

УДК 620.1.051

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-2-19-27

Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков, В.В. Капустин

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАШИН НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ

Представлены испытательная техника и оборудование для выполнения триботехнических исследований, позволяющие проводить испытания в широком спектре эксплуатационных воздействий, что в значительной мере повышает достоверность получаемых результатов. Показаны пути совершенствования методов и средств оценки триботехнических параметров за счёт применения универ-

сальной испытательной техники, моделирования и воспроизведения процессов, характерных для условий эксплуатации различных машин.

Ключевые слова: качество машин, узлы трения, триботехнические параметры, процессы изнашивания, испытательная техника, долговечность.

G.A. Pulyushina, E.A. Pamfilov, P.G. Pyrikov, V.V. Kapustin

MACHINERY QUALITY SUPPORT BASED ON IMPROVEMENT OF METHODS AND MEANS FOR ESTIMATE OF TRIBO-TECHNICAL PARAMETERS OF MACHINERY FUNCTIONAL UNITS

The choice of possible ways for machinery quality increase must be based on the investigation results of wear regularities and also on the experimental data obtained in the course of laboratory nature and production method use with the aid corresponding equipment use.

The purpose of the work is updating methods and means for the estimate of tribo-technical unit operation parameters.

Tribo-technical tests must reproduce a wide range of events taking place at different interactions of machinery surface layers with wear environment under different conditions of operation. The more trustworthy the estimated figures in the course of the experiments carried out, the larger potentialities for quality increase of products manufactured. To obtain reliable data the essential condition is the reproduction of conditions

taking place in the course of the operation of the samples under investigation. The modeling of parts wear processes on the plants presented and reproducing wear mechanisms under conditions of operation allows revealing the peculiarities of a contact interaction, wear regularities and defining the efficient ways for parts life increase ensuring proper quality of products manufactured.

The methods and equipment developed for tribo-technical parameter estimate allow characterizing more precisely the values of physical stress-strain properties of materials under investigation and sure forecasting the working capacity of friction units under specified conditions of operation.

Kew words: machinery quality, friction units, tribo-technical parameters, wear processes, test engineering, life.

Введение

Решение проблемы обеспечения работоспособности различных машин и прогнозирования срока их службы требует создания эффективных методов триботехнических испытаний, которые возможно выполнять путем лабораторных, натуральных и производственных испытаний [1; 2].

С помощью лабораторных испытаний осуществляется экспериментальное обоснование перспективных конструктивных или технологических путей обеспечения износостойкости узлов трения, а также

оптимизация других триботехнических параметров совершенствуемых деталей. Такие испытания зачастую отличаются идеализацией условий контактного взаимодействия, что не всегда соответствует эксплуатационным условиям работы сопряжений. И хотя лабораторные испытания позволяют выявить основные закономерности изнашивания изделий, все же необходимо проведение производственных испытаний, чтобы получить наиболее полные сведения о работоспособности функциональных узлов.

Особенностью натуральных испытаний является конкретизация эксплуатационных условий на воспроизведение триботехнических факторов. При таких испытаниях возможно установить реальный температурный режим работы, действующие нагрузки, а также закономерности протекания процессов трения и изнашивания исследуемых деталей и фиксацию особенностей их фрикционного взаимодействия. Результаты натуральных испытаний могут быть использованы для выработки эффективных путей повышения износостойкости и других исследуемых параметров, а также для уточнения технологических мероприятий по их формированию при изготовлении и упрочнении.

С технико-экономической точки зрения целесообразно создавать искусственное ускорение процесса изнашивания за счет увеличения нагрузок, температур, скоростей и некоторых других факторов, способствующих интенсификации процессов поверхностного фрикционного разрушения. Это может быть также обеспечено за счет более широкого использования физического моделирования, оптимального планирования экспериментов, экстраполяции задаваемых режимов испытаний и т.д.

