

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.15593/2224-9400/2025.2.08

Научная статья

УДК 665.765

М.А. Ромашкин

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Российская Федерация

Б.И. Стародубцев

Пермский военный институт войск национальной гвардии
Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация

В.И. Ладанов

Пермский военный институт войск национальной гвардии
Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛАСТИЧНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Представлен анализ существующих машин для контроля и определения триботехнических свойств пластичного смазочного материала. Рассмотрены конструктивные особенности четырехшариковой машины трения, а также достоинства и недостатки машины фрикционного износа. Целью работы было изучение возможности создания новой установки для контроля состояния смазочного материала в условиях отсутствия на производстве специализированных лабораторий либо контроля смазки в полевых условиях. Описаны предлагаемые конструктивные решения в процессе создания новой установки, их исполнение, замеченные недостатки, а также пути их устранения. На изготовленной установке проведены серии опытов с применением одного сорта пластичного смазочного материала в свежем виде, имеющим определенную наработку в условиях производства. Подача смазочного материала в зону трения представленной установки осуществлялась в очень ограниченном количестве. Таким образом выполнялась проверка задуманной идеи – контроля пластичной смазки, взятой из функционирующего оборудования, в незначительном объеме. Это позволит снизить риски возникновения неисправности оборудования, связанные с потерей основных физико-химических свойств пластичной смазки, таких как пластичность, пенетрация, наличие воды в смазке, испаряемость, а также антифрикционные свойства. Результатом проведенного ряда опытов было

получение значений нагрузки и времени, при которой может работать испытуемый смазочный материал без схватывания образцов и без явных признаков окисления контактируемых поверхностей. На основе полученных данных были построены кривые для свежего смазочного материала и для материала, имеющего наработку, проведено их сравнение и анализ справедливости зафиксированных значений.

Ключевые слова: пластичный смазочный материал, машина трения, фрикционный износ, вязкость, контроль износостойкости, триботехнические свойства.

M.A. Romashkin

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

B.I. Starodubtsev

Perm Military Institute of the National Guard Troops
of the Russian Federation, Perm, Russian Federation

V.I. Ladanov

Perm Military Institute of the National Guard Troops
of the Russian Federation, Perm, Russian Federation

METHOD FOR CONTROLLING WEAR RESISTANCE OF PLASTIC LUBRICANT

The article presents an analysis of existing machines for monitoring and determining the tribotechnical properties of plastic lubricants. The design features of a four-ball friction machine, as well as the advantages and disadvantages of a friction wear machine, are analyzed. The proposed design solutions in the process of creating a new installation, their implementation, the shortcomings noted, as well as ways to eliminate them are described. A series of experiments were conducted on the manufactured installation using one type of plastic lubricant in fresh form and having a certain operating time under production conditions. The supply of lubricant to the friction zone of the presented installation was carried out in a very limited amount, thus checking the conceived idea – monitoring plastic lubricant taken from operating equipment, in an insignificant volume. This will reduce the risk of equipment failure associated with the loss of the main physical and chemical properties of plastic lubricants such as plasticity, penetration, the presence of water in the lubricant, evaporation, and antifriction properties. The result of a series of experiments was to obtain the values of the load and time at which the tested lubricant can operate without seizure of samples and without obvious signs of oxidation of the contact surface. Based on the data obtained, curves were constructed for fresh lubricant and for material with a history of use, they were compared and the validity of the recorded values was analyzed.

Keywords: plastic lubricant, friction machine, friction wear, viscosity, wear resistance control, tribotechnical properties

Введение. Долговечность и бесперебойная работа любого механизма оборудования, где есть движущиеся элементы, в значительной степени зависит от качества смазочного материала, находящегося в узлах трения. Качество смазочного материала определяется набором параметров, таких как номинальная плотность и вязкость, предел прочности, механическая стабильность, зольность, содержание механических примесей, воды и растворителей [1, 2]. Для продления ресурса работы пары трения необходимо осуществлять контроль состояния смазки на наличие твердых включений, возникших в результате износа деталей или попавших извне, и воды, которая снижает эффективность работы смазки и ускоряет процессы коррозии поверхности деталей. Также немаловажным фактором, влияющим на смазку узлов трения, является износостойкость, которая постепенно снижается в результате деградации и окисления компонентов смазочного материала. Чем выше износостойкость или прочность пластичной смазки, тем ниже вероятность возникновения царапин и задиров на поверхностях деталей узла трения. Однако при подборе смазочного материала не стоит в полной мере полагаться на высокие значения этого параметра, так как не означает, что чем он выше, тем лучше смазка выполняет свою функцию. При слишком высоком значении износостойкости пластичный смазочный материал не сможет попадать в зону контакта двух трущихся поверхностей, нанесенный ранее слой истирается, и они остаются «открытыми», так как вращающийся элемент узла трения не будет увлекать за собой достаточное количество смазки, либо она не будет иметь с ним хорошего адгезивного взаимодействия, что вызовет граничное смазывание и непосредственный металлический контакт. В данном случае мы сможем наблюдать на контактирующих деталях износ схватыванием, род этого износа будет зависеть от относительной скорости перемещения деталей и температуры в зоне контакта.

