

DOI: 10.15593/24111678/2016.02.05

УДК 662.822

**Е.В. Кукушкин, С.П. Ереско, Т.Т. Ереско,
В.А. Меновщиков, А.А. Орлов**

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

КОНСТРУКЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ КАРДАНЫХ ШАРНИРОВ НА ИГОЛЬЧАТЫХ ПОДШИПНИКАХ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ РАЗМЕРОВ С ИЗМЕНЕНИЕМ УГЛА ИЗЛОМА КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Кратко рассматриваются основные направления улучшения и совершенствования рабочих характеристик карданных передач на игольчатых подшипниках транспортно-технологических машин. Отмечена необходимость решить вопросы, связанные с усовершенствованием рабочих характеристик карданных передач на игольчатых подшипниках, и вопросы расчета несущей способности силового контакта подшипников качения и технологии получения качественных материалов, что требует разработки новых конструкций испытательных стендов для испытания карданных передач. В работе проведен анализ имеющихся конструкций испытательных стендов для проведения испытаний карданных шарниров, к недостаткам которых можно отнести невозможность управления процессом нагружения карданной передачи во время испытаний карданной передачи. Разработана конструкция стенда для проведения испытаний карданных шарниров на игольчатых подшипниках и приведено полное описание работы и настройки. Конструкция стенда позволяет испытывать карданные передачи разных типоразмеров при различных углах излома карданной передачи. Стенд отличается простотой конструкции, большим диапазоном параметров нагружения и легкостью настройки благодаря подвижной раме и нониусу. Угол излома карданного шарнира при работе в испытательном стенде меняется в зависимости от того, какой вид усталости материала нам необходимо получить, и находится в диапазоне от 0 до 20°. Изменение угла излома карданной передачи производим с помощью нониуса.

Ключевые слова: усталостные разрушения, игольчатые подшипники, современные представления исследований, испытательный стенд, карданный шарнир, игольчатый подшипник.

**E.V. Kukushkin, S.P. Eresko, T.T. Eresko,
V.A. Menovshchikov, A.A. Orlov**

Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russian Federation

STAND CONSTRUCTION FOR TESTING THE UNIVERSAL JOINT ON NEEDLE BEARINGS IN WIDE RANGE OF SIZES WITH THE ANGLE CHANGING DRIVELINE

About the basic directions of development, improve and perfect the performance driveline on needle bearings of transport and technological machines. Based on the analysis, it was found that it is necessary to solve the issues related to the improvement of performance driveline on needle bearings

and questions the calculation of bearing capacity of the power rolling contact bearings and technology of high-quality materials, and for this it is necessary: to develop a new design of test benches for testing of driveline. The analysis of existing designs of test benches for testing universal joints, the disadvantages of which include the inability to control the process of loading the driveline during driveline tests. A stand design for testing universal joints with needle bearings and a complete description of the work and adjustment. The stand design allows testing of driveline different sizes at different angles of knee driveline. The stand is characterized by simplicity of design, a large range of parameters of loading and ease of setup thanks to the movable frame and vernier. The angle at the universal joint fracture in the test stand varies depending on what kind of material fatigue and we need to get in the range of up to 0–20°. Changing the angle kink driveline using vernier manufacture.

Keywords: fatigue failure, needle bearings, modern concepts of research, test stand, universal joint, needle bearing.

Введение

На современном этапе развития науки и техники проблема повышения качества и конкурентоспособности карданных шарниров на игольчатых подшипниках различных технологических и подъемно-транспортных машин является одной из важнейших, без решения которых не может быть достигнут научно-технический прогресс. Но до сих пор многие вопросы еще не получили четкого ответа ввиду неизученности либо отсутствия нужного объема исследований.

В настоящее время проведены исследования и разработано множество методов расчета деталей на контактную прочность, долговечность и надежность, но они не дают четких понятий и объяснений работы одинаковых деталей при абсолютно одинаковых условиях с разными значениями долговечности.

