

УДК 631.3.004.67

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-5-32-39

В.В. Капустин, Е.А. Памфилов, Е.В. Шевелева, Г.А. Пилюшина

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАНИПУЛЯТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Выбраны перспективные конструкторско-технологические пути для обеспечения высоких показателей износостойкости и снижения затрат на трение применительно к условиям работы деталей в шарнирных узлах.

Предложены основы создания новых конструкций подшипников скольжения повышенной износостойкости за счёт формирования благопри-

ятных уровней напряжённого состояния функциональных слоёв, а также теплофизических и демпфирующих показателей.

**Ключевые слова:** работоспособность, шарнирные соединения, износостойкость, долговечность, триботехнические свойства, шероховатость, узлы, материалы.

V.V. Kapustin, E.A. Pamfilov, E.V. Shevelyova, G.A. Pilyushina

## SWIVEL JOINT WEAR-RESISTANCE INCREASE OF PROCESSING MACHINE MANIPULATORS

The work purpose: the choice of promising design-technological ways to support high indices of wear-resistance and friction costs decrease with regard to conditions of parts operation in swivels.

The research methods: the set of tribotechnical researches on wear-resistance, on friction loss and physical and chemical parameters.

The novelty: there are offered fundamentals for development of new designs of sliding bearings with increased wear-resistance at the expense of the favorable stressed state formation in functional layers, and also thermal physical and damping indices.

Investigation results: support of increased thermal conductivity and thermal capacity increase of the materials under consideration gives possibility to increase considerably the friction unit efficiency in swiv-

els, and also at the expense of thermal power accumulation with structural constituents of materials. Wear-resistance increase in the friction unit is provided with the formation of residual compression stresses in a functional surface layer, and the presence of an expanded spring in the bearing system contributes to the increase of its damping characteristics.

Conclusions: the design and technological methods offered for working capacity increase and life increase of swivel parts allow assuring increased mechanical and tribological characteristics to a considerable extent and optimizing thermal modes.

**Key words:** working capacity, swivels, wear-resistance, life, tribotechnical properties, roughness, units, materials.

### Введение

Во многих отраслях промышленности широко используются технологические машины манипуляторного типа. К ним предъявляются высокие требования по эксплуатационной надёжности многочисленных триботехнических узлов, среди которых выделяются шарнирные соединения, поскольку износ их деталей в значительной мере определяет ресурс машины в целом, а их износостойкость, во многих случаях, является недостаточной. Для повышения износостойкости шарнирных соединений необходимо согласованное обеспечение благоприятных уровней значительного числа конструкторско-технологических параметров. В частности,

целесообразной является оптимизация характера относительного перемещения фрикционно-контактирующих поверхностей деталей и снижение действующих на них нагрузок. Это связано с тем, что указанные факторы определяют износостойкость и сопротивляемость трению, а также тепловой режим их работы, напряжённое состояние функциональных поверхностных слоёв, и прочность неподвижных соединений.

Всё это должно учитываться при обосновании перспективных путей повышения износостойкости шарнирных узлов манипуляторов, достигаемого за счёт направленного управления свойствами по-

верхностных слоёв при проектировании и изготовлении фрикционно-контактирующих деталей [1, 6, 16]. Вместе с тем теоретическое решение этой задачи затруднено из-за сложности математических моделей, связывающих показатели износа и трения с характеристиками качества поверхностного слоя, и объёмными свойствами подшипниковых материалов. Кроме того, не всегда удаётся выявить преимущественные механизмы процессов трения и изнашивания в рассматриваемых триботехнических узлах. В то же время,

очевидно, что для создания более износостойких конструкций подшипниковых узлов необходимо решение многих конструкторских и технологических задач формирования благоприятного уровня функциональных свойств изнашиваемых деталей. Поэтому целью настоящей статьи является выбор перспективных конструкторско-технологических путей обеспечения высоких показателей износостойкости и снижения затрат на трение применительно к условиям работы деталей в шарнирных узлах.

### Возможности повышения износостойкости шарниров манипуляторов

Основным узлом шарнирного соединения является его поворотное устройство, состоящее из шарнирного пальца, разме-

щаемого в двух проушинах - подвижной и неподвижной. Упрощённая схема этого узла представлена на рис. 1.