Постановка задачи. Противоизносные свойства масел характеризуют их способность снижать износ за счет образования прочных пленок на поверхностях контактирующих деталей, окисления маслом вновь обнажающихся поверхностей в результате износа с образованием легко удаляемых соединений [3]. Существует много способов испытания свойств смазок, отличающиеся формой поверхностей трения испытательных образцов (сфера, кольцо-брусек, цилиндрическая с внутренним или внешним касанием) и характером трения, который реализуется в конкретной испытательной машине (скольжение, качение

или их сочетание) [4]. Для испытаний смазочных материалов на противоизносные (антифрикционные и противозадирные) свойства существует два основных способа. Первый способ осуществляется с применением четырехшариковой машины (ЧШМ) (рис. 1), второй – с использованием машины фрикционного изнашивания (МФИ) [5–9].

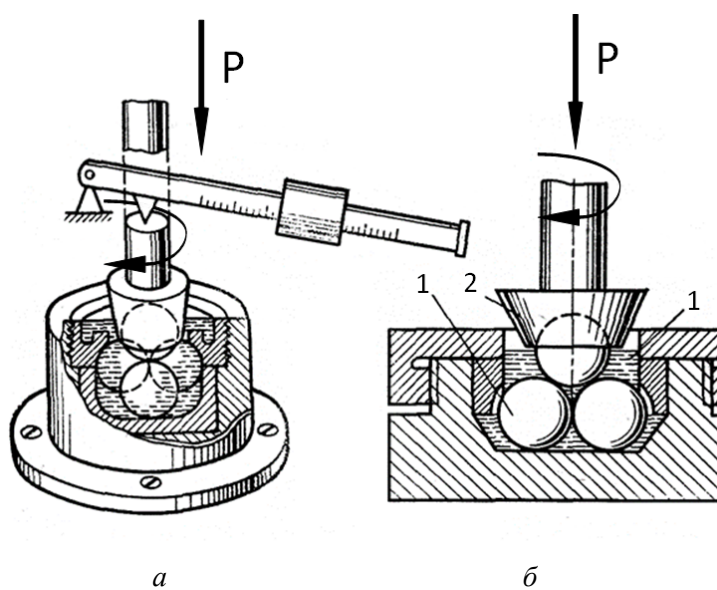


Рис. 1. Четырехшариковая машина трения: *а* – схема нагружения; *б* – схема четырехшариковой обоймы: 1 – неподвижные шарики; 2 – вращающийся шарик; 3 – исследуемое масло

ЧШМ состоит из трех неподвижных шариков, находящихся в обойме снизу, которая заполняется смазочным материалом и одного подвижного шарика, закрепленного в шпинделе сверху. Шпиндель, к которому прикладывают необходимую нагрузку, соединен с электродвигателем и вращается с частотой от 300 до 3000 об/мин. При проведении испытаний образца смазочного материала к подвижному шарик на шпинделе прикладывают предполагаемую критическую нагрузку и продолжают ее работу в течение одной минуты, или пока между шариками в результате деградации масла не произойдет сваривание. Результат испытания на ЧШМ определяется по стандарту DIN 51 350 с указанием значения усилия в ньютонах и оценкой размеров пятен износа, которые проявляются в виде сферической выемки на трех неподвижных шариках.

Проведение испытаний на ЧШМ является одним из важных этапов для оценки качества смазывающей способности масел при высоких

нагрузках и давлениях. Данное испытание дает достаточную информацию о противоизносных свойствах смазки (рис. 2). Если же сваривание не произошло, устанавливают в обойму новый комплект шариков, заполняют ее смазочным материалом и повышают нагрузку. В итоге получают максимальную нагрузку без сваривания шариков и нагрузку при сваривании, оба значения должны быть подтверждены повторными экспериментами.