Разрабатываемые методики испытаний должны максимально воспроизводить возможные виды изнашивания. В процессе таких испытаний важно осуществлять периодический мониторинг микрогеометрии изнашиваемых поверхностей, их физико-химических свойств, а также контролировать стабильность сохранения эксплуатационных характеристик исследуемых объектов.

Перспективным является применение таких методов, как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, ожеэлектронная спектроскопия, а также другие поверхностно-чувствительные методы анализа. Это позволяет глубже изучить процессы формирования «третьих тел» и понять закономерности развития фрикционного контакта.

Важным аспектом эффективности сегмента экспериментально-испытательных работ по повышению износостойкости машиностроительных изделий является

использование стандартных средств и методов испытаний на изнашивание, что позволяет объективно оценивать результаты, полученные различными исследователями в одинаковых условиях испытаний, способствует ускорению внедрения в промышленность прогрессивных и эффективных процессов упрочняющей обработки и перспективных конструкций машин.

Целью настоящей работы является совершенствование методов и средств оценки триботехнических параметров узлов машин и технологического оборудования путем моделирования и воспроизведения процессов, характерных для условий эксплуатации дорожно-строительной, сельскохозяйственной, лесозаготовительной и некоторых других видов техники.

Для трибосопряжений этих машин характерными являются изнашивающие воздействия при циклических и ударных нагрузках различной интенсивности, действию низких климатических (арктических) температур, а также повышенных температур, наблюдаемых вследствие фрикционного разогрева пар трения. Большую роль играют разрушающие процессы: абразивные, химические, электрохимические, включая трибокоррозию. При этом в подавляющем большинстве случаев имеет место синергетическое проявление указанных процессов изнашивания, что необходимо учитывать в ходе лабораторных, натуральных и производственных испытаний.

Решение указанных задач требует соответствующего испытательного оборудования и более совершенных методик проведения исследований. Это является необходимым условием получения достоверных результатов, позволяющих обоснованно использовать выработанные рекомендации в промышленности.

Поэтому большое внимание было уделено постановке планируемых исследований, созданию испытательной техники, обладающей высокой универсальностью. В частности, были предложены разнообразные экспериментальные установки, позволяющие выполнять исследования в широком спектре эксплуатационных воздействий [1-6]. При этом некоторые из ис-

пользовавшихся испытательных машин неоднократно модернизировались и совершенствовались, а их возможности расширялись.

Хронология проводившихся модернизаций отражается датами сопутствующих им публикаций [2-8; 13]. При этом наиболее глубокая модернизация была

проведена в течение последних нескольких лет, в том числе в рамках выполнения гранта № 9.10677.2018/11.12 «Исследование и создание подшипников скольжения повышенной износостойкости на основе древесно-металлических композиционных материалов».

Изнашивание материалов в условиях действия низких температур

Создание методик проведения исследований при низких температурах связано с выбором перспективных материалов и способов их упрочняющей обработки для изготовления инструментов и технологического оборудования арктической техники [13].

Исследуемые материалы испытывались на выносливость и износостойкость в условиях динамической циклической и ударной нагрузки, при низких температурах, а также при изнашивающем действии абразива. Нагружение образцов осуществляется с заданной частотой и скоростью

удара металлическим контробразцом при температурах от 213 до 333 К. Процесс соударения является кратковременным, что не позволяет нагреваться контактирующим поверхностям. Схема испытаний при указанном способе приведена на рис. 1.

Установка имеет ударник, в котором закреплен контробразец, и сменные грузы, с помощью которых регулируется энергия удара от 0,25 до 2,50 Дж. Привод обеспечивает подъем ударника и его свободное падение с различной частотой. Продолжительность соударения образца и контробразца составляет не более 0,1 с.

