

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

МРНТИ 55.03.33 55.42.27

<sup>1</sup>Б.Н.Нуралин, <sup>2</sup>М.К.Куанышев

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский аграрно-технический университет  
им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан

<sup>2</sup>Актюбинский региональный государственный университет  
им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАВА МЕДИ

---

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы восстановления подшипников скольжения для двигателей внутреннего сгорания с целью продления сроков их службы при наименьших затратах. Установлены причины и характер износа; предложены методы восстановления и технология фрикционного омеднения стальной детали. Доказано, что износ омедненной поверхности скольжения подшипника меньше в 9 раз по сравнению со стандартной алюминиево-оловянной поверхностью скольжения. Предварительное омеднение поверхности трения (шейки вала) методом фрикционного омеднения позволяет снизить силу трения и изнашивание более чем в 2 раза, приближая режим трения за счет возможного атомарного избирательного переноса меди в контакте со стальной поверхностью вала, к безыносному трению. Особенность метода заключается в создании медного слоя на скользящей поверхности вкладыша независимо от того, какой антифрикционный слой применялся на вкладыше до его реставрации. Технология металлизации позволяет получать слой напыленной меди как на алюминиево-оловянной поверхности вкладышей, так и на многослойных вкладышах, производимых за рубежом.

**Ключевые слова:** подшипники скольжения, фрикционное омеднение, безыносное трение, избирательный перенос меди, напыление медью, антифрикционный слой.

\* \* \*

**Түйіндеме.** Мақалада іштен жану қозғалтқыштары (ІЖК) үшін сырғанау подшипниктерін төмен шығындармен қалпына келтіру мақсатында олардың қызмет жасау мерзімдерін ұзарту сұрақтары қарастырылып отыр. Зерттеудің нәтижелерімен тағайындалды: тозудың себептері мен сипаттары. Болатты белшектерді технологиялық фрикционды мыстау және мыс

ертіндісін қолдану арқылы сырғанау подшипниктерді қалпына келтіру әдістері; стандарттық алюминді-қалайлы сырғанау подшипниктерімен салыстырғанда мыстан жасалған подшипниктің беттік тозу қарқындылығы тоғыз рет кем және оның жұмыс жасау ресурсы артады; алдын-ала жұмыстық беттіктерді (білік мойындықтарын) фрикционды әдіспен мыстау үйкеліс күштері мен тозу қарқындылығын екі еседен жоғары төмендетеді, болат біліктің мыспен жанасып үйкелісінде атомарлық ауысу мүмкіндігі арқасында тозусыз үйкеліске әкеледі; ұсынылып отырған әдістің ерекшелігі жөндеуге дейін қандай фрикциондыққа қарсы қаптаманың болуына қарамай, подшипниктің сырғанау бетінде мысталған қаптаманың пайда болуын қаптамасыз ету. Металдау технологиясы бүркілген мыс қаптамасын тек қана стандарттық алюминді-қалайлы сырғанау подшипниктерінің беттерінде емес, сол сияқты шетелдердің көп қаптамалы подшипниктерінің сырғанау беттерінде алуға мүмкіндік жасайды.

**Түйінді сөздер:** сырғанау подшипниктері, фрикционды мыстау, тозусыз үйкеліс, мыстың таңдау беттікке ауысуы, мысты беттік бүрку, фрикциондыққа қарсы қаптама.

\* \* \*

**Abstract.** The problems of restoration of sliding bearings for internal combustion engines were considered. Purpose of the work – the extension of their service at the lowest cost. The reasons and character of runout are identified; the methods of copper coating and technology of the friction copper coating of steel tool are proposed. It is proved that the runout of copper coated surface of sliding of bearing 9 times less than standard aluminium-tin-slip surface. Preliminary copper coating of friction (shaft journal) by the method of friction copper coating allow to decrease the friction power and runout more than two times, bringing the friction mode due to the possible atomic selective transfer of copper in contact with steel surface of rod, to no-runout friction. The peculiarity of the method is to create copper layer on sliding surface of the insert, no matter what kind of anti-frictional layer was used before its restoration. The technology of metallization allows to obtain the layer of deposited copper on aluminium-tin-liner surface, as well as laminated liners made abroad.

**Key words:** sliding bearings, friction copper coating, no-runout sliding, selective transfer of copper, copper depositing, anti-friction layer.