Подшипниковые узлы являются важнейшими структурными элементами машин и составляют основную часть узлов трения. Отказ зачастую происходит из-за отказа подшипниковых узлов, которые ограничивают долговечность машин. Даже при достаточно качественном изготовлении деталей подшипниковых узлов, например игольчатого подшипника качения, характеристики карданной передачи могут оказаться неудовлетворительными, и произойдет внезапный отказ. При этом под отказом следует понимать не обязательно разрушение трущихся (рабочих) поверхностей – отказом может являться выход одной из характеристик подшипниковых узлов за допускаемые пределы.

Подшипниковые узлы сельскохозяйственной техники выходят из строя в основном из-за абразивного изнашивания, связанного с попаданием грязи и пыли. Наиболее распространенный критерий отказа подшипниковых узлов общего применения, работающих в автомобилях, тракторах, насосах, редукторах, станках, подъемно-транспортном

оборудовании, – усталостное разрушение. В то же время для подшипниковых узлов специального применения важны и другие характеристики, такие как жесткость, уровень и спектр вибрации, момент сопротивления вращению, долговечность и др.

Долговечность отдельных деталей подшипниковых узлов, подтвержденная стендовыми испытаниями, не гарантирует достаточной долговечности всего узла. Последнее обстоятельство связано с тем, что нагрузки, действующие в узле, а также реальная температура могут существенно отличаться от стендовых. Кроме того, сборка и монтаж меняют зазоры, натяги и форму рабочих поверхностей подшипниковых узлов. Особенно отчетливо противоречие между качеством подшипниковых узлов и собственно подшипником, которое проявляется в узлах именно с подшипниками качения [1–4].

Основная часть

В стендах для испытаний карданных подшипников, применяемых для испытаний карданных передач машин, вращение карданного вала осуществляется аналогично принятой схеме транспортных и технологических машин, а регулирование выполняется с помощью редукторов. Однако в большинстве случаев снятие показаний происходит с вращающегося вала, что значительно усложняет контроль результатов испытаний.

В связи с различными процессами разрушения игольчатых подшипников при низких и высоких уровнях максимальных напряжений цикла различаем два вида усталости – малоцикловую и многоцикловую. Малоцикловая усталость – это усталость материала, при которой усталостное повреждение или разрушение происходит при упругопластическом деформировании. Многоцикловая усталость – это усталость материала, при которой усталостное повреждение или разрушение происходит в основном при упругом деформировании.

В случае развития усталостной трещины от подповерхностного дефекта она может соединяться с соседними микротрещинами. Траектория и скорость ее развития зависят от ориентировки лежащих вблизи микротрещин, а также от механических свойств соседних участков металла. Одновременно под поверхностью может развиваться несколько микротрещин. При циклическом нагружении та трещина, которая оказалась в условиях, наиболее способствующих ее росту, достигает поверхности детали и затем происходит выкрашивание металла. Причем

глубина выкрашивания от поверхностных концентраторов напряжений в несколько раз больше, чем от поверхностных дефектов [5].

В случае так называемого «пульсирующего контакта» первичные усталостные трещины появляются на поверхности контура пятна контакта и распространяются в глубь материала. В работе [5] приведен обширный экспериментальный материал о расположении возможных центров разрушения при контактном циклическом нагружении.

В своих работах П. Гарди и Я. Стикловари отмечают, что все микротрещины в подшипниках из стали ШХ15 развиваются от неметаллических включений в зоне действия герцевских максимальных касательных напряжений [6]. Н.Н. Качанов [7], также опираясь на экспериментальный материал, полагает, что усталостные трещины могут зарождаться не только на глубине действия максимальных касательных напряжений, но и несколько выше и ниже ее. Эти соображения Н.Н. Качанов основывает на том, что появление пластических сдвигов, приводящих к усталостным трещинам, зависит не только от теоретического уровня касательных напряжений, но и от силы воздействия концентраторов напряжений, основными из которых являются неметаллические включения.