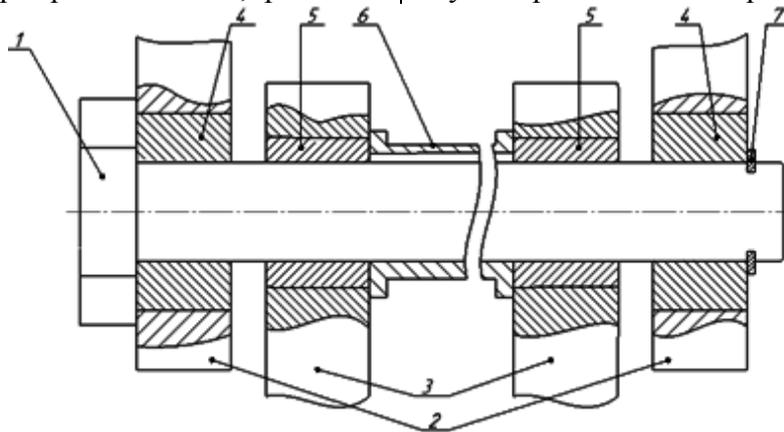


Рис. 1. Схема шарнирного соединения звеньев манипулятора:  
1 – шарнирный палец; 2,3 – проушины смежных звеньев манипулятора;  
4 – вкладыши неподвижного соединения; 5 – вкладыши подшипников скольжения; 6 – распорная втулка; 7 – стопорное кольцо

Особенностью эксплуатации шарнирных соединений является то, что их работа осуществляется в неблагоприятных условиях нагружения при реверсивном возвратно-вращательном трении. Фрикционные пары, работающие в таком режиме, изнашиваются интенсивнее, чем при одностороннем повороте, по причине того, что в функциональном поверхностном слое происходит периодическое изменение величины и знака сдвиговых деформаций и возникающих при этом напряжений [4]. Для повышения износостойкости деталей при реверсивном характере относительно перемещения целесообразным является использование такой конструкции шарнирного соединения, в которой исключается возвратно-вращательное трение и за-

меняется односторонним. Это может быть достигнуто за счёт использования храповых или иных механизмов формирования одностороннего поворота [2, 8]. При этом необходимо иметь в виду, что такой путь неизбежно связан с усложнением конструкции и технологии изготовления шарнирных соединений.

Немаловажным для повышения износостойкости пар трения шарнирных соединений является создание условий для минимизации выделения энергии при работе. Поскольку величина генерируемой при трении энергии определяется, главным образом, уровнем действующих нагрузок и реализующегося в соединении коэффициента трения, то целесообразным является применение в узлах трения антифрикци-

онных материалов, покрытий, промежуточных антифрикционных сред, снижающих и стабилизирующих коэффициент трения. Существенное значение имеет и уменьшение нагрузок, действующих в рассматриваемых фрикционных соединениях и степени динамичности их приложения.

Для снижения трения в подвижных соединениях шарниров во многих случаях целесообразно создание новых конструкций подшипников скольжения и использования перспективных полимерных и композиционных материалов, формируемых на различной основе. Эффективным является применение слоистых, углеродистых и металлокерамических материалов. При этом выбор тех или иных материалов должен осуществляться исходя из конкретных условий эксплуатации, а также с учётом того что применяемые в настоящее время антифрикционные материалы далеко не всегда отвечают в полной мере по своим функциональным характеристикам условиям эксплуатации шарнирных соединений [17-19]. Сложность выбора подшипниковых материалов усугубляется тем, что они чаще всего обладают либо высокими антифрикционными свойствами, но достаточно низкими механическими (например, антифрикционные сплавы цветных металлов, баббиты, полимерные материалы), либо, наоборот, высокими механическими свойствами, но недостаточными антифрикционными (например, стали с поверхностным упрочнением, некоторые чу-

гуны). Невысокими являются и их демпфирующие характеристики.

В то же время для повышения износостойкости и увеличения срока службы деталей шарниров необходимо одновременное обеспечение и высоких механических, и триботехнических свойств материалов пар трения. Поэтому важным является создание таких материалов и конструкций шарниров, в которых достигается достаточный уровень указанных параметров. Наряду с минимизацией выделения энергии в рассматриваемых соединениях должны обеспечиваться и условия для того, чтобы генерируемая энергия и, прежде всего, её тепловая составляющая более эффективно выводилась из зоны фрикционного контактирования. В то же время существующие материалы далеко не всегда соответствуют предъявляемым в этой части требованиям к антифрикционным материалам. Особенно это является актуальным при использовании в качестве матрицы создаваемых материалов искусственных или растительных полимеров [7]. Поэтому важным является обеспечение повышенного уровня теплопроводности, температуропроводности и увеличения теплоемкости используемых материалов, достигаемой в том числе и за счёт способности их структурных составляющих аккумулировать тепло, выделяющееся в процессе эксплуатации подшипниковых узлов. Структурные схемы материалов, соответствующих указанным требованиям, приведены на рис. 2.