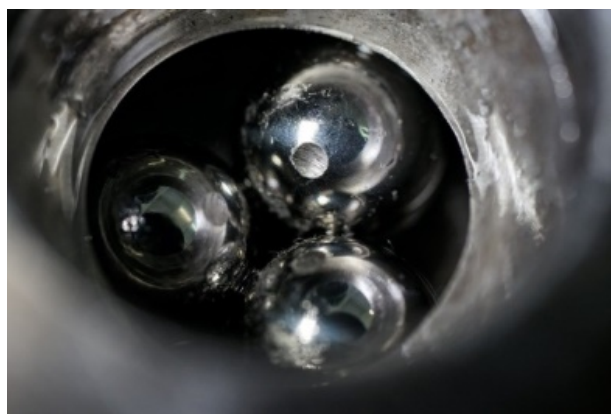


Рис. 2. Пятна износа на шариках ЧШМ

Обычно четырехшариковая машина используется для тестирования свежего смазочного материала, имеющегося в достаточном количестве для высоких контактных напряжений в области смешанного трения между движущимися относительно друг друга поверхностями [10–13]. К недостаткам такого метода оценки смазки с применением ЧШМ можно отнести:

- условия трения, которые создаются в ЧШМ, не всегда в полной мере могут соответствовать реальным условиям эксплуатации смазки;
- продолжительность осуществления контроля при подборе требуемой нагрузки, которую нежелательно менять в динамическом режиме во время испытания;
- наличие большого количества тел качения для проведения опытов;
- испытания проводятся только на «чистом» свежем смазочном материале;
- для работы ЧШМ требуется не менее 10 мл смазочного материала на один опыт, что исключает возможность контроля смазочного материала, взятого в малом объеме из работающего узла трения для

получения какой-либо информации об оставшемся ресурсе антифрикционных и противоизносных свойств;

- высокую стоимость самой установки.

Широкое применение получила и ранее упомянутая машина трения – машина фрикционного изнашивания (рис. 3), имеющая более простую конструкцию, но выполняющая контроль тех же свойств масла – антифрикционных и противозадирных (рис. 4) [14–16].



Рис. 3. Машина фрикционного изнашивания

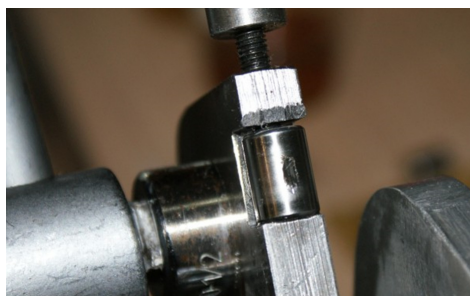


Рис. 4. Пятно износа на ролике машины трения

МФИ имеют достаточно компактные габариты, относительно небольшую массу, соответственно и невысокую стоимость, в условиях отсутствия лабораторий для контроля состояния смазочных материалов данные установки подходят отлично, но все же носить в чемодане такой комплекс не представляется возможным, особенно там, где важно проводить испытания, не меняя при этом температуру окружающей среды. Работает данная установка следующим образом. В картер с погруженным в него роликом заливается жидкий смазочный материал в достаточном объеме, чтобы во время испытания вращающийся ролик был погружен в него приблизительно на треть своего диаметра. В прорезь качающегося рычага вставляют сменный одноразовый образец и поджимают его винтом, данный образец контактирует с вращающимся роликом. Для создания нагрузки на рычаг с заданным плечом устанавливают груз в виде металлических блинов известной массы и во время проведения опыта постепенно добавляют их на вертикальную ось, закрепленную на рычаге. При включении электродвигателя крутящий момент передается вращающемуся ролику посредством ременной передачи, происходит равномерное смазывание ролика маслом из картера. Устанавливая блины на вертикальную ось рычага, можно обеспечить контакт испытательного образца и ролика. При достижении мак-

симальной нагрузки и соответственно максимального коэффициента трения между контактирующими поверхностями можно наблюдать граничное трение, срабатывает защита и происходит отключение электродвигателя. В результате можно получить информацию, при какой конкретной нагрузке связи смазочного материала разрываются и он перестает работать. Также можно установить период времени, за который жидкий смазочный материал потеряет свои свойства при определенной нагрузке.

Метод оценки смазки с применением машины фрикционного изнашивания также имеет недостатки, а именно:

- относительно небольшой диапазон изменения усилия на пару трения;
- машина фрикционного изнашивания не имитирует работу какого-либо узла механизма, а только напоминает такую работу;
- возможно только сравнение характеристик смазывающих свойств различных лубрикантов.

Обе машины (ЧШМ, МФИ) можно использовать для анализа жидких и пластичных смазочных материалов, но чаще всего при контроле качества смазочных материалов требуется указать результаты, полученные в лабораторных условиях на ЧШМ. Общим недостатком у данного типа машин является необходимость проводить опыты, имея в своем распоряжении значительное количество смазочного материала, что не дает возможности осуществлять контроль смазки рабочих узлов трения. Поэтому было принято решение в лабораторных условиях кафедры оборудования и автоматизации химических производств разработать метод, позволяющий выполнять сравнительный анализ противоизносных свойств свежего смазочного материала и смазочного материала, который отработал в узле трения при определенных условиях.