На основе анализа [8–14] было выявлено, что необходимо решить вопросы, связанные с усовершенствованием рабочих характеристик карданных передач на игольчатых подшипниках, и вопросы расчета несущей способности силового контакта подшипников качения и технологии получения качественных материалов, что требует разработки новых конструкций испытательных стендов для испытания карданных передач.

Известен стенд для испытаний карданных подшипников [15]. Привод стенда осуществляется от электродвигателя через ременную передачу к замкнутому контуру, состоящему из двух зубчатых редукторов, торсионных и карданных валов, двух муфт. Нагрузка в замкнутом контуре создается закручиванием торсионных валов муфтой нагружения. Для испытаний карданных валов разной длины и создания перекосов в шарнирах редуктор может быть перемещен по пазам на плите в продольном и поперечном направлениях. Недостаток данного стенда – применение в качестве нагружающего устройства торсионных валов, что снижает точность создания нагрузок в шарнирах карданной передачи.

Известен стенд [16], который содержит станину, привод, кинематически связанный с одним из валов испытываемой карданной передачи, устройство нагружения, последовательно включенное в силовой контур, технологический карданный шарнир с полый крестовиной, элементы для присоединения испытываемой карданной передачи. При этом одна вилка технологического карданного шарнира жестко связана через присоединительные элементы с одной из внешних вилок испытываемой карданной передачи, а другая вилка технологического карданного шарнира выполнена полый и связана через устройство нагружения и присоединительные элементы с другой внешней вилкой испытываемой карданной передачи. К недостаткам стенда следует отнести невозможность управления процессом нагружения карданной передачи во время испытаний карданной передачи.

Известен стенд [17], содержащий электродвигатель, технологическую передачу, устройство нагружения и испытываемую карданную передачу. При этом технологическая передача выполнена в виде механической коробки переключения передач, присоединенной к входному валу карданной передачи, выходной вал которой присоединен к устройству нагружения через раздаточный редуктор. К недостатку прототипа относится невозможность изменения угла излома карданной передачи.

Технической задачей является расширение функциональных возможностей испытательного стенда за счет изменения горизонтального угла излома карданной передачи.

Поставленная задача решается тем, что в известном стенде для исследования карданных передач, содержащем электродвигатель, технологическая передача выполнена в виде механической коробки переключения передач, также стенд имеет устройство нагружения, испытываемую карданную передачу и раздаточный редуктор. Согласно техническому решению раздаточный редуктор установлен на подвижной раме с возможностью перемещения ее по прорезям основной рамы и фиксации его положения в горизонтальной плоскости по нониусу, отградуированному в единицах угла излома карданной передачи (рисунок).

Стенд состоит из электродвигателя 1, механической коробки переключения передач 2, присоединенной к входному валу карданной передачи 3, и устройства нагружения 4, присоединенного к выходному валу карданной передачи посредством раздаточного редуктора 5, уста-

новленного на подвижной раме 6 с возможностью перемещения ее по прорезям основной рамы и фиксации его положения в горизонтальной плоскости по нониусу 7, отградуированному в единицах угла излома карданной передачи.

Стенд работает следующим образом (см. рисунок). Вращающий момент от электродвигателя 1 через механическую коробку переключения передач 2 передается на карданную передачу 3. Механическая коробка переключения передач 2 позволяет менять частоту вращения карданной передачи. Раздаточный редуктор 5 при этом передает карданной передаче тормозной момент, создаваемый устройством нагружения 4, и карданная передача работает под нагрузкой. Раздаточный редуктор 5 позволяет либо отключать нагрузку для удобства монтажных операций, либо подключать нагрузку в режимах повышенных или пониженных передач, что дает возможность дополнительно управлять нагружающим моментом и скоростью вращения испытываемых карданных передач.