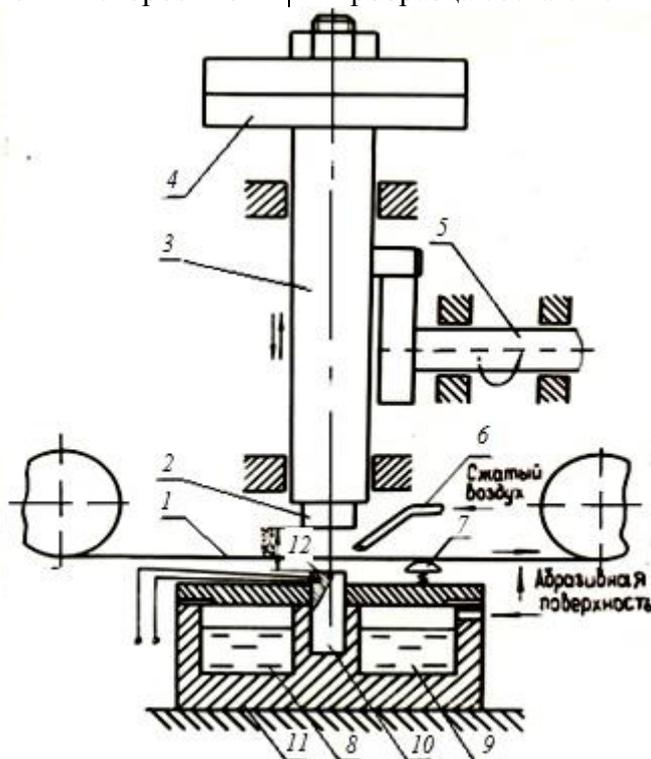


Рис. 1. Схема ударного изнашивания при низкой температуре: 1 - изнашивающая лента; 2 - контробразец; 3 - ударник; 4 - сменные грузы; 5 - привод; 6 - сопло; 7 - приспособление; 8 - теплоизолированная камера; 9 - охлаждающая среда; 10 - образец; 12 - термопара

Для моделирования абразивного изнашивания материалов в зону контактиро-

вания образца с контробразцом подается изнашивающая лента с закрепленным на

ней абразивом. Конструкция установки обеспечивает периодическое перемещение изнашивающей ленты между ударами по неподвижной поверхности или непрерывное движение ленты с заданной скоростью (в случае необходимости нагружения после удара). Установка имеет приспособление для отвода перемещаемой изнашивающей ленты от образца.

Охлаждение образцов осуществляется специальной средой, которая подается внутрь теплоизолированной камеры. Объем подачи охлаждающей среды регулируется автоматически от сигналов, поступающих с термодатчиков, закрепленной на образце. Продукты износа удаляются струей охлажденного сжатого воздуха.

Установка, реализующая указанный способ, может оборудоваться устройством для исследования изнашивания мерзлым абразивом [7].

При разработке метода установлено, что из режимов испытаний наибольшее влияние на стабильность температурного

режима исследуемого образца оказывают энергия E и частота соударения f , время контактирования τ образца и контрообразца после удара, теплопроводность исследуемого материала λ , разность температур испытания и охлаждающей среды Q . Для оценки их взаимосвязи при планировании исследований установлен критерий соблюдения температурного режима, на основании которого задаются условия испытаний:

$$\frac{K_T E^{2,91} f^{1,86} \tau^{1,42}}{\Delta T Q^{0,24} \lambda^{0,11}} \leq 1.$$

В процессе экспериментов установлено, что помимо E , f , τ , λ , Q на величину разогрева поверхностного слоя образца при испытаниях оказывают влияние размеры образца, конструктивные особенности охлаждающего устройства и некоторые другие факторы, учитываемые коэффициентом K_T , который определяется экспериментально для конкретных условий.

Изнашивание материалов в условиях граничной смазки и абразивно-масляной прослойкой

Испытания на изнашивание материалов в условиях граничной смазки и абразивно-масляной прослойкой выполняются со скоростями трения от 8 до 40 м/с при приложении постоянных, циклических или ударных нагрузок. В ходе испытаний нагрузка изменяется в пределах 10...100 Н ступенчато, с помощью автоматического

устройства [3] - путем посылки электромагнитных импульсов на механизм нагружения образца.