Изложение материала и его результаты. В рамках проведенного исследования решалась задача разработки принципиальной схемы машины трения для исключения недостатков конструкций аналогичных машин. Результатом является схема машины трения, которая представлена на рис. 5. Машина состоит из электродвигателя 1 (с возможностью регулировки частоты вращения ротора), передающего вращательное движение на подвижный цилиндрический образец 5 пары трения. Подвижный образец контактирует при проведении испытаний смазочного материала с неподвижным образцом 4 (плоская пластина). Регулировка создаваемого усилия между образцами в верти-

кальном направлении может осуществляться различными способами. В рамках проведения исследования применялся винтовой домкрат 2. Контроль усилия реализуется тензометрическим датчиком 3. На рис. 5 условно не показаны фиксаторы неподвижной пластины.

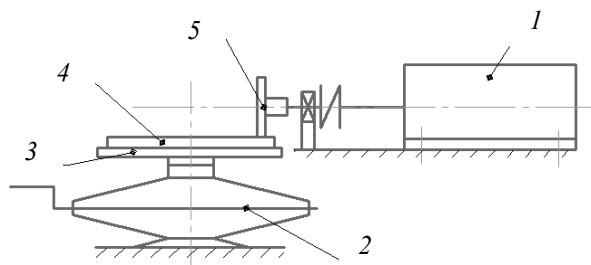


Рис. 5. Принципиальная схема установки для определения смазывающих (триботехнических) свойств консистентной смазки: 1 – электродвигатель; 2 – устройство для создания и/или изменения прижимающей силы; 3 – пластина с тензометрическим датчиком; 4 – неподвижный образец; 5 – подвижный элемент пары трения

В результате проведения ряда опытов на представленной установке были выявлены следующие недостатки. Используемый ромбический винтовой домкрат хоть и должен был обеспечить достаточно высокую точность выставления нагрузки между контактными образцами, но имел большие люфты в шарнирах соединения рычагов. Это вызывало смещение образцом при их контакте и в свою очередь резкое изменение характера нагрузки. Также была выявлена необходимость размещать вращающийся образец как можно ближе к месту контакта опорной части домкрата и пластины с тензометрическим датчиком, иначе конструкция с домкратом наклонялась и вращающийся образец начинал контактировать со статичной пластиной под некоторым углом, в результате чего менялась как локальная нагрузка, так и вид разрушения материала в точке контакта. Как следствие, возникла необходимость в изменении конструкции способа плавной регулировки прикладываемой нагрузки.

В изготовленной установке (рис. 6) люфты между элементами конструкции были минимизированы благодаря применению регулировочных винтов 4, закрепленных на опорной пластине 2, к которой приклеивались тензодатчики. Нагрузка регулировалась прижатием одного образца к другому посредством завинчивания регулировочных гаек 5, перемещающихся по винтам 4 и упирающихся в цилиндрические направляющие, приваренные к раме.

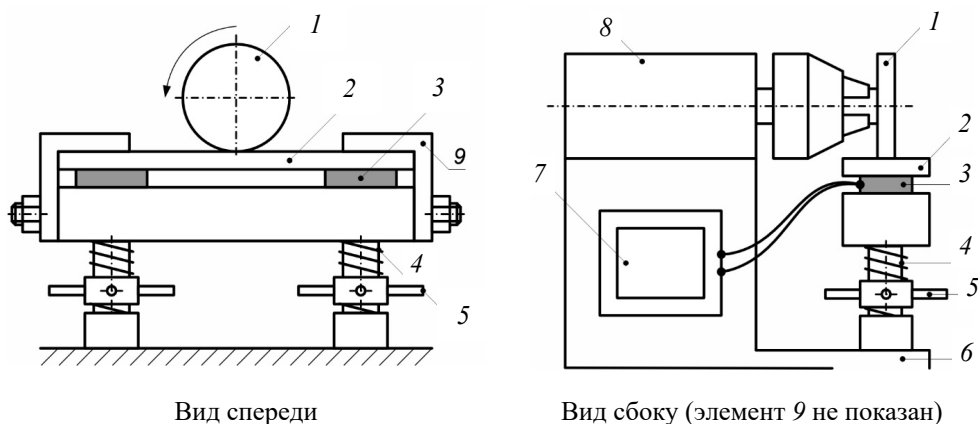


Рис. 6. Схема лабораторной установки: 1 – вращающийся образец; 2 – неподвижный образец; 3 – тензодатчики; 4 – регулировочные винты; 5 – регулировочные гайки; 6 – станина; 7 – экран для вывода информации; 8 – электродвигатель; 9 – фиксатор неподвижного образца