**Введение.** Конструкция подшипников скольжения в настоящее время отработана до высокой степени технологичности. В качестве вращающегося звена подшипника используются шейки коленчатых валов, выполненных из стали или чугуна с упрочнением каким-либо методом повышения поверхностной твердости шейки (высокочастотная закалка, цианирование, азотирование и т.п.) в соответствии с технологиями заводов-изготовителей валов.

Опорная поверхность подшипников выполняется в виде сменных вкладышей, имеющих поверхность скольжения из специальных материалов, отличающихся малой твердостью, высокой прирабатываемостью, низким коэффициентом трения, высокой адгезией масла, высокой теплопроводностью и др. свойствами с целью получения минимального трения во фрикционном контакте шейки вала и вкладышей [1-7]. В практике советских заводов, снабжавших вкладышами подшипников, практически все ремонтные предприятия СНГ, а также поставлявшиеся в зарубежные страны вкладышей подшипников, было применение вкладышей с поверхностью скольжения из алюминивно-оловянного сплава (табл. 1,2).

Зарубежные производители выпускают вкладыши с многослойными поверхностями скольжения, применяя некоторые металлы, отличающиеся высокой теплопроводностью, высокими антифрикционными свойствами, например свинцово-индиевый сплав, поскольку индий значительно уменьшает коэффициент трения. Стальные фильеры для волочения алюминия после

Таблица 1

**Состав сплава антифрикционного слоя подшипников скольжения  
(Заволжский моторный завод)**

Обозначение сплава	Химический состав антифрикционного сплава, %					
	Sn	Cu	Pb	Al	Si	Cr
АМО 1-20	20	1	–	79	–	–
АО-6	6	1	–	93	–	–
АО 15К3	15	1	–	81	3	-
АМО 2-15	15	2	–	83	–	-
АО 18МХ	18	1	–	81,7	–	0,3
АМО 1-30	30	1	–	69	–	–
АМО 1-40	40	1	–	59	–	–
АМО 1-10	10	1	–	89	–	–
АО 12К2.5С1.5М	12	1	1,5	83	2,5	–
АО 6К2.5	6	–	–	91,5	2,5	–

**Состав сплава антифрикционного слоя подшипников скольжения  
(Тамбовский завод подшипников)**

Обозначение сплава	Химический состав антифрикционного сплава, %				
	Sn	Cu	Al	Pb	Zn
АО-20	20	1	79	–	–
АО-12	12	1	87	–	–
АО-6	6	1	93	–	–
АО 10С2	10	–	88	2	–
Бр.ОФ 6,5-0,15	6,5	93,5	–	–	–
Бр.ОЦС 4-4-2,5	4	89,5	–	2,5	4

покрытия индием изнашиваются почти в 1,5 раза медленнее, чем обычные. Покрытия Pb - In улучшают антифрикционные свойства вкладышей подшипников, работающих в условиях повышенного давления и скоростей скольжения. Гальванические покрытия являются более однородными по всей толщине слоя, чем термодиффузионные. Широко используется борфтористоводородный электролит для покрытия деталей сплавами Pb - In. Перхлоратный и этилендиаминовый электролиты применяют реже из-за высокой стоимости органических соединений и возможности возникновения взрывных реакций [6,7]. В настоящее время заводы России, Украины, производившие вкладыши подшипников, переходят на их производство по технологиям зарубежных фирм.

В Казахстане и других странах СНГ в качестве легковых автомобилей используются автомобили зарубежного производства. При высоком ресурсе межремонтного периода таких автомобилей в любом случае возникает вопрос об их ремонте. При этом фирменные запасные части автомобилей производства ведущих европейских, японских и американских фирм в Казахстан и страны СНГ либо не поступают, либо поступают в ограниченном количестве. Для ремонта используются запасные части производства фирм Китая, Кореи, Турции и др. стран, не имеющих технологий производства комплектующих базовых заводов-производи-