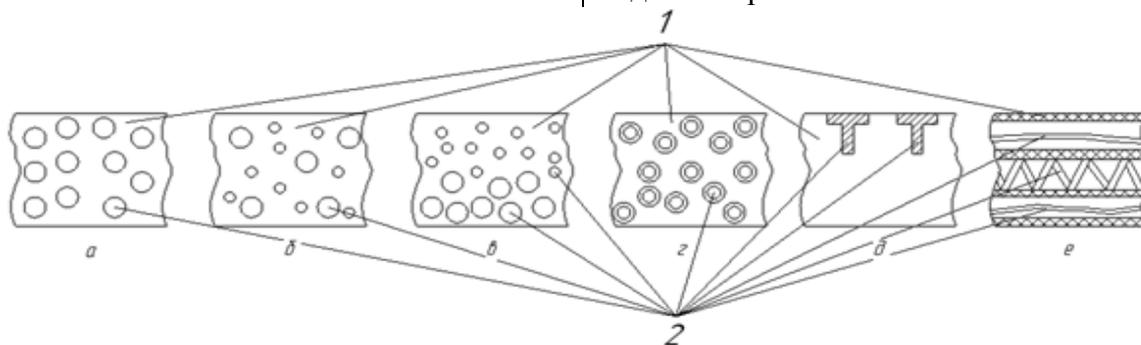


Рис. 2. Схемы распределения и форма металлической фазы в полимерно-металлических композиционных материалах: 1 – полимерная матрица, 2 – металлическая фаза; а – сферическая фаза одинаковой дисперсности [9]; б – сферическая фаза разной дисперсности [10]; в – фаза различной дисперсности, послойно размещенная в матрице [11]; г – биметаллическая фаза; д – поверхностно расположенные теплоотводящие макроэлементы [13]; е – чередование древесного шпона и металлической составляющей в виде металлической полосы, сетки или пружин [12, 14]

Благоприятным представляется введение в структуру антифрикционного материала термоаккумулирующих элементов, позволяющих повысить интенсивность отвода тепла из функциональных поверхностных слоев. Таким образом, обеспечивается стабилизация температурного режима работы триботехнических узлов. Повысить теплопоглощение в объеме материалов триботехнических узлов шарнирных соединений можно путём использования в их конструкциях элементов, содержащих легкоплавкие материалы, в которых обеспечивается затраты значительной части тепла, выделяющегося при трении на

плавление металлической составляющей. За счёт этого достигается снижение температурного режима работы конструктивных элементов триботехнических узлов, в том числе и подшипниковых [5]. Используя совокупный подход создания конструкции подшипника скольжения [15], позволяющий реализовать его теплоаккумулирующие возможности, при одновременном обеспечении благоприятных остаточных напряжений сжатия в функциональном поверхностном слое, предложена новая конструкция подшипникового узла шарнира манипулятора, которая представлена на рис. 3.

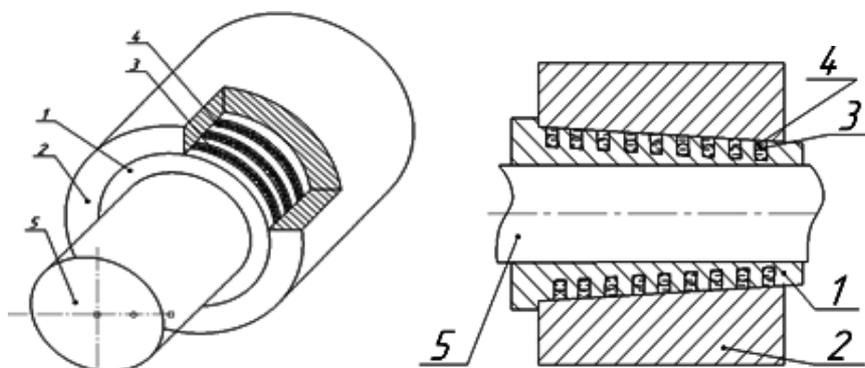


Рис. 3. Конструкция теплоаккумулирующего подшипника с регламентированным уровнем напряжённого состояния функциональных слоёв: а – общий вид; б – продольный разрез;  
1 – внутренняя антифрикционная втулка; 2 – опорная наружная втулка;  
3 – пружина растяжения; 4 – легкоплавкий материал; 5 – шарнирный палец