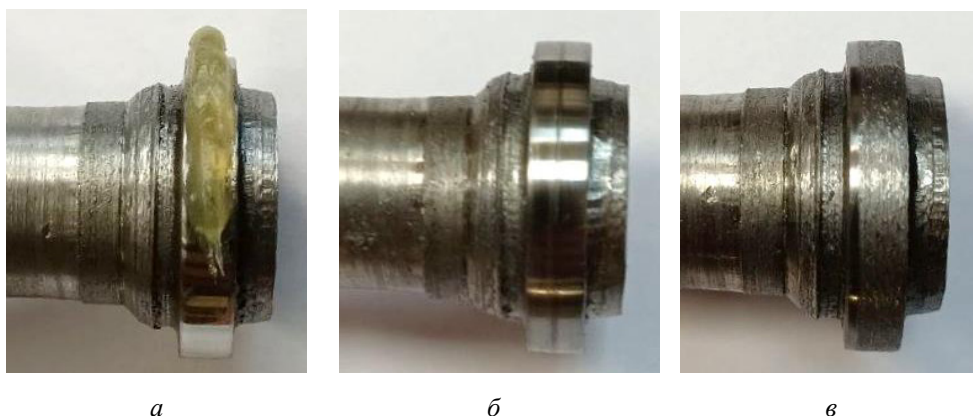


Рис. 7. Цилиндрический образец пары трения

С применением машины трения, изготовленной в соответствии с описанной схемой (см. рис. 6), было выполнено порядка 150 опытов для оценки противоизносных свойств смазочных материалов. Испытанию подверглись образцы консистентной смазки (Лито-24) в свежем виде, а также с включением продуктов износа (смазочный материал после наработки). Смазочный материал наносился непосредственно на цилиндрический образец в небольшом количестве (0,15–0,2 мл) (рис. 7, а).

При проведении испытаний изготовленной установки каждый опыт останавливался после наступления одного из двух вариантов событий:

- возникновения на подвижном образце четко выделявшейся на его контактной поверхности линии сероватого цвета (рис. 7, б);
- до момента схватывания двух образцов.

Первое явление можно связать с граничным режимом смазывания и, как следствие, непосредственным контактом двух образцов, когда заметно проявляется недостаточное количество смазки в зоне трения либо наступает момент ее деградация от локально высоких температур. Это серое кольцо на поверхности образца есть ничто иное как окисление металла в результате температурного воздействия, т.е. смазочный материал терял свои триботехнические свойства. На рис. 7, в показан результат непосредственного контакта двух образцов без нанесения смазочного материала, можно наблюдать износ схватыванием второго рода [17–19].

Второй вариант события принят для завершения опыта, так как схватывание является вредным, нежелательным процессом при трении, которое сопровождается исчезновением границы между соприкасающимися телами [20].

Во время проведения опытов к измеряемым величинам относятся:

- создаваемая нагрузка, кг;
- время схватывания подвижного образца с неподвижным образцом, с;
- диаметр подвижного образца, мм.

Для свежих смазочных материалов установлено, что с повышением нагрузки время взаимодействия образцов до схватывания уменьшается (рис. 8).

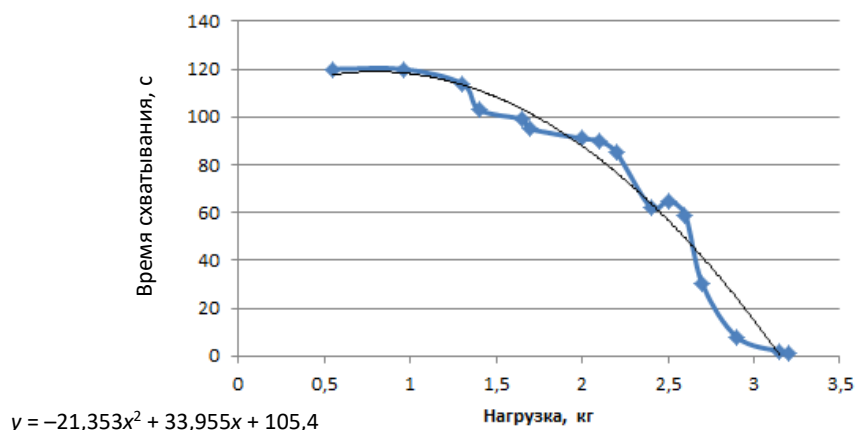


Рис. 8. Влияние нагрузки на время схватывания образцов (свежие смазочные материалы)

Аналогичная зависимость выявлена и для смазочных материалов после наработки (рис. 9).