Оборудование для испытаний представлено на рис. 2. Зависимости нагружения образцов при испытаниях показаны на рис. 3.

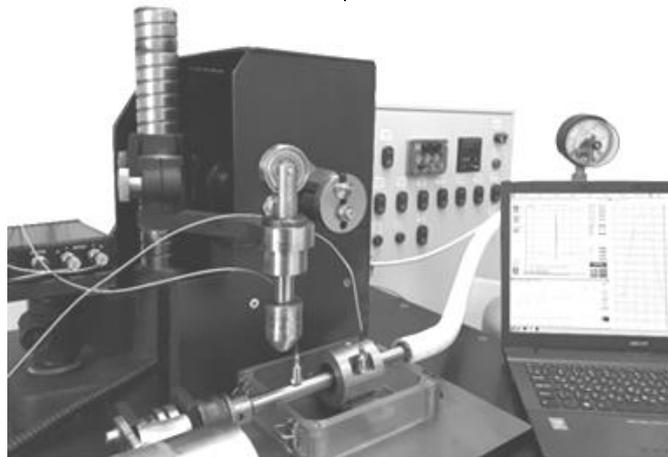


Рис. 2. Оборудование для триботехнических исследований в условиях приложения постоянной, циклической и ударной нагрузки

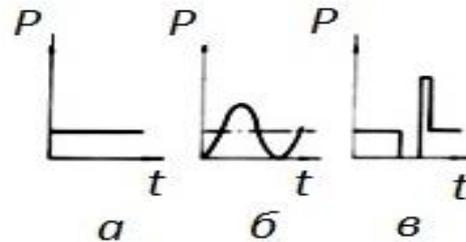


Рис. 3. Графики нагружения образцов:
а - постоянная нагрузка; б - переменная
нагрузка; в - ударная нагрузка

Подача абразивно-масляной про-
слойки в зону трения осуществляется пу-
тем дозированного подвода смазки и абра-
зива автоматическим устройством. Абра-
зив представляет собой молотый кварце-

вый песок или порошок карбида вольфра-
ма с размером частиц 160 мкм. При подаче
90 зерен абразива на один квадратный сан-
тиметр изнашивающей поверхности рас-
ход суспензии составляет 1,26 мл/мин.

Изнашивание материалов в условиях циклического изменения температуры и нагрузок

Для реализации этих исследований
разработана соответствующая методика и
модернизировано испытательное оборудо-
вание [4; 5]. Схема испытаний представле-
на на рис. 4. Общий вид установки для
низкотемпературных и высокотемператур-
ных исследований в условиях приложения
нагрузок приведен на рис. 5.

Исследование осуществляется при
трении образцов о поверхность кон-
трообразца. Три исследуемых образца и
контрольный вращаются по окружности и
контактируют с контрообразцом по дуге.
Для плавного вступления в контакт обра-
зца и выхода из него предусмотрены специ-
альные области.

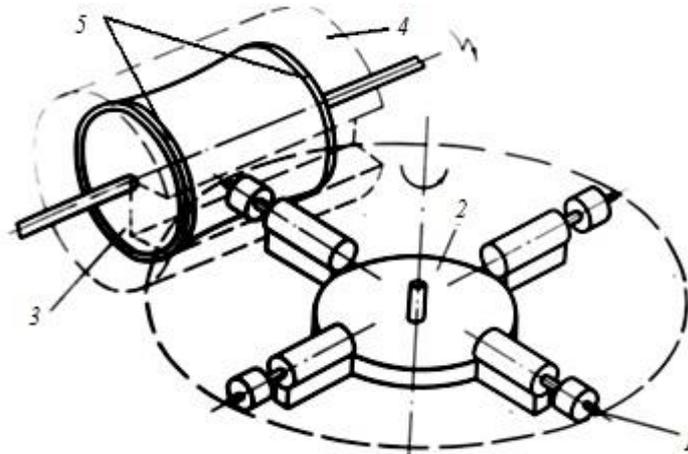


Рис. 4. Схема исследований: 1 - образец; 2 - крестовина;
3 - контрообразец; 4 - нагревательное устройство;
5 - заходные области