Рассматриваемый подшипник состоит из внутренней антифрикционной втулки 1, в которой на наружной её конической поверхности выполнена винтовая канавка, опорной наружной втулки 2, пружины растяжения 3, при этом в винтовой канавке предусмотрена полость для размещения легкоплавкого материала 4. Наружную втулку 2 рекомендуется изготавливать из среднеуглеродистой термически обработанной конструкционной стали. Для внутренней втулки 1 целесообразно использовать антифрикционные материалы, например, бронзу. При этом модуль упругости материала наружной втулки 2 задаётся равным не менее 1,5-2 кратного значения модуля упругости внутренней втулки 1. Внутренняя поверхность наружной втулки 2, и наружная поверхность внутренней втулки 1 соединяются по конической по-

садке, в которой при запрессовке формируется гарантированный натяг. За счёт этого натяга обеспечивается неподвижность соединения обеих втулок, и формируются в функциональном слое благоприятные остаточные напряжения сжатия.

С этой же целью в конструкцию подшипника скольжения введена достаточно жёсткая пружина растяжения 3. Для её размещения на наружной поверхности внутренней втулки 1 выполняется винтовая канавка. Пружина находится в растянутом состоянии, при этом степень растяжения пружины, размещаемой в винтовой канавке, составляет 20-35 % от её номинальной длины. Эта же пружина также позволяет в определённой степени гасить (демпфировать) колебания, возникающие в триботехнических соединениях. Таким образом, создание благоприятного уровня

управляемых остаточных напряжений в функциональном поверхностном слое внутренней втулки подшипника скольжения осуществляется за счёт действия сжимающих нагрузок, формируемых растянутой пружиной 3 и вследствие посадки с натягом соединяемых втулок подшипников скольжения. В результате создаются условия для достижения повышенных значений износостойкости и контактной усталостной прочности, за счёт создания управляемых благоприятных остаточных напряжений сжатия на рабочей поверхности. Одновременно достигается и снижение вибраций при работе подшипника.

Как указывалось выше, конструкцией подшипника скольжения предусмотрено формирование замкнутого внутреннего пространства, в котором, наряду с пружиной 3 размещается легкоплавкий материал 4. Его основным назначением является стабилизация теплового режима работы подшипника при колебаниях рабочей температуры. Для этого, оставшийся свободным от пружины объём канавки заполняется на 90-95% легкоплавким материалом, например, сплавом, содержащим висмут – 35,3 %, кадмий – 9,5 %, свинец – 35,1 %, олово – 20,1 % (температура плавления  $T_{пл}$  80°C), или сплавом Розе, содержащем висмут – 50 %, олово – 25 %, свинец – 25 % ( $T_{пл}$  90°C), а также сплава висмута – 57 % и олово – 43 % ( $T_{пл} = 138$  °C). Теплопоглощение в процессе работы предложенного подшипника скольжения проис-

ходит за счёт аккумуляции энергии, выделяющейся в результате трения в подшипнике скольжения. Это способствует оптимизации температурного режима работы подшипникового узла, при этом требуемый температурный режим определяется температурой плавления используемого сплава [7].

При сборке подшипника соединение его внутренней 1 и наружной втулки 2 осуществляется путём поэтапной запрессовки с текущим контролем внутреннего диаметра подшипника и введением его фактического размера, по мере необходимости, в заданное поле допуска. Одновременно обеспечивается корректировка напряжённого состояния за счёт осевого относительного перемещения сопрягаемых втулок 1 и 2 и увеличения тем самым величины натяга и, соответственно, напряжённого состояния рабочего поверхностного слоя подшипника. Дополнительно для повышения износостойкости и снижения коэффициента трения на рабочей поверхности внутренней втулки подшипника скольжения целесообразно задавать благоприятный регулярный рельеф, и создавать условия для реализации избирательного переноса, например, путём поверхностного пластического деформирования или электроискровой обработки [3]. Формирование благоприятной поверхностной структуры даёт возможность повысить антифрикционные и демпфирующие характеристики в контакте вал-подшипник.