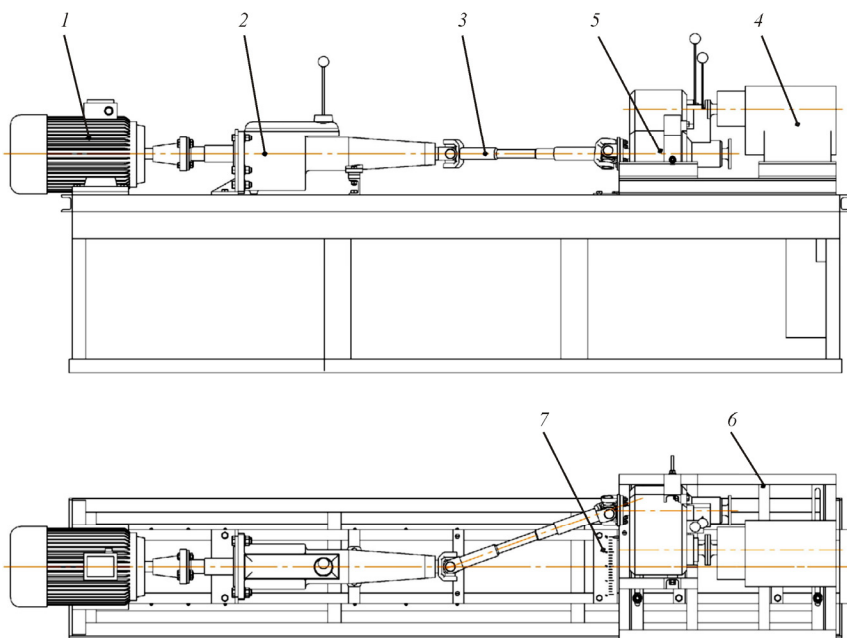


Рис. Стенд для испытания карданных шарниров на игольчатых подшипниках

Стенд представляет собой систему узлов, последовательно установленных на раме, причем система нагружения стенда установлена на подвижной раме 6 с возможностью перемещения и фиксации ее поло-

жения в горизонтальной плоскости по нониусу 7, отградуированному в единицах угла излома карданной передачи. Привод 1 присоединен к технологической передаче. Технологическая передача выполнена в виде механической коробки переключения передач 2 и присоединена к входному концу карданной передачи 3, при этом позволяет менять частоту вращения. Устройство нагружения 4, присоединенное к противоположному концу карданной передачи 3 с помощью раздаточной коробки 5, позволяет моделировать различные по величине нагрузки, как статические, так и динамические.

Угол излома карданного шарнира меняется в зависимости того, какой вид усталости материала нам необходимо получить, и находится в диапазоне от 0 до 20°. Изменение угла излома карданной передачи производим с помощью нониуса. Величины перемещения подвижной рамы в поперечном направлении относительно неподвижной верхней рамы стенда определяем исходя из сводной таблицы.

Сводная таблица величин перемещения подвижной рамы

Угол излома карданной передачи α , град	Длина карданного вала L , мм	Смещение поперечной рамы стенда b , мм	Длина смещения поперечной рамы стенда l_1 , мм
20	500,00	9,23	171,01
19	496,92	9,12	161,78
18	494,03	9,02	152,66
17	491,31	8,92	143,64
16	488,78	8,83	134,72
15	486,42	8,75	125,89
14	484,23	8,67	117,14
13	482,21	8,60	108,47
12	480,34	8,54	99,87
11	478,64	8,48	91,33
10	477,09	8,43	82,85
9	475,70	8,38	74,42
8	474,46	8,34	66,04
7	473,37	8,31	57,70
6	472,43	8,28	49,39
5	471,64	8,25	41,11

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы

Угол излома карданной передачи α , град	Длина карданного вала L , мм	Смещение поперечной рамы стенда b , мм	Длина смещения поперечной рамы стенда l_1 , мм
4	470,99	8,23	32,86
3	470,49	8,22	24,63
2	470,13	8,21	16,41
1	469,92	8,20	8,20
0	469,85	0,00	0,00