Для обеспечения трения образца по
неизношенной поверхности контрообразец
поворачивается вокруг своей оси. Иссле-
дуемый образец нагревается при контакте
с горячим контрообразцом, а охлаждается
за оборот до нового вступления в контакт.

При необходимости большего охлаждения
на образец может подаваться воздушно-
капельная эмульсия. Для поддержания
температуры в пределах 600...800 °С в
щетках установлены термопары, прижатые
к рабочей поверхности контрообразца.

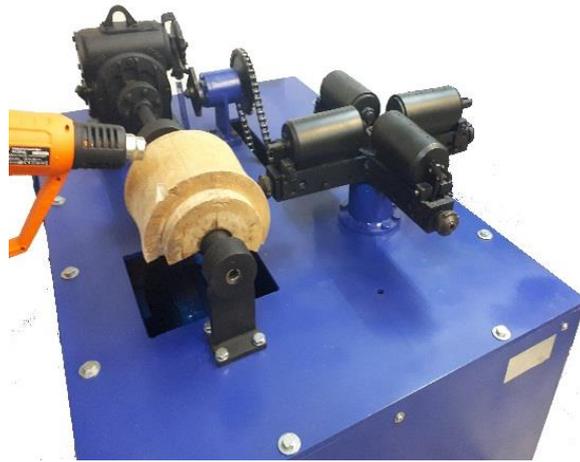


Рис. 5. Общий вид установки для триботехнических исследований в условиях действия высоких температур, динамических и циклических нагрузок

Разработанная установка позволяет проводить испытания при температуре 20...800 °С, нагрузке 10...500 Н в течение 2500-7500 циклов.

Для исследования изнашивания дереворежущих ножей при низких температурах исследуемым режущим элементом осуществляется резание древесного образца при температуре 233...293 К. Для этого в зону резания подаются пары жидкого азота, температура которых на 10 К ниже принятой.

Испытания в термической камере TV-1000 проводятся при 233...293 К. Температура исследуемого режущего элемента и контрообразца задается одинаковой. Изменение износа в результате испытаний

определяется как разница температур образца и контрообразца при испытаниях с различной и одинаковой температурой (293 К).

Существенным фактором, позволяющим обеспечить стабильный температурный режим образцов при испытаниях, является соблюдение в процессе экспериментов определенного соотношения времени резания и холостого пробега инструмента. Для принятой схемы испытаний установлено, что стабильный температурный режим сохраняется при соблюдении указанного соотношения в пределах от 1:5 до 1:20, поэтому эксперименты рекомендуется проводить при среднем значении, равном 1:10.

Перспективные методы оценки триботехнических параметров исследуемых материалов

При создании новых методов испытаний не менее важной является и оценка триботехнических параметров, определяющих сопротивляемость материалов изнашиванию, например микротвердости и диссипативных характеристик [9-12].

Одним из методов оценки триботехнических параметров является способ определения статической твердости древесины [10]. Сущность его заключается в нахождении обобщенного показателя твердости боковых поверхностей древесного образца, которые соответствуют радиальному, торцовому и тангенциальному срезам древесины. Образец изготовлен в форме тетраэдра с вершиной в точке пересечения трех смежных граней трапеце-

идальной призмы. Для определения твердости замеряется глубина отпечатка индентора при внедрении его в плоскость замера под нагрузкой [9].

