely used in bridge construction and other fields for handling significant loads and at low sliding speeds. The relevance of the work is due to the lack of the necessary regulatory framework and specialized testing laboratories in the Russian Federation. The purpose of the study was to develop a methodology for tribological testing of antifriction materials (using the example of UHMWPE), to determine static and dynamic coefficients of friction in accordance with the requirements of national and international standards, as well as to develop recommendations for national regulatory documents. The tests were carried out on a specially designed stand, which makes it possible to simulate the necessary working conditions. The slide pair consisted of polished stainless steel and a UHMWPE sample. As a result of the experiments performed, the data obtained correspond to the results of leading international laboratories. Based on the work carried out, the testing methodology has been developed, which confirms the possibility of creating a full-fledged testing base in Russia for the certification of materials for heavy-duty plain bearings and the formation of the necessary national regulatory documentation.

Keywords: heavy-duty sliding bearings, tribological tests, coefficient of friction, antifriction polymers, test bench, regulatory framework

Введение. Тяжелонагруженные подшипники скольжения находят широкое применение в различных механизмах. Особенно часто встречаются при необходимости перемещения тяжелых объектов и при необходимости организации опор протяженных конструкций, для восприятия температурных перемещений. Например, в строительной сфере, или в специальных подъемных сооружениях большой грузоподъемности. Такие подшипники как правило воспринимают большие нагрузки от 1 000 кН до 100 000 кН и малыми скоростями перемещения до 15–20 мм/с. Примеры механизмов с подобными подшипниками скольжения:

- устройства временного опирания при конвейерно-тыловой сборке мостов представлена на рис. 1;

- опорные узлы протяженных конструкций для реализации перемещений от различных нагрузок, в том числе вследствие температурных деформаций, показанные на рис. 2.

Выход из строя таких подшипников может привести к существенным экономическим потерям, исчисляемым миллиардами рублей. Для снижения

риска нештатной работы указанных подшипников помимо проведения расчетов и выбора корректной методики проектирования принято проводить сертификационные и приемо-сдаточные испытания материалов пары скольжения. Сложностью выполнения таких испытаний до недавнего времени было отсутствие на территории Российской Федерации лаборатории со специальным трибологическим оборудованием и отсутствие отечественной нормативной базы.

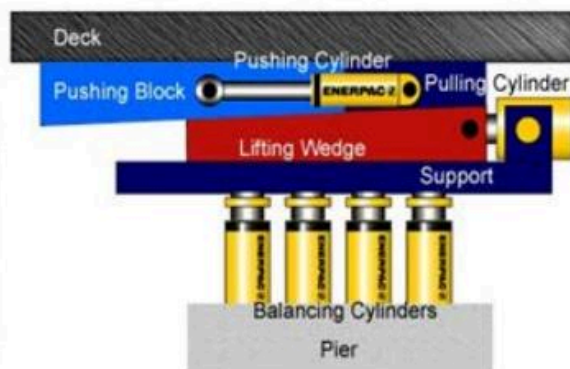


Рис. 1. Устройства временного опирания при конвейерно-тыловой сборке мостов

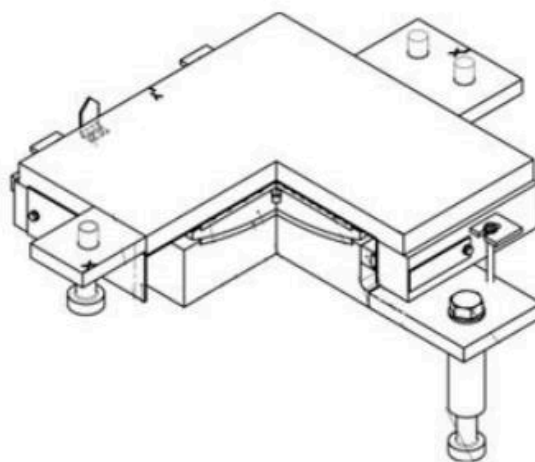


Рис. 2. Опорные узлы протяженных конструкций для реализации перемещений от нагрузок, в том числе температурных

Материалы. Пара скольжения состоит из полированной нержавеющей стали аустенитно класса с шероховатостью до Ra0.1 и антифрикционного материала, чаще всего термопласта на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) или сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с применением кремнийорганической смазки; значительно реже применяются другие материалы, но они не являются предметом данной публикации.

