

УДК 620.179.112

**О.Ю. Кустов, В.И. Малинин, О.М. Беломытцев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОПОРОШКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Добавка нанопорошков оксида алюминия с дисперсность 30–300 нм в трансмиссионное масло при прямом воздействии на подшипники качения проявляет тенденцию к снижению коэффициента трения. Это обусловлено в первую очередь геометрией частиц нанопорошка. Сферическая форма частиц в местах контакта образует эффект «качения». Весовое содержание порошка: 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 % от количества масла. Количество заливаемого масла до центра нижнего тела качения 40 мл. После проведения серии опытов отмечено увеличение радиального зазора в подшипниках, что свидетельствует об абразивном действии конгломератов. После перемешивания порошка с маслом конгломераты оседают и не дробятся даже после разбиения частиц на ультразвуковой мельнице (ультразвуковом диспергаторе). Это говорит о том, что нужно найти способы полного размола (дробления) конгломератов, а также определить присадки – поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые удержат частицы нанопорошка во взвешенном состоянии и не дадут им слипаться и оседать. Максимальное снижение коэффициента трения подшипников при использовании 0,2 г оксида алюминия модификации «γ» (0,5 %) равно 13,5 % ( $f = 0,00156$ ). Товарное трансмиссионное масло без добавок имеет коэффициент трения  $f = 0,001803$ .

**Ключевые слова:** наноксид, нанопорошок, трансмиссионное масло, подшипники качения, коэффициент трения, добавка, присадки, поверхностно-активные вещества, конгломерат, размол.

**O.Yu. Kustov, V.I. Malinin, O.M. Belomytsev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **RESEARCH OF INFLUENCE OF NANOPOWDERS OF ALUMINIUM OXIDE ON THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF OILS AND ESTIMATION OF THEIR APPLICATION FIELDS**

An additive of nanopowders of aluminum oxide with dispersiveness of 30-300 nm in transmission oil when direct action on rolling bearings shows trend to decrease of friction ratio. One of the main reasons of this effect is geometry of nanopowder particles. Spherical form of particles at the contact region makes rolling effect. Weight content of powder in ratio to oil is 0,1; 0,25; 0,5; 0,75. Amount of oil to the center of the bottom rolling body is 40 ml. After carrying out a series of experiments the increase of bearing radial clearance was revealed, that is evidence for abrasive influence of conglomerations. The conglomerations mixed with oil are settled and are not crushed even if they have been split by ultrasonic disperser. This fact indicates that it is needed to find the means of full grinding of conglomerations.

tions and define the additive agents which are surfactant species. It will allow keeping the nanopowder particles in suspension state and not to adhere together and settle. Maximum reduction of friction ratio at 0,2 gram of aluminum oxide of  $\gamma$ -modification (0,5 %) is 13,5 % ( $f = 0,00156$ ). Commodity transmission oil without additives has friction ratio  $f = 0,001803$ .

**Keywords:** nanooxide, nanopowder, transmission oil, rolling bearings, friction ratio, additive, additive agent, surfactant species, conglomeration, grinding.

## Введение

Одним из основных факторов, определяющих долговечность деталей машин и механизмов, является износостойкость материалов, из которых изготовлены детали. Для уменьшения трения контактирующих элементов применяют смазочные материалы, в том числе с присадками, обеспечивающими требуемую модификацию структуры поверхностного слоя. Нанопорошки металлов как добавки к жидким и пластичным смазкам все чаще становятся объектом внимания исследователей. Несмотря на значительное число публикаций, посвященных влиянию металлосодержащих смазок на процессы трения и изнашивания конструкционных материалов, механизм смазочного действия нанопорошков изучен недостаточно и сведения о триботехнических свойствах наполненных ими смазок противоречивы. Особенно мало в литературе имеется сведений о роли добавок в технических процессах трения и износа [1–3]. Снизить трение – значит продлить жизнь контактирующих элементов (деталей), а следовательно, сэкономить на их замене.

Оксид алюминия, или глинозем, в основном используется в обрабатывающей промышленности как абразив, для струйной очистки, притирки и полировки, особенно в электронике и оптике. Кроме этого он используется для очистки воздуха, в качестве катализатора, в конструкционной керамике и для производства конденсаторов [4].