В настоящее время широкое применение в подшипниковых узлах получили различные композиционные материалы. Разновидностью композиционных вкладышей подшипников скольжения являются элементы из полимерных, металлополимерных, хлопчатобумажных, стеклянных нитей и волокон. Элементы ткнут таким образом, что с одной стороны вкладыша располагаются нити полимера, с противоположной - нити из другого материала. Такие подшипники успешно работают без смазки при значительных нагруз-

ках и невысоких скоростях, обладают демпфирующими свойствами при ударах и вибрациях. Работоспособность металлополимерных подшипников скольжения во многом определяется материалом, конструкцией и соотношением размеров основных элементов, обуславливающих распределение нагрузки, условия теплоотвода, демпфирование колебаний и другие эксплуатационные характеристики.

Для определения твердости композиционных гетерогенных материалов, выполненных на основе модифицированной древесины, разработан способ, включающий изготовление исследуемых образцов в форме тетраэдра [10]. В качестве наполнителей в состав древесной матрицы включаются оптимизирующие структурные составляющие, например антифрикционные твердые смазки, элементы повышенной упругости и др. Рабочая поверхность исследуемого образца выполняется в форме шлифа, на котором обеспечивается получение четко различаемых границ раздела между отдельными структурными составляющими композиционного материала. Определяются площади структурных составляющих и рассчитываются их доли в общей оценочной площади, а также измеряются показатели их микротвердости. При этом устанавливается усредненное оценочное значение микротвердости функциональной поверхности материала исследуемого образца.

Для оценки величины износа подшипника скольжения, изготовленного из модифицированной древесины или древесно-металлического композиционного материала, разработан метод, основанный на анализе ударного спектра, представляющего собой зависимость изменяющихся

при изнашивании значений максимального отклика системы «вал - втулка» с одной степенью свободы, упорядоченную по собственным частотам резонаторов [11; 12]. Обобщенным критерием износа втулки скольжения является превышение предельно допустимого зазора с валом, вследствие чего стабилизирующая функция опоры теряет эффективность, что выражается в интенсификации колебательных процессов и может быть оценено инструментально. Сущность методики испытаний состоит в том, что по вращающемуся в подшипнике скольжения валу производят заданное количество ударов с определенной энергией и частотой соударения. Затем вращение останавливают и производят однократное ударное воздействие, при котором оценивают относительную демпфирующую способность материала втулки подшипника. На основании анализа декремента колебаний фиксируют амплитуду колебаний, затем сравнивают ее с допускаемой величиной.

Таким образом, разработанные методики позволяют проводить триботехнические испытания материалов в широком диапазоне заданных температур, нагрузок, скоростей, при действии активных веществ и абразивных частиц, что наиболее точно соответствует условиям эксплуатации многих деталей. Проводимые экспериментальные исследования позволяют установить закономерности процессов frictionного взаимодействия, оценить факторы и механизмы поверхностного разрушения, физико-химические свойства исходных материалов и особенности их трансформации в процессе контактного взаимодействия, а также ряд других факторов.

Заключение

Совершенствование методов и средств оценки триботехнических параметров путем применения универсальной испытательной техники позволяет выполнять исследования в широком спектре эксплуатационных воздействий и повышает достоверность получаемых результатов. Перспективным направлением повышения износостойкости и качества деталей является создание и применение новых компо-

зиционных материалов и покрытий, структуру и свойства которых можно программировать в зависимости от климатических условий и рабочих процессов.

Триботехнические испытания деталей машин охватывают процессы и явления, происходящие в поверхностных слоях материалов, взаимодействующих с изнашивающими средами в различных условиях эксплуатации. Моделирование процесса

изнашивания деталей на представленных стендах, воспроизводящих механизм изнашивания в условиях эксплуатации, позволяет выявить закономерности изнашивания и пути повышения долговечности деталей. Сопутствующим техническим результатом является определение механических дефектов материалов и изменение изначально регистрируемых характеристик в процессе наработки в заданных условиях.