З а к л ю ч е н и е

Современное состояние вопроса об износе дает понять, что без понимания самого процесса износа невозможно создание эффективных методов борьбы с этим явлением. Анализ работ [5–14, 19–31] показал, что не всегда в основу гипотезы или точки зрения было положено экспериментальное исследование, поэтому возникает вопрос проектирования новых конструкций испытательного оборудования для проверки теоретического обоснования вопросов, связанных с износом. Была предложена новая конструкция испытательного стенда для испытания карданных передач на игольчатых подшипниках, позволяющая испытывать карданные передачи разных типоразмеров при различных углах излома карданной передачи. Стенд отличается простой конструкцией, которая позволяет использовать большой диапазон параметров нагружения при легкой настройке стенда благодаря подвижной раме и нониусу, отградуированному в единицах угла излома карданной передачи, и предназначен для исследований различных карданных передач с разнообразными типами подшипников [32], в том числе авторской разработки [33, 34]. Регулировка параметров испытаний в процессе испытания карданных передач позволяет значительно экономить энергозатраты при одновременном снижении трудоемкости испытаний.

Результаты получены в рамках выполнения гос. заданий: № 9.447.2014/к и 211/2014.

The results obtained in the framework of the state order № 9.447.2014/к and 211/2014.

Список литературы

1. Johnson K.L. Contact mechanics / Cambridge University Press 6. – Nachdruck der 1, Auflage, 2001.
2. Popov V.L. Kontaktmechanik und Reibung // Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation. – Springer-Verlag, 2009. – 328 p.
3. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction // Physical Principles and Applications. – Springer-Verlag, 2010. – 362 p.
4. Hyun S., Robbins M.O. Elastic contact between rough surfaces: Effect of roughness at large and small wavelengths // Tribology International. – 2007. – Vol. 40. – P. 1413–1422.
5. Эберхардт М. Определение возможных центров разрушения в условиях контактной усталости при качении // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1967. – № 4. – С. 241–253.
6. Тарди П., Стикловари Я. Влияние вакуумной обработки на стойкость подшипниковой стали // Сталь. – 1977. – № 5. – С. 452–455.
7. Качанов Н.Н. О характере и природе разрушения рабочих поверхностей деталей подшипников // Труды института (ВНИИП). – 1963. – № 3(35). – С. 45–59.
8. Пат. 153924 Российская Федерация, МПК⁷ G01M 13/02 (2006.01). Стенд для испытаний карданных передач / Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. № 2014147821/28; заяв. 26.11.2014; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22.
9. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Основные направления развития, улучшения и совершенствования рабочих характеристик карданных передач на игольчатых подшипниках // Решетневские чтения: материалы XVI Междунар. науч. конф. / СибГАУ. – Красноярск, 2012. – 458 с.
10. Меновщиков В.А., Ереско С.П. Исследование и совершенствование игольчатых подшипников карданных передач транспортно-технологических машин. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2006. – 283 с.
11. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско Т.Т. Анализ современных представлений и подходов при исследовании усталостных разрушений игольчатых подшипников // Решетневские чтения: материалы XVII Междунар. науч. конф.; СибГАУ. – Красноярск, 2013. – 552 с.
12. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Малоцикловая усталость игольчатого подшипника // Актуальные проблемы авиации и космо-

навтики: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. / СибГАУ. – Красноярск, 2013. – 524 с.

13. Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А. Современное состояние вопроса по исследованию пластического деформирования при статическом контактном нагружении игольчатых подшипников // Механика XXI века. – Братск, 2014. – С. 37–40.

14. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско Т.Т. Вопросы формирования усталостных трещин в материалах игольчатых подшипников карданных шарниров // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. / СибГАУ. – Красноярск, 2014. – 429 с.

15. Малаховский Я.Э., Иवानов Ю.Б. Автомобильные сцепления. Методы испытания автомобилей и его механизмов (НАМИ). – Вып. 1. – М.: Машгиз, 1951. – 108 с.

16. Пат. 2129710 Российская Федерация, МПК⁷ G01M 13/02 (1995.01). Стенд для испытаний карданных передач / Сигаев А.М., Зданович Б.С. № 96103410/28; заяв. 21.02.1996; опубл. 27.04.1999.