### Заключение

Повышение износостойкости и увеличение срока службы деталей шарнирных соединений может быть достигнуто посредством обеспечения благоприятных значений совокупностей параметров и свойств материалов. При этом одним из основных факторов, влияющим на износостойкость шарниров, является температура в зоне трения. Поэтому обеспечение повышенного уровня теплопроводности, температуропроводности и увеличения теплоемкости используемых материалов даёт возможность значительно повысить износостойкость узлов трения шарнирных соединений, в том числе, за счет аккумуля-

лирования тепловой энергии структурными составляющими используемых материалов. Повышенный теплоотвод из зоны трения может быть обеспечен как металлическими включениями высокой теплопроводности, так и за счёт включения в конструкцию шарнирного соединения легкоплавкого содержимого.

Кроме того, повышение износостойкости узла трения обеспечивается и созданием управляемых в функциональном поверхностном слое остаточных напряжений сжатия. При этом требуемый уровень остаточных напряжений формируется за счёт действия нагрузок, создаваемых рас-

тянутой пружиной и вследствие посадки с натягом соединяемых конических втулок подшипников скольжения. Помимо этого, наличие в подшипниковой системе растя-

нутой пружины способствует увеличению демпфирующих характеристик подшипника скольжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сильман, Г. И. Триботехническое материаловедение и триботехнология: учеб. для вузов / Г. И. Сильман, О. А. Горленко. – М.: Машиностроение, 2006. – 348 с. – ISBN 5-94275-306-7.
2. Лагереv, И. А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография / И. А. Лагереv. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с. – ISBN 978-5-9734-0248-8.
3. Лебедев, В. А. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки/ под ред. А. В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 403 с. – ISBN 978-5-4442-0056-8.
4. Серебрянский, А. И. Повышение износостойкости шарнирных соединений манипуляторов при ремонте / А. И. Серебрянский, Д. Н. Афоничев, А. В. Ворохобин // Вестник Воронежского аграрного государственного университета. Теоретический и научно-практический журнал. – 2012. – Вып. 2 (33). – С. 107-111.
5. Справочник технолога - машиностроителя. Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.
6. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений/ А. Г. Сулова [и др.]; под общ. ред. А. Г. Сулова. – Москва: Машиностроение, 2006. – 447 с. – ISBN 5-217-03308-8
7. Памфилов, Е. А. Антифрикционные армированные древесно-металлические материалы / Е. А. Памфилов, Е. В. Шевелева, Г. А. Пилюшина // Трение и износ. - 2019. - Т.40. - № 1. – С. 121-128.
8. Патент № 2242644 Российская Федерация, МПК F16C 11/00. (2004.12). Шарнирное соединение: № 2003118950/11: заявл. 24.06.2003: опубл. 20.12.2004 / Серебрянский А. И., Смогунов Н. С., Пошарников Ф. В.; заявитель ВГЛТА. – 4 с.
9. Патент № 2286489 Российская Федерация, МПК F16C 33/18 (2006.01). Подшипник скольжения: № 2005107109/11: заявл. 14.03.2005: опубл. 27.10.2006 / Памфилов Е. А., Шевелева Е. В., Сидоров О. В., Муратов Д. И.; заявитель БГИТА. – 4 с.
10. Патент № 2289732 Российская Федерация, МПК F16C 33/24 (2006.01). Подшипник скольжения: № 2005121070/114 заявл. 05.07.2005: опубл. 20.12.2006 / Памфилов Е. А., Шевелева Е. В., Сидоров О. В., Муратов Д. И.; заявитель БГИТА. – 6 с.
11. Патент № 2432508 Российская Федерация, МПК F16C 33/04, 33/24 (2006.01). Подшипник скольжения: № 2007143028/11; заявл. 20.11.2007: опубл. 27.05.2009/ Памфилов Е. А., Сидоров О. В., Шевелева Е. В., Алексева Е. В., Пилюшина Г. А.; заявитель БГИТА. – 4 с.
12. Патент № 108519 Российская Федерация, МПК F16 C33/04 (2006.01). Подшипник скольжения: № 2011113560/11: заявл. 07.04.2011: опубл. 20.09.2011/ Памфилов Е. А., Лукаш А. А., Прусс Б. А., Пилюшина Г. А.; заявитель БГИТА. – 2 с.
13. Патент № 2226240 Российская Федерация, МПК F16 C 33/04 (2000.01). Подшипник скольжения: № 2001131695/28: заявл. 23.11.2001: опубл. 27.03.2004 / Памфилов Е. А., Евельсон Л. И., Симин А. П., Шевелева Е. В.; заявитель БГИТА. – 5 с.
14. Патент №177912 Российская Федерация, МПК F16C 33/04, 33/24(2006.01). Подшипник скольжения 2017120579: заявл. 13.06.2017: опубл. 15.03.2018 / Памфилов Е. А., Пилюшина Г. А., Осипов А. А.; заявитель БГТУ. – 4 с.
15. Патент №2726348 Российская Федерация, МПК F16C 17/00, F16C 33/24 (2006.01). Подшипник скольжения: № 2019133054; заявл. 16.10.2019: опубл. 13.07.2020 / Памфилов Е. А., Капустин В. В., Пилюшина Г. А., Пыриков П. Г., Шевелева Е. В.; заявитель БГТУ. – 5 с.
16. Чичиндзе, А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для вузов. -2-е изд., перераб. и доп./ А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с. – ISBN 5-217-03053-4.
17. Lawrowski, Z. Polymers in the construction of serviceless sliding bearings / Z. Lawrowski // Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2007. Vol. VII, N. 4. P. 139 – 150.
18. Metal/Polymer Composite Plain Bearings // Schaeffler Technologies AG & Co. KG. 2012. URL: <http://www.ina.com> (дата обращения 11.01.2020).
19. Metal-Polymer Sliding Bearings // CLI Industrial Co., Ltd. URL: <http://www.cli-industrial.com> (дата обращения 11.01.2020).
1. Silman, G. I. Tribotechnical Material Science and Tribotechnology: college textbook / G. I. Silman, О. А. Gorlenko. – М.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 348. - 348 с. – ISBN 5-94275-306-7.