В данной работе впервые проведены исследования влияния добавок нанопорошка оксида алюминия (микрофотография приведена на рис. 1 [5]) на трение и изнашивание стальных подшипников качения при различных значениях нормальных нагрузок и скоростей вращения. Нанопорошок в сухом состоянии слипается в конгломераты. Предполагалось, что данные образования будут размолоты и разбиты в подшипниках качения. В режимах изнашивания нанопорошок металла влияет на изменение химического состава поверхностных слоев стали, приводя к образованию вторичных структур на основе оксидов железа с различной концентрацией кислорода [1, 2, 6], т.е. испытания фактически проводились с конгломератами нанопорошков.

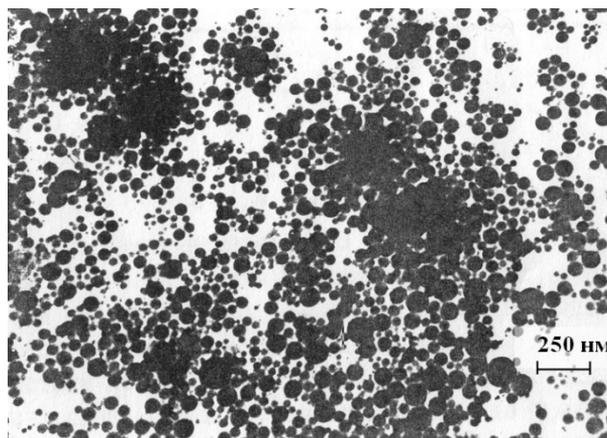


Рис. 1. Частицы порошка  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  под электронным микроскопом

Нанодисперсный оксид алюминия получен на экспериментальной технологической установке сжигания промышленных порошков алюминия в потоке воздуха [5]. Его основные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики нанопорошка

Характеристики	$\alpha$ -модификация	$\gamma$ -модификация
Форма частиц	Сферическая	Сферическая
Цвет	Белый	Белый
Пикнометрическая плотность, г/см <sup>3</sup>	3,99	3,6
Температура плавления, К	2320	2320
Размеры частиц, нм	30–300	30–300
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	12,6	10–15
Содержание $\text{Al}_2\text{O}_3$ , мас. %	99,8	99,8

Опыты проводились только с  $\delta$ - и  $\gamma$ -модификациями порошка. Характеристики  $\delta$  средние между характеристиками  $\alpha$  и  $\gamma$ .

Также применялись:

– трансмиссионное масло ТУ-0253-011-00148-599–2001 «ЛУКОЙЛ трансмиссионное всесезонное», SAE 80W-85, API GL-4, изготовлено дочерним обществом ОАО «ЛУКОЙЛ»;

– подшипники качения № 208 с нормальными и повышенными радиальными зазорами.

Измерение радиальных зазоров в подшипниках проводилось при комнатной температуре (20–22 °С) до и после проведения опытов.

### Экспериментальная установка

Испытания проводились на стенде (рис. 2), кинематическая схема которого представлена на рис. 3. Испытаниям одновременно подверглось 4 подшипника, масло объемом 40 мл заливалось до центра нижнего тела качения (до центра вала).



Рис. 2. Стенд экспериментальной установки

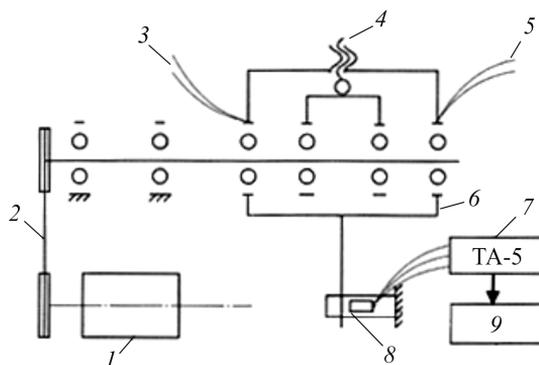


Рис. 3. Схема установки: 1 – электродвигатель; 2 – ременная передача; 3, 5 – термопары; 4 – винтовое нагрузочное устройство; 6 – оснастка с испытываемыми подшипниками; 7 – тензостанция ТА-5; 8 – тензометрическая балочка; 9 – регистрирующее устройство (миллиамперметр или компьютер с платой АЦП)

Установка позволяет одновременно испытывать 4 подшипника. С помощью тензобалочки и тензостанции ТА-5, к которой подключается миллиамперметр, измеряется суммарный момент трения с последующим вычислением среднего значения коэффициента трения; предварительно тензобалочка тарируется.