17. Пат. 149002 Российская Федерация, МПК⁷ G01M 13/02 (2006.01). Стенд для испытаний карданных передач / Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т. № 2014120845; заяв. 22.05.2014; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.

18. Пинегин С.В. Контактная прочность и сопротивление качению. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.

19. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.

20. Костецкий Б.И., Носовский И.Г. Износостойкость и антифрикционность деталей машин. – Киев: Техника, 1965. – 208 с.

21. Котрелл А.Х. Теория дислокаций. – М.: Мир, 1969. – 95 с.

22. Владимиров В.И. Проблемы физики и изнашивания // Физика и химия обработки материалов. – 1974. – № 2. – С. 23–30.

23. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. – М.: Металлургия, 1971. – 264 с.

24. Екобори Т. Научные основы прочности и разрушения материалов. – Киев: Наукова думка, 1978. – 351 с.

25. Трощенко В.Т. Прочность металлов при переменных нагрузках. – Киев: Наукова думка, 1978. – 173 с.

26. Уиднер Л. Распространение контактной усталости от источников поверхностного и подповерхностного происхождения // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1966. – № 3. – С. 94.

27. Эберхардт М. Микроструктурные изменения в подшипниковой стали, подвергаемой циклическому нагружению // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1966. – № 3. – С. 1–18.

28. Спектор А.Г., Зельбет Б.М., Киселева С.А. Структура и свойства подшипниковых сталей. – М.: Metallurgiya, 1980. – 263 с.

29. Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения. – М.: Metallurgiya, 1977. – 360 с.

30. Влияние внешних факторов на контактную прочность при качении / С.В. Пинегин, И.А. Шевелев, В.М. Гудченко [и др.]. – М.: Наука, 1972. – С. 19–46.

31. Нестеров В.М. Разработка методов оценки сопротивления контактной усталости конструкционных материалов. – М, 1984. – 238 с.

32. Сравнительный анализ конструкций карданных шарниров неравных угловых скоростей / С.П. Ереско, Т.Т. Ереско, Е.В. Кукушкин, В.А. Меновщиков // Вестник СибГАУ. – 2015. – Т. 16, № 3. – С. 720–728.

33. Пат. 141878 Российская Федерация, МПК7 F16 D 3/26. Карданный шарнир / Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т.; № 2014102339/11; заявл. 24.01.2014; опубл. 20.06.2014. Бюл. № 17. – 2 с.

34. Пат. 146989 Российская Федерация, МПК7 F16 D 3/26. Карданный шарнир / Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Орлов А.А., Ереско С.П., Ереско Т.Т.; № 2014119234/11; заявл. 13.05.2001; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 30. – 2 с.

References

1. Johnson K.L. Contact mechanics. Cambridge University Press 6, Nachdruck der 1, Auflage, 2001.

2. Popov V.L. Kontaktmechanik und Reibung. *Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation*. Springer-Verlag, 2009. 328 p.

3. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction. *Physical Principles and Applications*. Springer-Verlag, 2010. 362 p.

4. Hyun S., Robbins M.O. Elastic contact between rough surfaces: Effect of roughness at large and small wavelengths. *Tribology International*, 2007, vol. 40, pp. 1413-1422.

5. Eberkhardt M. Opredelenie vozmozhnykh tsentrov razrusheniia v usloviakh kontaknoi ustalosti pri kachenii [Determination of the possible destruction of the centers of the contact fatigue conditions rolling]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov*, 1967, no. 4, pp. 241-253.

6. Tardi P., Stiklovari Ia. Vliianie vakuumnoi obrabotki na stoikost' podshipnikovoi stali [Effect of vacuum treatment on the resistance bearing steel]. *Stal'*, 1977, no. 5, pp. 452-455.

7. Kachanov N.N. O kharaktere i prirode razrusheniia rabochikh poverkhnostei detalei podshipnikov [The nature and the nature of the destruction of the working surfaces of the bearing parts]. *Trudy instituta (VNIPP)*, 1963, no. 3(35), pp. 45-59.

8. Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. Stend dlia ispytaniia kardannykh peredach [The test stand driveline]. *Patent 153924 Rossiiskaia Federatsiia*.

9. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. Osnovnye napravleniia razvitiia, uluchsheniia i sovershenstvovaniia rabochikh kharakteristik kardannykh peredach na igol'chatykh podshipnikakh [Main directions of development, improve and perfect the performance driveline on needle bearings]. *Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Reshetnevskie chteniia"*. Krasnoiar'sk: Sibirskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2012. 458 p.

10. Menovshchikov V.A., Eresko S.P. Issledovanie i sovershenstvovanie igol'chatykh podshipnikov kardannykh peredach transportno-tekhnologicheskikh mashin [Study and improvement of needle bearing universal joint transmission of transport and technological machines]. Krasnoiar'skii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2006. 283 p.

11. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Eresko T.T. Analiz sovremennykh predstavlenii i podkhodov pri issledovanii ustalostnykh razrushenii igol'chatykh podshipnikov [The analysis of modern concepts and approaches in the study of fatigue failures of needle bearings]. *Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Reshetnevskie chteniia"*. Krasnoiar'sk: Sibirskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2013. 552 p.

12. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. Malotsiklovaia ustalost' igol'chatogo podshipnika. *Materialy IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi*

konferentsii "Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki". Krasnoïarsk: Sibirskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2013. 524 p.

13. Eresko T.T., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. Sovremennoe sostoianie voprosa po issledovaniuu plasticheskogo deformirovaniia pri staticheskom kontaktnom nagruzhении igol'chatykh podshipnikov [Current status of the issue on the study of plastic deformation under static loading, the contact needle roller bearings]. *Mekhaniki XXI veku*, 2014, pp. 37-40.

14. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Eresko T.T. Voprosy formirovaniia ustalostnykh treshchin v materialakh igol'chatykh podshipnikov kardannykh sharnirov [Questions of formation of fatigue cracks in materials needle bearing universal joints]. *Materialy X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki"*. Krasnoïarsk: Sibirskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2014. 429 p.

15. Malakhovskii Ia.E., Ivavnov Iu.B. Avtomobil'nye stsepleniia. Metody ispytaniia avtomobilei i ego mekhanizmov (NAMI) [Car clutch. Methods of test vehicles and its mechanisms (NAMI)]. Moscow: Mashgiz, 1951, iss. 1, 108 p.

16. Sigaev A.M., Zdanovich B.S. Stend dlia ispytaniia kardannykh peredach [The test stand driveline]. *Patent 2129710 Rossiiskaia Federatsiia*.

17. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Eresko S.P., Eresko T.T. Stend dlia ispytaniia kardannykh peredach [The test stand driveline]. *Patent 149002 Rossiiskaia Federatsiia*.

18. Pinegin S.V. Kontaknaia prochnost' i soprotivlenie kacheniiu [Contact resistance and rolling resistance]. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 243 p.

19. Kostetskii B.I. Trenie, smazka i iznos v mashinakh [Friction, lubrication and wear in machines]. Kiev: Tekhnika, 1970. 396 p.

20. Kostetskii B.I., Nosovskii I.G. Iznosostoikost' i antifriktsionnost' detalei mashin [Wear resistance and anti-friction machine parts]. Kiev: Tekhnika, 1965. 208 p.

21. Kotrell A.Kh. Teoriia dislokatsii [Dislocation theory]. Moscow: Mir, 1969. 95 p.

22. Vladimirov V.I. Problemy fiziki i iznashivaniia [Problems of physics and wear]. *Fizika i khimiia obrabotki materialov*, 1974, no. 2, pp. 23-30.

23. Ekobori T. Fizika i mekhanika razrusheniia i prochnosti tverdykh tel [Physics and fracture mechanics and strength of solids]. Moscow: Metallurgii, 1971. 264 p.

24. Ekobori T. Nauchnye osnovy prochnosti i razrusheniia materialov [Scientific bases of strength and fracture of materials]. Kiev: Naukova dumka, 1978. 351 p.