телей автомобилей. В части сменных вкладышей кинематического механизма двигателей в основном применяются сменные детали, выполненные по упрощенной технологии производства вкладышей, мало отличающихся от вкладышей советского производства. По этой причине межремонтный ресурс двигателей после ремонта существенно ниже межремонтного ресурса фирменных ремонтных предприятий в странах, где используются фирменные запчасти. Следует отметить, что фирменных вкладышей на порядок больше аналогичных деталей производства других производителей, работающих на вторичный рынок запчастей [8-11]. Сложившейся традицией в ремонте подшипников скольжения кинематического механизма двигателей является применение сменных деталей (вкладышей) одноразового использования. Вкладыш представляет собой стальную дуговую основу, на которую одним из методов сварки разнородных материалов наносится антифрикционный слой. Малая масса сменного вкладыша, включая стальную подложку, а также слой антифрикционного материала толщиной не более 2 мм, даже с применением редких металлов, стимулировали одноразовое использование вкладышей, заменяемых при ремонте на новый комплект.

В настоящее время парк автомобилей резко увеличился, в то время как снабжение качественными сменными запчастями отстает от потребностей ремонтных служб [8-15]. Реставрация вкладышей с восстановлением их работоспособности и сокращение поставок дорогих сменных деталей фирменного производства являются актуальными проблемами.

**Методы исследования.** Исследования процессов трения в подшипниках скольжения показало, что высокими антифрикционными свойствами обладает чистая медь [16,17]. Применение меди в качестве опорной поверхности подшипника на опытном стенде ("машине трения") подтвердило, что интенсивность изнашивания поверхности скольжения медного подшипника меньше по сравнению со стандартным подшипником с алюминиево-оловянной поверхностью скольжения в 9 раз, что привело к соответствующему увеличению ресурса подшипника скольжения (рис. 1).

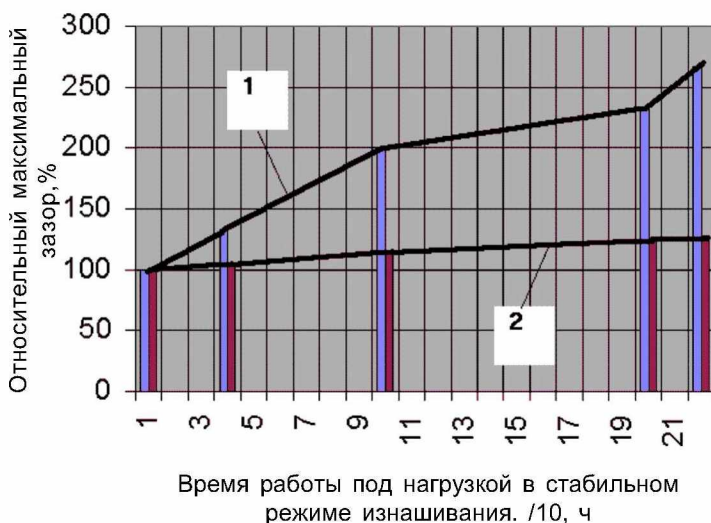


Рис. 1. Изменение относительной максимальной величины зазора в подшипнике в зависимости от времени работы в режиме стабилизированного процесса изнашивания: 1 – стандартный подшипник с вкладышами с алюминиево-оловянной скользящей поверхностью; 2 – медный вкладыш

Вторым методом, способствующим увеличению ресурса подшипников скольжения (с учетом применения в качестве скользящей поверхности меди) является предварительное омеднение шейки вала. Данный метод проверен только в стендовых условиях. Предварительное омеднение поверхности трения методом фрикционного омеднения [18] позволяет существенно снизить силу трения и интенсивность изнашивания, с помощью режима трения за счет возможного атомарного избирательного переноса, к которому склонна медь в контакте со стальной поверхностью вала, приводя к безизносному трению. Для истинного безизносного трения необходима смазочная жидкость с определенной щелочно-кислотной характеристикой. Даже при использовании обычного моторного масла интенсивность изнашивания снижается.

Фрикционное омеднение шеек валов производится на токарных станках посредством смазывающе-охлаждающей жидкости с определенной щелочно-кислотной реакцией (смесь глицерина со спиртом), при определенном режиме удельного давления медного инструмента, окружной скорости и скорости подачи. Экспериментальные исследования интенсивности изнашивания медной опорной поверхности вкладыша при предварительном омеднении шейки вала показали, что интенсивность изнашивания при омеднении вала снижается более чем в 2 раза (рис. 2).