Температура на наружном кольце подшипника измеряется с помощью хромель-копелевой термопары<sup>1</sup>.

Радиальный зазор в подшипнике измеряется с помощью специального устройства с точностью  $\pm 0,5$  мкм.

Радиальная нагрузка создается с помощью винтового устройства с динамометрической скобой и индикатором часового типа<sup>2</sup>.

В корпус испытательной оснастки заливается масло объемом около 0,04 л (40 мл) до центра нижнего тела качения.

### Режимы испытаний

Нагрузка на подшипник определяется в долях от динамической грузоподъемности подшипника, равной по ГОСТ 520–2011<sup>3</sup> для шарикоподшипника 208С = 25,6 кН.

Испытания проводились при 3 значениях нагрузок: 0,05С (1,3 кН), 0,075С (1,9 кН), 0,1С (2,6 кН), что соответствует усилиям на динамометре, приходящимся на 2 подшипника, соответственно 2600; 3800; 5200 Н. Число оборотов вала внутреннего кольца подшипника на каждой нагрузке  $n = 1000; 2000; 3000$  об/мин. Выбранные режимы работы соответствуют расчетной долговечности (ч), вычисленной по стандартной формуле

$$L_h = \left( \frac{C}{F} \right) \frac{10^6}{60n}.$$

При  $F = 1,3$  кН и скоростях 1000; 2000; 3000 об/мин соответственно  $L_h \approx 127 \cdot 10^3; 64 \cdot 10^3; 42 \cdot 10^3$  ч.

При  $F = 1,9$  кН  $L_h \approx 41 \cdot 10^3; 20 \cdot 10^3; 14 \cdot 10^3$  ч;

При  $F = 2,6$  кН  $L_h \approx 16 \cdot 10^3; 8,0 \cdot 10^3; 5,3 \cdot 10^3$  ч.

Принятые режимы испытаний условно можно считать легкими, средними и тяжелыми, без четкой градации в конце и начале интервалов [7].

<sup>1</sup> ГОСТ 8.585–2001. Термопары.

<sup>2</sup> ГОСТ 13837–79. Динамометры общего назначения.

<sup>3</sup> ГОСТ 520–2011. Подшипники качения.

### **Программа испытаний**

*Первый этап.* Исследование с товарным маслом SAE 80W-85 «ЛУКОЙЛ». Измерение радиальных зазоров в подшипниках при комнатной температуре (20–22 °С) до проведения опытов и после.

Количество заливаемого масла – до центра нижнего тела качения. Продолжительность каждого опыта – до стабильности момента трения в течение 30 мин и стабильности температуры на наружном кольце подшипника так же в течение 30 мин.

Порядок проведения замеров: первые 30 мин – через 5 мин, последующие замеры – через 15 мин.

После завершения серии экспериментов оснастка разбирается и все детали тщательно промываются в бензине, с ручной проверкой легкости вращения. Осадок от промывки подшипников визуально осматривается и собирается в чистый бумажный пакетик для дальнейшего исследования.

Ориентировочно продолжительность каждого опыта при 3 значениях нагрузок и 3 скоростях около 9–11 ч, всего 9 этапов в каждом опыте. За этап принято испытание при одной скорости и одной нагрузке.

Разборка оснастки и измерение зазоров в подшипниках производится после проведения всех опытов с товарным маслом.

*Второй этап.* Исследование с товарным маслом и добавкой нанопорошка.

Испытания начинались с минимальным содержанием порошка в масле 0,1 мас. % и далее по методике первого этапа.

Продолжительность опытов ориентировочно составила 10–11 ч.

По результатам обработки данных опытов определяется оптимальное содержание порошка в масле.

Выбранный оптимальный вариант выбирается в качестве исходного для дальнейших опытов.

Особое внимание обращается на наличие твердых частиц при промывке подшипников и их дальнейшее исследование для определения их химического состава и размеров, а также на изменение радиальных зазоров в подшипнике.

### **Результаты исследования**

Максимальное снижение коэффициента трения подшипников наблюдается при использовании 0,5 мас. % оксида алюминия, модифика-

ции « $\gamma$ » при скорости вращения  $n = 1000$  об/мин и нагрузке 5200 Н – до 13,5 % ( $f = 0,00156$ ). Товарное трансмиссионное масло без добавок имеет коэффициент трения  $f = 0,00180$ . При остальных скоростях и той же нагрузке (5200 Н) коэффициент трения снизился в пределах 4–8 % (рис. 4).