Представленные методы оценки триботехнических параметров позволяют бо-

лее точно характеризовать физико-механические показатели композиционных материалов, а также прогнозировать работоспособность узлов трения в определенных условиях эксплуатации. Можно полагать, что их использование в исследовательской практике предоставляет возможность в значительной мере повысить эффективность предлагаемых технических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трибология. Состояние и перспективы развития: сб. науч. тр.: в 2 т. / под ред. И.Г. Горячевой, М.А. Броновца. Уфа: РИК УГАТУ, 2016. Т. 1. 431 с.
2. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Савочкин А.М. Методология триботехнических испытаний // Физика, химия и механика трибосистем. 2006. № 5. С. 9-14.
3. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г. Технологическая оптимизация триботехнических параметров функциональных поверхностей деталей машин // Контактная жесткость и износостойкость деталей машин. Брянск: БГТУ, 2008. С. 144.
4. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А. Особенности испытаний на изнашивание при действии динамических нагрузок // Тезисы докладов международной научно-технической конференции / Ин-т механики металлополимер. систем им. В.А. Белого НАН Беларуси. 2015. С. 101. URL: <http://mpri.org.by/assets/files/matconf/PolyComTri b2015-Thezis07-07-15.pdf> (дата обращения: 27.12.2019).
5. Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Кузнецов С.В., Прозоров Я.С. Современные методы исследования коррозионно-механического изнашивания // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 1. С. 146-150.
6. Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Особенности исследования изнашивания режущих инструментов для переработки древесных материалов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 6 (360). С. 89-103.
7. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А. Триботехнические методы испытания деталей, работающих в условиях динамического и температурного воздействия // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. 2017. № 10. С. 23-28.
8. Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А. Методология испытаний сложных трибосистем // Трибология - машиностроению: тр. XII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию ИМАШ РАН. 2018. С. 401-405. URL: https://tribomash.com/wp-content/uploads/2018/11/Programma_Tribomash-2018_v.1.1.pdf (дата обращения: 27.12.2019).
9. ГОСТ 13338-86. Древесина модифицированная. Метод определения твердости, временных упругой и остаточной деформаций. М.: Изд-во стандартов, 1986.
10. Пат. РФ 2006128941/28. Способ определения статической твердости древесины / Памфилов Е.А., Шевелева Е.В., Комиссаров А.П. № 2323428; 2008, Бюл. № 12.
11. Пат. РФ 2008122108/28. Способ определения износа подшипников скольжения / Гамей А.И., Постников С.Ф., Бурлаков С.М. [и др.]. № 2369852; 2010, Бюл. № 28.
12. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1997.
13. Памфилов Е.А., Грядунов С.С., Пилюшина Г.А. Методические основы оценки работоспособности рабочих органов строительных и дорожных машин // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 4. С. 37-42.
1. Tribology. State and Outlooks of Development: Proceedings in 2 Vol. / under the editorship of I.G. Goryacheva, M.A. Bronovets. Ufa: RIK UGATU, 2016. Vol.1. pp. 431.
2. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Savochkin A.M. Tribological test methodology / Physics, Chemistry and Mechanics of Tribosystems. 2006. No.5. pp. 9-14.
3. Pamfilov E.A., Pilyushina, Pyrikov P.G. Tribological parameter technological optimization of machinery functional surfaces // Contact Rigidity and Machinery Wear-Resistance: BSTU, 2008. pp. 144.
4. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Peculiarities of wear tests at dynamic load impact // Proceedings of the Inter. Scientif.-Tech. Conf. / Bely Institute of Metal-Polymer Mechanic Systems of the NAS of Belarus. 2015. pp. 101. URL: <http://mpri.org.by/assets/files/matconf/PolyComTri b2015-Thezis07-07-15.pdf> (Address date: 27.12.2019).

5. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Kuznetsov S.V., Prozorov Ya.S. Modern investigation methods of corrosion-mechanical wear // Scientific Center Proceedings of the Russian Academy of Sciences. 2015. Vol.17, No.1. pp. 146-150.
6. Pamfilov E.A., Sheveleva E.V. Peculiarities in wear investigations of cutters for timber-based material processing // College Proceedings. Forestry Journal. 2017. No.6 (360). pp. 89-103.
7. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Tribo-technical methods for testing parts operated under conditions dynamic and temperature impact // Mechanics and Physics of Processes on Surface and in Contact of Solids, Parts of Technological and Power Equipment. 2017. No.10. pp. 23-28.
8. Pilyushina G.A., Pamfilov E.A. Methodology of complex tribo-system tests // Tribology for Mechanical Engineering: Proceedings of the XII-th Inter. Scientif.-Tech. Conf. Dedicated to 80-th Anniversary of IMACH RAS. 2018. pp. 401-405. URL: https://tribomash.com/wp-content/uploads/2018/11/Programma_Tribomash-2018_v.1.1.pdf (address date: 27.12.2019).
9. GOST 13338-86. Modified Wood. Method for Definition of Hardness, Time Elastic and Residual Deformations. M.: Publishing House of Standards, 1986.
10. Pat. the RF 2006128941/28. Method for Definition of Wood Static Hardness / Pamfilov E.A., Sheveleva E.V., Komissarov A.P. No.2323428; 2008, Bull. No.12.
11. Pat. the RF 2008122108/28. Method for Definition of Sliding Bearing Wear / Gamey A.I., Postnikov S.F., Burlakov S.M. [et al.]. No. 2369852; 2010, Bull. No.28.
12. GOST ISO 10816-1-97. Vibration. Machinery State Control on Results of Vibration Measurements on Non-rotating Parts. Part 1. General Requirements. M.: Publishing House of Standards, 1997.
13. Pamfilov E.A., Gryadunov S.S., Pilyushina G.A. Method fundamentals for working capacity estimate of working units in construction and road machinery // Bulletin of Bryansk State Technical University. 2009. No.4. pp. 37-42.

Ссылка для цитирования:

Пилушина Г.А., Памфилов Е.А., Пыриков П.Г., Капустин В.В. Обеспечение качества машин на основе совершенствования методов и средств оценки триботехнических параметров их функциональных узлов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 19 –27. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-2-19-27.

Статья поступила в редакцию 14.01.19.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного инженерно-технологического университета
Заикин А.Н.

Статья принята к публикации 29. 01. 20.

Сведения об авторах:

Пилушина Галина Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.

Памфилов Евгений Анатольевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов», ст. науч. сотрудник Научно-исследовательской лаборатории инженерии материалов и адаптивных технологических систем Брянского государственного технического университета, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

Pilyushina Galina Anatolievna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Tribo-technical Material Science and Material Technologies”, Bryansk State Technical University, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.

Pamfilov Evgeny Anatolievich, Dr. Sc. Tech., Prof., Head of the Dep. “Tribo-technical Material Science and Material Technologies”, Senior scientific assistant of Scientific-Research Lab. “Material Engineering and Adaptive Technological Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

Пыриков Павел Геннадьевич, д.т.н., профессор кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, e-mail: pyrikovpg@mail.ru.

Капустин Владимир Васильевич, аспирант, науч. сотрудник Научно-исследовательской лаборатории инженерии материалов и адаптивных технологических систем Брянского государственного технического университета, e-mail: vovakapustin1990@mail.ru.

Pyrikov Pavel Gennadievich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Tribo-technical Material Science and Material Technologies”, Bryansk State Technical University, e-mail: pyrikovpg@mail.ru.

Kapustin Vladimir Vasilievich, Post graduate student, Research assistant of Scientific-Research Lab. “Material Engineering and Adaptive Technological Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: vovakapustin1990@mail.ru.