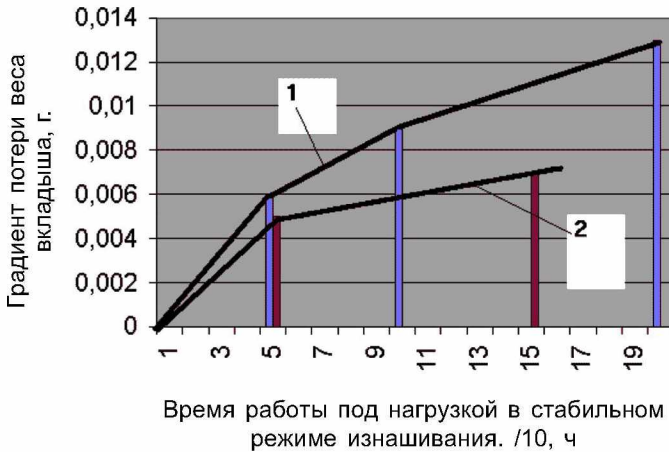


Рис. 2. Результаты замера градиента потери веса подшипника скольжения с вкладышем из меди: 1 – подшипник с медным вкладышем и стальной шейкой вала; 2 – подшипник с медным вкладышем и с предварительным омеднением шейки вала

Медь (маркируется буквой "М") в зависимости от чистоты производится в виде 5 марок: М0, М1, М2, М3, М4. В наиболее чистой меди (марки М0) содержание общего количества примесей не должно превышать 0,05 %. Содержание меди в различных ее марках приведено в табл. 3.

Таблица 3

**Содержание меди в различных ее марках (ГОСТ 859-78)**

Марка меди	Содержание меди не менее, %	Марка меди	Содержание меди не менее, %	Марка меди	Содержание меди не менее, %
М0ок	99,99	Моб	99,97	М2р	99,7
М0ку	99,97	М1б	99,95	М3р	99,5
Мок	99,95	М1	99,9	М2	99,7
М1к	99,9	М1р	99,9	М3	99,5

Чистая медь имеет плотность 8,93 г/см<sup>3</sup>, температура ее плавления 1083 °С. Медь обладает высокой пластичностью, большой тепло- и электропроводностью. Электропроводность и пластичность меди в сильной степени снижаются при наличии в ней примесей висмута, серы, сурьмы, кислорода, фосфора, мышьяка. Особенно на электропроводность влияет висмут, содержание которого в меди не должно превышать 0,005 %. Зависимость электропроводности от примесей определяет то, что в электротехнической промышленности для изготовления проводников тока используется в основном медь марки М0 с общим содержанием примесей не более 0,05 %.

**Анализ результатов исследования.** На основании проведенных исследований разработана технология восстановления вкладышей подшипников скольжения производства российских заводов и зарубежных фирм, включая реставрацию фирменных вкладышей от зарубежных двиглестроительных заводов фирм [11,19-21]. По технологии восстановления вкладыши с предельно изношенной поверхностью скольжения сортируются по типоразмерам. Два вкладыша, входящие в комплект одного подшипника, вставляются в цангу и протачиваются с целью созда-



ния шероховатой поверхности на стороне нанесения антифрикционного слоя. Вкладыши обрабатываются растворителем для удаления следов смазки. Затем на каждый вкладыш отдельно на специальной установке методом газопламенной металлизации (напыления) на поверхность скольжения наносится слой меди. Толщина напыленного слоя меди зависит от того, на какой ремонтный размер готовится вкладыш. После напыления парные вкладыши в комплекте калибруются расточкой, шлифовкой или разверткой до требуемого диаметра подшипника (толщины вкладыша).

Метод основан на металлизации поверхности вкладышей, т.е. напыления в расплавленном виде капель меди. Метод металлизации применяется в ремонтной практике [22,18]. Известны газопламенный метод, электродуговой, порошковый и др. варианты металлизации. В данном случае предлагается наиболее простой газопламенный вариант с использованием ацетилено-кислородной горелки со специальной головкой для подачи медной проволоки и воздуха.

Преимущество предлагаемого метода заключается в создании медного слоя на скользящей поверхности вкладыша независимо от того, какой антифрикционный слой применялся на вкладыше до его реставрации. Технология металлизации позволяет получать слой напыленной меди как на алюминиево-оловянной поверхности вкладышей, так и на многослойных вкладышах производства зарубежных фирм.