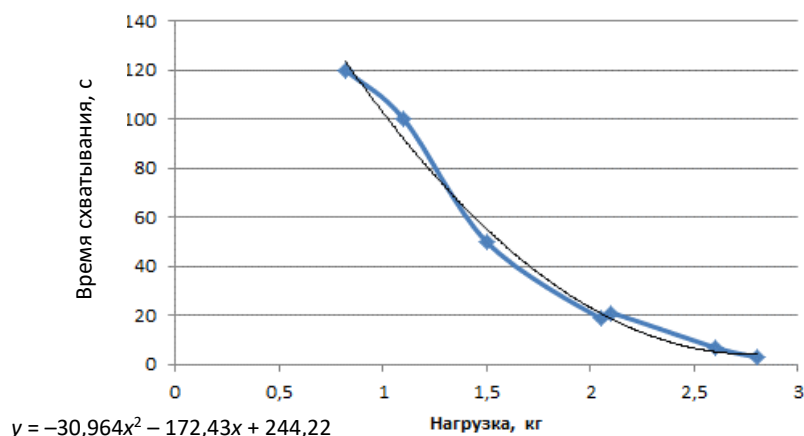


Рис. 9. Влияние нагрузки на время схватывания образцов (смазочные материалы после наработки)

При проведении серии испытаний образца свежей консистентной смазки становится возможным получить кривую в координатах «время схватывания – нагрузка», которую можно считать эталонной для данной марки смазочного материала. Пример подобной эталонной кривой приведен на рис. 8. Получив аналогичную кривую для образца смазки, у которой уже есть определенная наработка в часах в узле трения (см. рис. 9), можно определить ее отличия по форме от эталонной кривой. Так, по результатам проведенных опытов для пластической смазки марки Литол-24 можно сделать вывод о том, что форма кривой линии в указанных координатах для смазки с наработкой становится более прямолинейной, время взаимодействия до схватывания уменьшается. Серия аналогичных опытов для образцов смазки с разной величиной наработки дадут в результате совокупность кривых.

Степень фактической деградации конкретного образца пластической смазки по результатам проведенных опытов можно определить, сравнивая форму полученной для него кривой с совокупностью кривых, характерной для этой марки смазки, полученных ранее.

Результаты опытов показали возможность применения предложенного способа для определения качества и остаточного ресурса смазочного материала в условиях, когда нет возможности располагать в большом количестве испытуемым материалом.

Выводы. В настоящий момент не существует универсального технического способа испытаний смазочных материалов для определения их противоизносных (антифрикционных и противозадирных) свойств, который полностью соответствует всем возможным вариантам нагружения в парах трения машин и механизмов.

Предложена схема лабораторной установки для определения смазывающих (триботехнических) свойств масел. От применяемых в настоящее время машин трения предлагаемая схема отличается следующими преимуществами:

- реализуется распространенный тип трения цилиндрического образца о неподвижный плоский элемент;
- характеризуется относительной простотой;
- не требует большого объема смазочного материала для проведения испытаний;
- можно применять различные способы создания испытательной нагрузки (тарированные грузы, с применением гидравлического цилиндра).

К объективным недостаткам конструкции можно отнести:

- необходимость периодической замены подвижного элемента пары трения;
- износ подвижного элемента пары трения сопровождается уменьшением его радиального размера, что сокращает испытательный путь трения.

Предлагаемый способ контроля фактической степени износостойкости пластического смазочного материала предполагает предварительное накопление некоторого объема опытных данных, характерных для выбранной марки пластической смазки, с получением эталонной кривой в координатах «время схватывания – нагрузка» и совокупности аналогичных кривых для различной степени деградации смазки. Такой трудоемкий первоначальный этап сбора опытных данных объективно является недостатком метода. Однако после формирования подобного «банка данных» для марок пластической смазки оценка их фактической степени износостойкости не будет требовать большого объема смазочного материала для испытаний. Трудоемкость испытаний с применением машины трения предлагаемой схемы не характеризуется большей трудоемкостью, чем для способов, применяемых в настоящий момент (ЧШМ, МФИ).