После перемешивания порошка с маслом конгломераты оседают и не дробятся полностью даже после разбиения частиц на ультразвуковом диспергаторе. Это говорит о том, что нужно найти способы полного дробления конгломератов, а также определить присадки (ПАВ), которые удержат частицы нанопорошка во взвешенном состоянии и не дадут им слипаться и оседать.

После проведения серии опытов отмечено увеличение радиального зазора в подшипниках, что свидетельствует об абразивном действии конгломератов.

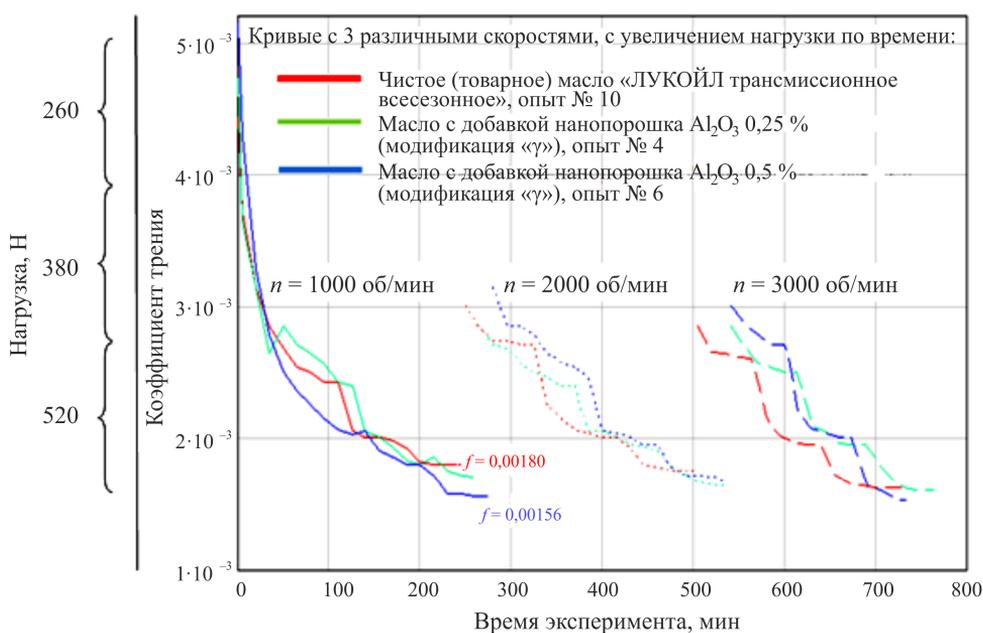


Рис. 4. Значения коэффициента трения при различных нагрузках и скоростях вращения в зависимости от процента содержания нанопорошка

В табл. 2 представлены значения коэффициентов трения и температур при пуске и установившемся режиме, что позволяет наглядно проанализировать 3 опыта, графически изображенных на рис. 4.

Таблица 2

Результаты испытаний № 4, 6, 10 значений коэффициентов трения и температур при пуске и установившемся режиме работы