Предварительное создание покрытий на основе меди вызвало образование медного покрытия на стальных и чугунных деталях, приводящее к уменьшению силы трения и снижению износа. В свою очередь это стало причиной появления метода предварительного создания покрытий из латуни, бронзы или меди на стальных или чугунных деталях, который был подробно описан в отечественных и зарубежных публикациях, посвящённых данному вопросу. Опубликованные данные о прочности сцепления покрытия с основным металлом достаточно противоречивы. Однако установлено, что бронзовое покрытие хуже стального сцепляется со стальным основанием, а чугун как пористый

материал хорошо сцепляется с покрытиями. По данным исследований, относящихся к стальному покрытию по стали, прочность сцепления металлизационного слоя с основным металлом при шероховатой поверхности составляет 50-60 МПа, при нарезании резьбы прочность сцепления – 100-120 МПа, при анодно-механической обработке – 230-250 МПа [18,22-25].

Представленный авторами метод основан на фрикционном нанесении покрытия (латунирование, бронзы или меди) на стальные или чугунные детали. Нанесение покрытий производится за счет трения при скорости скольжения 0,15-0,2 м/с, удельном давлении 102-105 МПа, продольной подаче 0,1-0,2 мм/об., числе проходов 1-2, а также при использовании в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) глицерина или смеси двух частей глицерина и одной части 10 %-ного раствора соляной кислоты. СОЖ такого состава разрыхляет оксидную пленку на поверхности стали, пластифицирует поверхность медного сплава и создает условия для схватывания его со сталью. Толщина покрытия составляет 2-3 мкм для бронзы или 1-2 мкм – для меди.

При фрикционном меднении уменьшается шероховатость поверхности. Фрикционное меднение поверхности производится с помощью токарного оборудования (рис. 3). Процесс простой, не требует больших затрат. Фрикционное меднение обладает существенными преимуществами перед электролитическим меднением или другими методами нанесения медных покрытий, требующих больших затрат, специфического оборудования, специальных реагентов, а также отличающихся вредным воздействием на производственный персонал. Применение фрикционного меднения на примере золотниковых и плунжерных пар в топливной аппаратуре показало, что износостойкость обработанных деталей в 2-3 раза выше стандартных без обработки. Явление избирательного переноса, установленное Д.Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским в 1959 г. [18,22], было обнаружено в паре трения, в которой применяются стальной вал и опорная поверхность из бронзы, а также при смазывающей жидкости, обладающей соответствующей щелочно-кислотной харак-

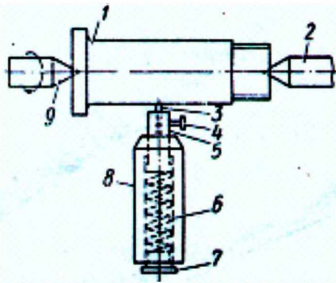


Рис. 3. Схема фрикционного омеднения стальной детали: 1 – деталь, подвергающаяся меднению; 2 – подвижной центр задней бабки станка; 3 – медный пруток; 4 – винт для закрепления медного прутка; 5 – плунжер; 6 – пружина; 7 – резьбовая пробка; 8 – корпус приспособления, закрепленный в резцедержателе станка; 9 – центр, закрепленный в патроне

теристикой, в частности глицерине, или глицериново-спиртовой смеси.

В трущихся парах подшипников как при сухом трении, так и при наличии граничной смазочной пленки площадь фактического контакта составляет 0,01-0,0001 номинальной площади сопряженных поверхностей. В результате участки фактического контакта испытывают высокие напряжения, что приводит к их взаимному внедрению, пластической деформации, взаимному схватыванию и, следовательно, к износу. В реальных условиях поверхности трения контактирующих деталей обычно покрыты окисной пленкой. Окисная пленка в принципе снижает эффект взаимного схватывания материалов, но она непрочная, легко разрушается в зонах контакта и не снижает интенсивности износа.

В настоящее время метод отрабатывается для массового применения на ремонтных предприятиях республики и проходит стендовую и полигонную проверку на реальных двигателях. В целом разработанная технология позволяет существенно повысить эффективность ремонта автотракторных двигателей

любых моделей независимо от наличия поставки фирменных или заменяющих их деталей для восстановления подшипников скольжения кинематических механизмов двигателей.