Особенности исследуемой пары скольжения:

- экстремально низкий коэффициент трения от 0,001 до 0,080;
- высокая износоустойчивость, срок службы подшипников достигает 50 лет, а накопленный суммарный пробег до 50 км;
- антифрикционный материал термопластичен, поэтому его свойства существенно зависят от температуры, в том числе в «климатическом диапазоне».

Испытания. Цели испытания:

- отработка методики трибологических испытаний (определение коэффициентов трения, интенсивности изнашивания и др.) полимерных антифрикционных материалов (ПТФЕ, СВМПЭ и др.);
- определение статических и динамических коэффициентов трения в соответствии с требованиями национальных стандартов [1] и с учетом методик, изложенных в международных нормативах [2–4];
- разработка рекомендаций для создаваемых национальных стандартов с требованиями к сертификационным испытаниям антифрикционных материалов подшипников скольжения.

Краткая характеристика испытаний:

- образцы: два диска диаметром 75 мм, СВМПЭ;
- давление в паре скольжения — 60 МПа;
- скорость перемещения — 15 мм/с;
- суммарное перемещение — более 10 км.

Испытательное оборудование. Испытательный стенд спроектирован и изготовлен сотрудниками ООО «ПКБ «Сокол».

Основные элементы стенда:

- гидравлический пресс с образцедержателями для образцов антифрикционного материала;
- рама, обеспечивающая возможность возвратно-поступательного движения образца посредством гидроцилиндра;
- скользящая плита с установленными на ней листами из полированной нержавеющей стали аустенитного класса (контробразец);
- средства измерения: тензодатчики, оптический датчик перемещения, температурный датчик в зоне скольжения;
- система поддержания установленной температуры в зоне скольжения;
- аппаратное и программное обеспечение для сбора и хранения данных.

Фотография стенда представлена на рис. 3.

Результаты испытаний. Зафиксированные коэффициенты трения:

- первой подвижки — 0,009;
- минимальный/максимальный статический — 0,007/0,012;
- минимальный/максимальный динамический — 0,006/0,010.

График изменения коэффициентов трения в зависимости от пробега представлен на рис. 4.

График коэффициентов трения характерных зон А, Б, В, обозначенных на рис. 4 представлены соответственно на рис. 5–7.



Рис. 3. Стенд для проведения трибологических испытаний

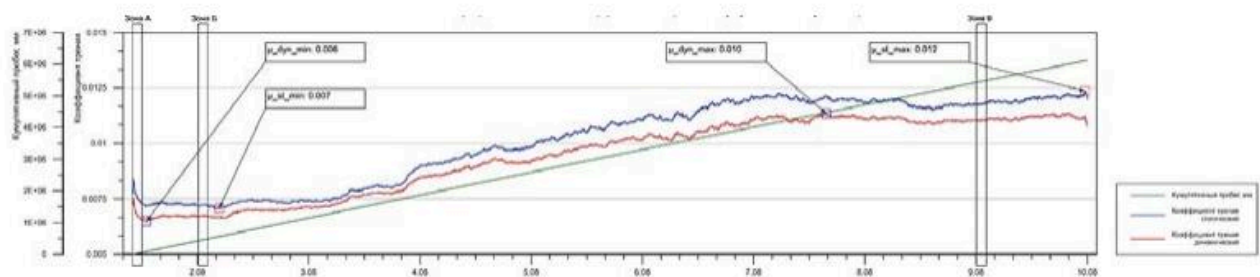


Рис. 4. График зависимости коэффициентов трения и кумулятивного пути от времени

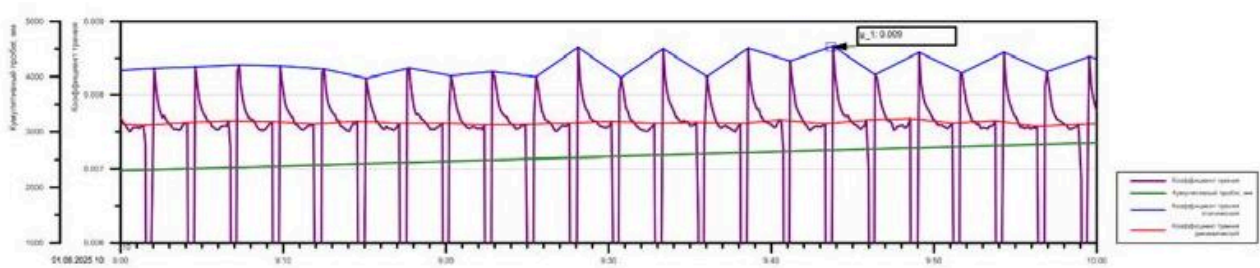


Рис. 5. График зависимости коэффициентов трения и кумулятивного пути от времени. Зона А