2. **Lagerev, I. A.** *Modeling of Working Processes in Manipulating Systems of Mobile Multiple Purpose Transport-technological Machines and Complexes*: monograph / I. A. Lagerev. – Bryansk: RIO BSU, 2016 – pp. 371. - ISBN 978-5-9734-0248-8.
3. **Lebedev, V. A.** *Efficient Technologies of Surface Plastic Deformation and Combined Processing* / under the editorship of A. V. Kirichek. – M.: “Spectrum” Publishing House, 2014. – pp. 403. - ISBN 978-5-4442-0056-8.
4. **Serebryansky, A. I.** Wear-resistance increase in manipulator swivels at repair / A. I. Serebryansky, D. N. Afonichev, A. V. Vorokhobin // *Bulletin of Voronezh Agricultural State University. Theoretical and Science-Practical Journal*. – 2012. – Issue 2(33). – pp. 107-111.
5. **Technologist-Machine Engineer’s Reference Book**. Vol.2. / under the editorship of A. M. Dalsky, A. G. Suslov, A. G. Kosilova, R. K. Meshcheryakov. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – pp. 944.
6. **Technological Support and Operation Properties Increase of Parts and Their Joints** / A. G. Suslov [et al.]; under the general editorship of A. G. Suslov. – Moscow: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 447. - ISBN 5-217-03308-8
7. **Pamfilov, E. A.** Antifriction reinforced wood-metal materials / E. A. Pamfilov, E. V. Shevelyov, G. A. Pilyushina // *Friction and Wear*. – 2019. – Vol.40. – No.1. – pp. 121-128.
8. **Patent No.2242644 the Russian Federation, IPC F16C 11/00. (2004.12).** *Swivel*: No.2003118950/11: applied: 24.06.2003; published: 20.12.2004 / Serebryansky A. I., Smogunov N. S., Posharnikov F. V.; applicant: VGLTA. – pp. 4.
9. **Patent No. 2286489 the Russian Federation, IPC F16C 33/18 (2006.01).** *Sliding Bearing*: No.2005107109/11: applied: 14.03.2005; published: 27.10.2006 / Pamfilov E. A., Shevelyova E. V., Sidorov O. V., Muratov D. I.; applicant: BGITA. – pp. 4.
10. **Patent No.2289732 the Russian Federation, IPC F16C 33/24 (2006.01).** *Sliding Bearing*: No.2005121070/114 applied: 05.07.2005; published: 20.12.2006 / Pamfilov E. A., Shevelyova E. V., Sidorov O. V., Muratov D. I.; applicant: BGITA. – pp. 6.
11. **Patent No.2432508 the Russian Federation, IPC K F16C 33/04, 33/24 (2006.01).** *Sliding Bearing*: No.2007143028/11; applied: 20.11.2007; published: 27.05.2009/ Pamfilov E. A., Sidorov O. V., Shevelyova E. V., Alexeeva E. V., Pilyushina G. A.; applicant: BGITA. – pp. 4.
12. **Patent No.108519 the Russian Federation, IPC F16 C33/04 (2006.01).** *Sliding Bearing*: No.2011113560/11: applied: 20.09.2011/ Pamfilov E. A., Lukash A. A., Pruss B. A., Pilyushina G. A.; applicant: BGITA. – pp.2.
13. **Patent No.2226240 the Russian Federation, IPC F16 C 33/04 (2000.01).** *Sliding Bearing*: No.2001131695/28: applied: 23.11.2001; published: 27.03.2004 / Pamfilov E. A., Evelson L. I., Simin A. P., Shevelyova E. V.; applicant: BGITA. – pp. 5.
14. **Patent No.177912 the Russian Federation, IPC F16C 33/04, 33/24 (2006/01).** *Sliding Bearing* No.2017120579; applied: 13.06.2017; published: 15.03.2018 / Pamfilov E. A., Pilyushina G. A., Osipov A. A.; applicant: BSTU. – pp. 4.
15. **Patent No.2726348 the Russian Federation, IPC F16C 17/00, F16C 33/24 (2006.01).** *Sliding Bearing*: No.2019133054; applied: 16.10.2019; published:13.07.2020 / Pamfilov E. A., Kapustin V. V., Pilyushina G. A., Pyrikov P. G., Shevelyova E. V.; applicant: BSTU. – pp.5.
16. **Chichinadze, A. V.** *Tribology Fundamentals (Friction, Wear, Lubrication)*: College Textbook. 2-d edition revised and supplemented. / A. V. Chichinadze, E. D. Brown, N. A. Bushe et al.; under the general editorship of A. V. Chichinadze. – M.: Mechanical Engineering, 2001. – pp. 664. - ISBN 5-217-03053-4.
17. **Lawrowski, Z.** Polymers in the construction of serviceless sliding bearings / Z. Lawrowski // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2007. Vol. VII, N. 4. P. 139 – 150.
18. **Metal/Polymer Composite Plain Bearings** // Schaeffler Technologies AG & Co. KG. 2012. URL: <http://www.ina.com> (address date: 11.01.2020).
19. **Metal-Polymer Sliding Bearings** // CLI Industrial Co., Ltd. URL: <http://www.cli-industrial.com> (address date: 11.01.2020).