### **Выводы**

Благодаря применению технологии металлизации с напылением меди на поверхность выработавших свой ресурс вкладышей достигается решение следующих важных задач:

*Во-первых*, производится реставрация выработавших ресурс вкладышей, что исключает использование новых вкладышей, снижает расходы на их производство, уменьшает транспортные расходы.

*Во-вторых*, с помощью напыления меди повышаются качественные показатели стандартных подшипников с алюминиево-оловянной поверхностью скольжения и, как следствие, увеличивается межремонтный ресурс в 9 раз.

*В-третьих*, методом предварительного омеднения шеек валов дополнительно увеличивается ресурс подшипников более чем в 2 раза.

### **Список литературы**

1 Карагодин В. И., Митрохин Н. Ремонт автомобилей и двигателей. – М.: "АКАДЕМА", 2006. – 496 с.

2 Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов. Кн.1. – М.: "Высшая школа", 2007. – 479 с.

3 Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. Динамика и конструирование. Кн.2. – М.: "Высшая школа", 2007. – 319 с.

4 Мусабеков М. О. Энергетические установки транспортной техники. – Алматы: "О•улы•", 2011. – 360 с.

5 Стуканов В. А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. – М.: "ИНФРА-М", 2007. – 370 с.

6 Darbyshir A. Mechanical Engineering / A. Darbyshire // BTEC National Engineering Specialist Units. Third Edition. – Amsterdam, Elsevier, 2010. – 411 p.

7 Harnoy A. Bearing Design in Machinery Engineering //

Tribology and Lubrication. – New York o Basel, Marcel Dekker, Inc., 2005. – 628 p.

8 *Лахтин Ю.М.* Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Metallurgy, 1983. – 360 с.

9 *Назаров А.Д.* Показатели изнашивания коренных подшипников коленчатого вала // Автомобильная промышленность. - 2000 – № 12. – С. 25-27.

10 *Охрименко Я.М.* Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1976. – 360 с.

11 Fundamentals of engineering. Supplied reference handbook for examination. - National Council of Examiners for Engineering and Surveying (5 ed., NCEES), 2001. – 176 p.

12 *Масино М.А.* Организация восстановления деталей. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.

13 Материаловедение и технология конструкционных материалов / под ред. Ю.П. Солнцева. – М., МИСИ, 1996. – 576 с.

14 Технология конструкционных материалов / под ред. А.М. Дольского. – М.: Машиностроение, 1985. – 442 с.

15 Технология металлов / под общ. ред. П.И. Полухина. – М.: Высшая школа, 1979. – 362 с.

16 *Куанышев М.К., Некрасов В.Г.* Исследование и решение проблем подшипников скольжения ДВС: матер. Междунар. конф. // Образование и наука – созданию конкурентоспособного Казахстана. – Актобе: КазАТК им. М. Тынышпаева, 2007. – С. 302-306.

17 *Некрасов В.Г., Куанышев М.К., Надиров Н.К.* Исследование и совершенствование подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания // Машины, технологии, материалы. – 2007. – № 2-3. – С. 43-45.

18 *Крагельский И. В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 347 с.

19 *Дехтеринский Л.В., Амаев К.Х., Алсин В.П.* Ремонт автомобилей. – М.: «Транспорт», 1992. – 295 с.

20 *Jazar R. N.* Vehicle Dynamics: Theory and Application/ R.N. Jazar. – NY: Springer, 2008. – 1015 p.

21 *Kuanyshev M.* The improvement of friction bearing manufacturing technology by copper alloy/ M. Kuanyshev, B. Nuralin. – *Jornal: The international Jornal of Advanced Manufacturing Technology.*- Springer-Verlag London 2016, 1-8p., DOI 10.1007/s00170 – 016 – 8758 – 2.

22 *Гаркунов Д.Н.* Триботехника. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.

23 *Cheng K.* Maching dynamics: fundamentals, applications and practices. – 8th ed. – London: Springer, 2009. – 328 p.

24 *Davim J.P.* Surface integrity in machining. – London : Springer, 2010. – 215 p.

25 *Tschatsch H.* Applied machining technology. – 8th ed. – London: Springer, 2008. – 398 p.

**Нуралин Бекет Нургалиевич**, доктор технических наук, профессор  
e-mail: bnuralin@mail.ru

**Куанышев Мурат Кулынтаевич**, кандидат технических наук