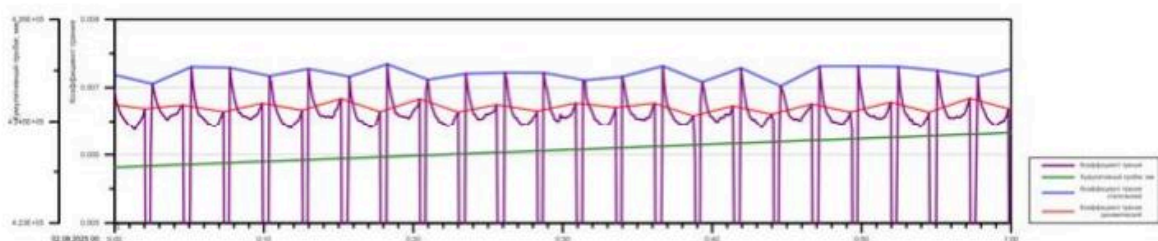


Рис. 6. График зависимости коэффициентов трения и кумулятивного пути от времени. Зона Б

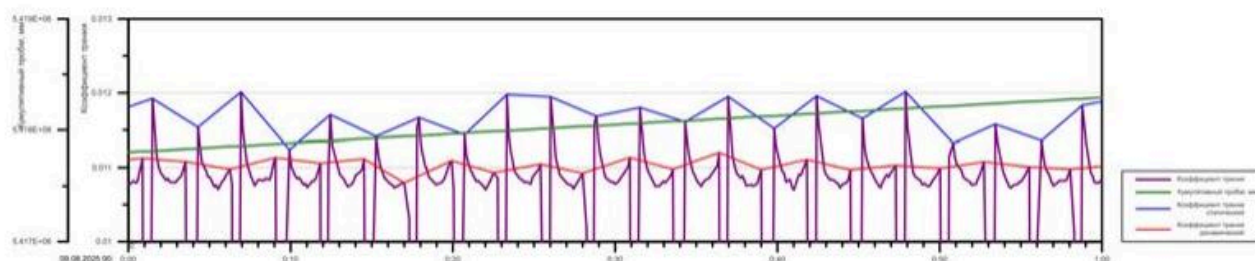


Рис. 7. График зависимости коэффициентов трения и кумулятивного пути от времени. Зона В
Фотографии образцов до и после испытаний представлены на рис. 8.



Рис. 8. Фотография образцов до (слева) и после (справа) испытания

Заключение.

1. Отработана методика трибологических испытаний (коэффициенты трения, интенсивность изнашивания и др.) полимерных антифрикционных материалов на испытательном стенде компании ООО «ПКБ «Сокол»;
2. Определены статические и динамические коэффициенты трения, в том числе коэффициент трения первой подвижки в соответствии с требованиями национальных [1] и международных методик [2–4]. Численные значения коррелируют с соответствующими значениями, полученными в международных лабораториях [5];
3. На основе проведенных работ составлены общие рекомендации к методикам испытания антифрикционных материалов для учета национального стандарта.

Список источников

- [1] ГОСТ Р 59620–2022. *Дороги автомобильные общего пользования. Части опорные комбинированные сферические (шаровые сегментные) для мостовых сооружений. Общие технические условия*. Москва, Российский институт стандартизации, 2022.
- [2] EAD 050004-01-0301. Spherical and cylindrical bearing with special sliding material made of UHMWPE (ultra-high molecular weight polyethylene) (Full text version not yet published). 2018, 31 p.
- [3] EN 1337-2. Structural bearings – part 2: Sliding element, 2004-3.
- [4] AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications. Washington, 2009.
- [5] Braun C., Butz C. Static and Dynamic Friction in Curved Surface Sliders. IABSE Symposium Report. 2010, vol. 97, pp. 33–40. <https://doi.org/10.2749/222137810796025140>