Список литературы

1. Пенкин, Н.С. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие / Н.С. Пенкин, А.Н. Пенкин, В.М. Сербин. – М.: Машиностроение, 2008. – 206 с.
2. Трение, изнашивание и смазка: справ.: в 2 кн. / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – Кн. 1. – 400 с.
3. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин): учеб. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2002. – 632 с.
4. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
6. Дроздов, Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях: справ. / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
7. Исследование противоизносных свойств масел серия ИГП с памятью пластичных насосов / С.В. Венцель, Г.Ф. Ливола [и др.] // Трение и износ. – 1982. – Т. 3, № 6. – С. 1031–1035.
8. Штефан, Ю.В. Основы теории трения и изнашивания: учеб.-метод. пособие / Ю.В. Штефан, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2023. – 166 с.
9. Зорин, В.А. Основы теории трения и изнашивания: практикум / В.А. Зорин, Ю.В. Штефан. – М.: МАДИ, 2023. – 126 с.
10. Кочнев, Е.А. Использование ЧМТ-1 для определения трибологических характеристик жидких и пластичных смазочных материалов, применяемых для смазывания трущихся поверхностей / Е.А. Кочнев, С.С. Макаров // ИНТЕРНАУКА. – 2021. – № 22-2(198). – С. 65–67.
11. Селезнев, М.В. Результаты оценки трибологических свойств авиационных масел для двигателей воздушных судов / М.В. Селезнев, К.И. Грядунов, К.Э. Балышин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2023. – № 26(3). – С. 94–102.
12. Цветков, О.Н. Трибологическая оценка свойств смазочных масел / О.Н. Цветков, А.А. Черемискин // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017. – № 2. – С. 25–27.
13. Манг, Т. Смазки. Производство, применение, свойства: справ. / Т. Манг, У. Дрезель. – СПб.: Профессия, 2010. – 943 с.
14. Результаты сравнительных испытаний масляной СОЖ на четырехшариковой машине трения и машине трения МТА-2 оснащенной системой автоматизации / К.А. Абрамов, В.Ю. Шолом, Т.И. Гильманов, Д.Г. Тюленев // Интеллектуальная трибология в машиностроении: BAL T TRIBO 2025: сб. ст. Всерос. с междунар. участием науч. конф. – СПб., 2025. – С. 292–298.
15. Попов, В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений / В.Л. Попов. – М.: Физматлит, 2013. – 352 с.

16. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
17. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ / Н.К. Мышкин, М.И. Петровец. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.
18. Седуш, В.Я. Надежность, Ремонт и монтаж металлургических машин: учеб. / В.Я. Седуш. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Донецк: Вища школа, 1981. – 263 с.
19. Бобровицкий, В.И. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. – Донецк: Юго-Восток, 2011. – 238 с.
20. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): учеб. / Д.Н. Гаркунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.

References

1. Penkin, N.S., Penkin A.N., Serbin V.M. Osnovy tribologii i tribotekhniki: ucheb. Posobie [Fundamentals of Tribology and Tribotechnics: Textbook. Manual]. Moscow: Mashinostroenie, 2008, 206 p.
2. Kragel'skij, I.V. Trenie, iznashivanie i smazka: Spravochnik. V 2-h kn. [Friction, Wear and Lubrication: Handbook. In 2 books] / Pod red. I.V. Kragel'skogo, V.V. Alisina. Moscow: Mashinostroenie, 1978, Kn. 1, 1978, 400 p.
3. Tribotekhnika (konstruirovanie, izgotovlenie i jekspluatacija mashin): Uchebnik. – 5-e izd., pererab. i dop [Tribotechnics (design, manufacture and operation of machines): Textbook. – 5th ed., revised. and enlarged]. Moscow: «Izdatel'stvo MSHA», 2002, 632 p.
4. Kragel'skij, I.V. Trenie i iznos. Izd. 2-e pererab. i dop. [Friction and Wear. 2nd ed., revised and enlarged.] / I.V. Kragel'skij. Moscow: Mashinostroenie, 1968, 480 p.
5. Kosteckij, B.I. Trenie, smazka i iznos v mashinah [Friction, lubrication and wear in machines] / B.I. Kosteckij. K.: Tehnika, 1970, 396 p.
6. Drozdov, Ju.N. Trenie i iznos v jekstremal'nyh uslovijah spravochnik [Friction and wear in extreme conditions reference book] / Ju.N. Drozdov, V.G. Pavlov, V.N. Puchkov. Moscow: Mashinostroenie, 1986, 224 p.
7. Vencel', S.V. Issledovanie protivvoiznosnyh svojstv masel serija IGP s pamjat'ju plastichnyh nasosov [Study of anti-wear properties of oils of the IGP series with memory of plastic pumps] / S.V. Vencel', G.F. Livoda [i dr.] // Trenie i iznos. 1982. Vol. 3, no. 6, pp. 1031–1035.
8. Shtefan, Ju.V. Osnovy teorii trenija i iznashivaniya: uchebno-metodicheskoe posobie k seminarskim zanjatijam i laboratornym rabotam [Fundamentals of the Theory of Friction and Wear: a teaching aid for seminars and laboratory work] / Ju.V. Shtefan, V.A. Zorin. – Moscow: MADI, 2023, 166 p.