Ссылка для цитирования:

Капустин, В.В. Повышение износостойкости шарнирных соединений манипуляторов технологических машин / В.В. Капустин, Е.А. Памфилов, Е.В. Шевелева, Г.А. Пилушина // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 5. – С. 32 - 39. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-5-32-39.

Статья поступила в редакцию 02.03.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева

Савин Л.А.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 26.04.21.

**Сведения об авторах:**

**Капустин Владимир Васильевич** аспирант кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, тел. 8-920-868-37-47, e-mail: vovakapustin1990@mail.ru.

**Памфилов Евгений Анатольевич**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, тел. 8-905-100-17-51, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

**Kapustin Vladimir Vasilievich**, Post graduate student of the Dep. "Tribological Material Science and Material Techniques", Bryansk State Technical University, phone: 8 920 868 37 47, e-mail: voakapustin1990@mail.ru.

**Pamfilov Yevgeny Anatolievich**, Dr. Sc. Tech., Prof., Head of the Dep. "Tribological Material Science and Material Techniques", Bryansk State Technical University, phone: 8 905 100 17 51, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

**Шевелева Елена Викторовна**, к.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис» Брянского государственного инженерно-технологического университета, тел. 8-910-332-05-30, e-mail: elshev78@yandex.ru.

**Пилюшина Галина Анатольевна**, к.т.н., доцент кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, тел. 8-920-604-39-13, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.

**Shevelyova Helen Victorovna**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Transport-Technological Machines and Maintenance", Bryansk State Engineering-Technological University, phone: 8 910 332 05 30, e-mail: elshev78@yandex.ru.

**Pilyushina Galina Anatolievna**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Tribological Material Science and Material Techniques", Bryansk State Technical University, phone: 8 920 604 39 13, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.