Нагрузка, Н	Скорость, об/мин	Дата, номер опыта	Товарное масло (Т <sub>1</sub> ) «ЛУКОЙЛ трансмиссионное все-сезонное», SAE 80W-85		Дата, номер опыта	Т <sub>1</sub> + γ (0,25%)		Дата, номер опыта	Т <sub>1</sub> + γ (0,5%)	
			Коэффициент трения <i>f</i>	Температура, °С		Коэффициент трения <i>f</i>	Температура, °С		Коэффициент трения <i>f</i>	Температура, °С
2600	1000	23.07.13 № 10	П: 0,0044 С: 0,0024	П: 23 С: 45,5	12.07.13 № 4	П: 0,0047 С: 0,0024	П: 24 С: 47,5	16.07.13 № 6	П: 0,0051 С: 0,0020	П: 22 С: 47,5
3800	1000	23.07.13 № 10	П: 0,0020 С: 0,0019	П: 44 С: 50	12.07.13 № 4	П: 0,0020 С: 0,0018	П: 47 С: 52	16.07.13 № 6	П: 0,0020 С: 0,0018	П: 47,5 С: 51
5200	1000	23.07.13 № 10	П: 0,0019 С: 0,0018	П: 49 С: 56,5	12.07.13 № 4	П: 0,0018 С: 0,0016	П: 52 С: 55,5	16.07.13 № 6	П: 0,0017 С: 0,0015	П: 51 С: 55,5
2600	2000	23.07.13 № 10	П: 0,0030 С: 0,0027	П: 56,5 С: 68,5	12.07.13 № 4	П: 0,0028 С: 0,0024	П: 54,5 С: 70,5	16.07.13 № 6	П: 0,0031 С: 0,0024	П: 55,5 С: 71
3800	2000	23.07.13 № 10	П: 0,0022 С: 0,0020	П: 67,5 С: 75,5	12.07.13 № 4	П: 0,0020 С: 0,0019	П: 70,5 С: 75,5	16.07.13 № 6	П: 0,0020 С: 0,0019	П: 70,5 С: 75
5200	2000	23.07.13 № 10	П: 0,0019 С: 0,0017	П: 75 С: 82	12.07.13 № 4	П: 0,0017 С: 0,0016	П: 75 С: 81	16.07.13 № 6	П: 0,0017 С: 0,0016	П: 74 С: 80
2600	3000	23.07.13 № 10	П: 0,0028 С: 0,0026	П: 77 С: 87,5	12.07.13 № 4	П: 0,0028 С: 0,0025	П: 77 С: 89	16.07.13 № 6	П: 0,0030 С: 0,0027	П: 78 С: 86
3800	3000	23.07.13 № 10	П: 0,0021 С: 0,0019	П: 86 С: 91	12.07.13 № 4	П: 0,0021 С: 0,0019	П: 87 С: 95	16.07.13 № 6	П: 0,0022 С: 0,0020	П: 85 С: 94
5200	3000	23.07.13 № 10	П: 0,0017 С: 0,0016	П: 90 С: 105	12.07.13 № 4	П: 0,0017 С: 0,0016	П: 94 С: 110	16.07.13 № 6	П: 0,0016 С: 0,0015	П: 93 С: 102

Примечания: П – пуск; С – стабилизация (установившийся режим).

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предпочтительным является нанопорошок с модификацией « $\gamma$ ».
2. При опытах с конгломератами оптимальной дозой является 0,5 мас. % оксида алюминия.
3. В процессе работы, по-видимому, происходит некоторое дробление конгломератов, что отражается на стабильности показаний. Целесообразнее проводить опыт на роликоподшипниках, в которых площадки контактов существенно больше, чем в шарикоподшипниках, и дробление конгломератов будет более интенсивным.
4. Нанопорошок в виде конгломератов вызывает износ в парах трения.

### **Заключение**

Экспериментально показано, что добавление нанопорошка  $Al_2O_3$  в трансмиссионное масло «ЛУКОЙЛ 80W-85» в виде конгломератов сказывается на снижении значений коэффициента трения. Максимальное снижение коэффициента трения подшипников на данный момент было достигнуто при использовании 0,5 %  $Al_2O_3$  « $\gamma$ »: коэффициент трения снизился на 13,5 % (опыты № 6 и 10). После проведения серии опытов отмечено увеличение радиального зазора в подшипниках, что свидетельствует об абразивном действии конгломератов.

Опыты следует рассматривать как предварительные, так как проблема состоит в дроблении конгломератов до исходных размеров наночастиц. После перемешивания порошка с маслом конгломераты оседают и не дробятся даже после разбиения частиц на ультразвуковом диспергаторе. Это говорит о том, что нужно искать способы полного размола (дробления) конгломератов, а также определить ПАВы, которые бы удерживали частицы нанопорошка во взвешенном состоянии и не давали бы им слипаться и оседать.

При успешном достижении стабильного взвешенного состояния частиц данные масла можно будет применить в любой механической трансмиссии. Также композицию нанодисперсного порошка можно будет применять и с другими видами масел, что существенно увеличит область применения для нанопорошков оксида алюминия. Возможность исследования влияния добавок нанопорошка в смазочную среду для подшипников скольжения является перспективой дальнейших работ.

### Библиографический список

1. Использование нанопорошков меди и латуни в жидкой смазке / С.А. Беляев, С.Ю. Тарасов, М.И. Лернер, А.В. Колубаев // Надежность машин и технических систем: материалы междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / под общ. ред. О.В. Берестнева; Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. – Минск, 2001. – Т. 2. – С. 19–20.