25. Troshchenko V.T. Prochnost' metallov pri peremennykh nagruzkakh [The strength of metals under variable loads]. Kiev: Naukova dumka, 1978. 173 p.

26. Uidner L. Rasprostranenie kontaknoi ustalosti ot istochnikov poverkhnostnogo i podpoverkhnostnogo proiskhozhdeniia [Dissemination of contact fatigue from sources of surface and subsurface origin]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov*, 1966, no. 3, pp. 94.

27. Eberkhardt M. Mikrostrukturnye izmeneniia v podshipnikovoi stali, podvergaemoi tsiklicheskomu nagruzhению [Microstructural changes of bearing steel subjected to cyclic loading]. *Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov*, 1966, no. 3, pp. 1-18.

28. Spektor A.G., Zel'bet B.M., Kiseleva S.A. Struktura i svoistva podshipnikovykh stali [The structure and properties of the bearing steel]. Moscow: Metallurgii, 1980. 263 p.

29. Finkel' V.M. Fizicheskie osnovy tormozheniia razrusheniia [Physical fundamentals of braking failure]. Moscow: Metallurgii, 1977. 360 p.

30. Pinegin S.V., Shevelev I.A., Gudchenko V.M. [et al.]. Vliianie vneshnikh faktorov na kontaktnuiu prochnost' pri kachenii [The influence of external factors on the strength of the rolling contact]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 19-46.

31. Nesterov V.M. Razrabotka metodov otsenki soprotivleniia kontaknoi ustalosti konstruktsionnykh materialov [Development of methods for evaluation of contact fatigue resistance of structural materials]. Moscow, 1984. 238 p.

32. Eresko S.P., Eresko T.T., Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A. Sravnitel'nyi analiz konstruktsii kardannykh sharnirov neravnykh uglovykh skorostei [Comparative analysis of structures universal joints unequal angular velocity]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, 2015, vol. 16, no. 3, pp. 720-728.

33. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Eresko S.P., Eresko T.T. Kardannyi sharnir [Joint]. *Patent 141878 Rossiiskaia Federatsiia*.

34. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Orlov A.A., Eresko S.P., Eresko T.T. Kardannyi sharnir [Joint]. *Patent 146989 Rossiiskaia Federatsiia*.

Получено 31.05.2016

Об авторах

Кукушкин Евгений Владимирович (Красноярск, Россия) – аспирант кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: ironjeck@mail.ru).

Ереско Сергей Павлович (Красноярск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева, заслуженный изобретатель Российской Федерации, член-корреспондент Академии наук Высшей школы Российской Федерации (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: eresko07@mail.ru).

Ереско Татьяна Трофимовна (Красноярск, Россия) – доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: ereskott@mail.ru).

Меновщиков Владимир Александрович (Красноярск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31, e-mail: menovchikovva@mail.ru).

Орлов Александр Александрович (Красноярск, Россия) – аспирант кафедры «Основы конструирования машин» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (660014, г. Красноярск, пр. Имени газеты «Красноярский рабочий», 31).

About the authors

Evgenii V. Kukushkin (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev (31, Krasnoyarskii Rabochii av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: ironjeck@mail.ru).

Sergei P. Eresko (Krasnoiarsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev, Honored Inventor of the Russian Federation, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Russian Federation Higher School (31, Krasnoiarskii Rabochii av., Krasnoiarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: eresko07@mail.ru).

Tatiana T. Eresko (Krasnoiarsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev (31, Krasnoiarskii Rabochi av., Krasnoiarsk, 660037, Russian Federation, a-mail: ereskott@mail.ru).

Vladimir A. Menovchikov (Krasnoiarsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev (31, Krasnoiarskii Rabochi av., Krasnoiarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: menovchikovva@mail.ru).

Aleksandr A. Orlov (Krasnoiarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev (31, Krasnoiarskii Rabochii av., Krasnoiarsk, 660037, Russian Federation).