9. Zorin, V.A. Z-862 Osnovy teorii trenija i iznashivaniya: praktikum [Z-862 Fundamentals of the Theory of Friction and Wear: a practical course] / V.A. Zorin, Ju.V. Shtefan. Moscow: MADI, 2023, 126 p.
10. Kochnev, E.A. Ispol'zovanie ChMT-1 dlja opredelenija tribologicheskikh harakteristik zhidkih i plastichnyh smazochnyh materialov, primenjaemyh dlja smazyvaniya trushhihsja poverhnostej [Use of ChMT-1 to determine the tribological characteristics of liquid and plastic lubricants used to lubricate rubbing surfaces] / E.A. Kochnev, S.S. Makarov // INTERNAUKA, 2021, 22-2(198), pp. 65-67.
11. Seleznev M.V., Grjadunov K.I., Balyshin K.Je. Rezul'taty ocenki tribologicheskikh svojstv aviacionnyh masel dlja dvigatelej vozdushnyh sudov [Results of evaluation of tribological properties of aviation oils for aircraft engines]. Nauchnyj vestnik MGTU GA, 2023, no. 26(3), pp. 94-102.
12. Cvetkov O.N., Cheremiskin A.A. Tribologicheskaja ocenka svojstv smazochnyh masel [Tribological evaluation of properties of lubricating oils]. Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij, 2017, no. 2, pp. 25–27.
13. Mang T., Drezel' U. Smazki. Proizvodstvo, primenenie, svojstva. Spravochnik [Production, application, properties. Handbook]. Sankt-Peterburg, Professija, 2010, 943 p.
14. Abramov K.A., Sholom V.Ju., Gil'manov T.I., Tjulenev D.G. Rezul'taty sravnitel'nyh ispytanj masljanoj SOZh na chetyrehsharikovoj mashine trenija i mashine trenija MTA-2 osnashhennoj sistemoj avtomatizacii [Results of comparative tests of oil coolant on a four-ball friction machine and an MTA-2 friction machine equipped with an automation system]. Intellektual'naja tribologija v mashinostroenii: BALT TRIBO 2025: sbornik statej Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoj konferencii, 2025, pp. 292-298.
15. Popov, V.L. Mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija i fizika trenija. Ot nanotribologii do dinamiki zemletrjasenij [Mechanics of contact interaction and physics of friction. From nanotribology to earthquake dynamics]. Moscow: Fizmatlit, 2013, 352 p.
16. Chichinadze A.V. Trenie, iznos i smazka (tribologija i tribotekhnika) [Friction, Wear and Lubrication (Tribology and Tribotechnics)]. Moscow: Mashinostroenie, 2003, 576 p.
17. Myshkin N.K., Petrokovec M.I. Trenie, smazka, iznos [Friction, Lubrication, Wear]. Moscow: Fizmatlit, 2007, 368 p.
18. Sedush, V. Ja. Nadezhnost', Remont i montazh metallurgicheskikh mashin : [Uchebnik dlja vuzov po spec. «Meh. oborud. z-dov cher. Metallurgii»] [Reliability, Repair and Installation of Metallurgical Machines: [Textbook for Universities on the Specialty "Mechanical Equipment of Black Metallurgy Plants"]]. 2-e izd., pererab. i dop. Kiev: Doneck: Vishha shkola, 1981, 263 p.
19. Bobrovickij V.I., Sidorov V.A. Mehanicheskoe oborudovanie: tehničeskoe obsluzhivanie i remont [Mechanical equipment: maintenance and repair]. Doneck: Jugo-Vostok, 2011, 238 p.

20. Garkunov, D.N. Tribotekhnika (iznos i bezyznostnost'): Uchebnik. – 4-e izd., pererab. i dop. [Tribotechnics (wear and wear): Textbook. – 4th ed., revised. and additional]. Moscow: «Izdatel'stvo MSHA», 2001, 616 p.

Об авторах

Ромашкин Макар Андреевич (Пермь, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: t_romash_63@mail.ru).

Стародубцев Борис Игоревич (Пермь, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции автобронетанковой техники» Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации (614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1, e-mail: BISTARODUBCEV@pstu.ru).

Ладанов Владимир Ильич (Пермь, Российская Федерация) – доцент кафедры «Конструкции автобронетанковой техники» Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации (614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1, e-mail: viladanov61@yandex.ru).

About authors

Makar A. Romashkin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Kom-somolsky Ave., Perm, 614990, e-mail: t_romash_63@mail.ru)

Boris I. Starodubtsev (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Armored Vehicle Design, Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation (1, Gremyachiy Log St., Perm, 614112, e-mail: BISTARODUBCEV@pstu.ru).

Vladimir I. Ladanov (Perm, Russian Federation) – Associate Professor of the Department of Armored Vehicle Designs at the Perm Military Institute of the Russian National Guard Troops (1, Gremyachiy Log St., Perm, 614112, e-mail: viladanov61@yandex.ru).

Поступила: 01.08.2025

Одобрена: 04.08.2025

Принята к публикации: 05.08.2025

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Ромашкин, М.А. Способ контроля износостойкости пластичного смазочного материала / М.А. Ромашкин, Б.И. Стародубцев, В.И. Ладанов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2025. – № 3. – С. 119–135.

Please cite this article in English as:

Romashkin M.A., Starodubtsev B.I., Ladanov V.I. Method for controlling wear resistance of plastic lubricant. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2025, no. 3, pp. 119-135 (*In Russ*).