2. Беляев С.А., Тарасов С.Ю., Лернер М.И. Трение, изнашивание и деформация поверхностных слоев конструкционной стали в присутствии нанокристаллических порошков в жидкой смазке // Динамика систем, механизмов и машин: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Изд-во Омск. гос. техн. ун-та, 2002. – Кн. 2. – С. 100–102.

3. Туктамышева Ю.А. Анализ существующих и перспективных способов очистки масляной системы авиационного ГТД // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2012. – № 33. – С. 124–138.

4. Оксид алюминия [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид\\_алюминия](http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_алюминия) (дата обращения: 20.07.2013).

5. Малинин В.И. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. – Екатеринбург; Пермь: Изд-во УрО РАН, 2006. – 262 с.

6. Данилов А. Производство и применение нанопорошков. Механические методы получения нанопорошков [Электронный ресурс] // Российский электронный наножурнал / ООО «Парк-медиа», Metric, 2007–2008. – URL: [http://www.nanojournal.ru/science.aspx?cat\\_id=394&d\\_no=1338](http://www.nanojournal.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338) (дата обращения: 24.07.2013).

7. Перель Л.Я. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание. Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 543 с.

### References

1. Belyaev S.A., Tarasov S.Yu., Lerner M.I., Kolubaev A.V. Ispol'zovanie nanoporoshkov medi i latuni v zhidkoy smazke [Use of nanopowders of copper and brass in liquid lubricant]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nadezhnost mashin i tekhnicheskikh system»*. Ed. O.V. Berestneva. Minsk: Institut tekhnicheskoy kibernetiki Natsionalnoy akademii nauk Belarusi, 2001, vol. 2, pp. 19-20.

2. Belyaev S.A., Tarasov S.Yu., Lerner M.I. Trenie, iznashivanie i deformatsiya poverkhnostnykh sloev konstruktsionnoy stali v prisutstvii nanokristallicheskikh poroshkov v zhidkoy smazke [Friction, deterioration and

deformation of surface layer of structural steel in the presence of nanocrystal powders in liquid lubricant]. *Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin»*. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2002, book 2, pp. 100-102.

3. Tuktamysheva Yu.A. Analiz sushchestvuyushchikh i perspektivnykh sposobov ochistki maslyanoy sistemy aviatsionnogo GTD [Analysis of existing and promising methods for cleaning of aviation GTE oil system]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika*, 2012, no. 33, pp. 124-138.

4. Oksid alyuminiya [Aluminum oxide], available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид\\_алюминия](http://ru.wikipedia.org/wiki/Оксид_алюминия) (accessed 20 July 2013).

5. Malinin V.I. Vnutrikamernye protsessy v ustanovkakh na poroshkoobraznykh metallicheskih goryuchikh [Intrachamber processes in plants with the powdery metal fuels]. Ekaterinburg-Perm: Uralskoe otdelenie Rossiyskoy akademii nauk, 2006. 262 p.

6. Proizvodstvo i primeneniye nanoporoshkov. Mekhanicheskie metody polucheniya nanoporoshkov [Production and application of nanopowders. Mechanical methods of nanopowder obtaining], available at: [http://www.nanojournal.ru/science.aspx?cat\\_id=394&d\\_no=1338](http://www.nanojournal.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338) (accessed 24 July 2013).

7. Perel L.Ya. Podshipniki kacheniya: Raschet, proektirovaniye i obsluzhivaniye. Spravochnik [Rolling bearing: calculation, designing and service]. Moscow: Mashinostroeniye, 1983. 543 p.

### Об авторах

**Кустов Олег Юрьевич** (Пермь, Россия) – студент 3-го курса кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: [kustovou@yandex.ru](mailto:kustovou@yandex.ru)).

**Малинин Владимир Игнатьевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: [malininvi@mail.ru](mailto:malininvi@mail.ru)).

**Беломытцев Олег Михайлович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: [bom3101@mail.ru](mailto:bom3101@mail.ru)).

### **About the authors**

**Kustov Oleg Yurevich** (Perm, Russian Federation) – 3-rd year student, Department of Rocket and Space Engineering and Power Generating Systems, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: kustovou@yandex.ru).

**Malinin Vladimir Ignatevich** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Rocket and Space Engineering and Power Generating Systems, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: malininvi@mail.ru).

**Belomytsev Oleg Mikhailovich** (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Professor, Department of Mechanics of Composite Materials and Constructions, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: bom3101@mail.ru).

Получено 22.01.2014