



Саратовский  
государственный  
технический университет  
имени Гагарина Ю.А.

# ARMY 2017

Разработка технологий синтеза универсальных антифрикционных покрытий под действием ультразвуковых колебаний с целью использования оборудования, применяемом для освоения Арктики



г. Саратов, 2017

*Докладчик:  
д.т.н., проф. Королев Андрей Альбертович*

# Влияние качества подшипников на надежность техники



**NASA:**  
25% всех повреждений  
двигателей  
космических кораблей  
зависит от ресурса  
подшипниковых узлов

Для российских подшипников  
эту цифру надо умножить на 3

**Х3**

**«...серьезно осложняет дело  
отсутствие нормальной  
подшипниковой промышленности  
у нас в стране»**

*управляющий директор НПО «Сатурн»  
(2009-2015 ) Федоров Илья Николаевич  
(малоразмерные короткоресурсные  
двигатели X-35 )*



**Срок службы вертолетов МИ-8 и его  
модификаций до капитального  
ремонта составляет всего 1500 часов.  
Во многом это связано с низким  
ресурсом подшипников**

*директор «356 Авиационного  
ремонтного завода»  
Марков Игорь Сергеевич (г. Энгельс)*

# Примеры крупных аварий по вине подшипников:



- Авария ракеты-носителя Протон-М 12.2016г

- Авария разгонного блока "Бриз-М»  
2006г. – подшипник в турбонасосном агрегате двигателя



- Авария Боинга 737-00  
2016г. (подшипник шасси)



- Авария американского ракетносителя  
Антареса-2 2014г.  
(подшипник двигателя со стороны турбины)

## Особенно в сложных условиях работают подшипники в Арктике



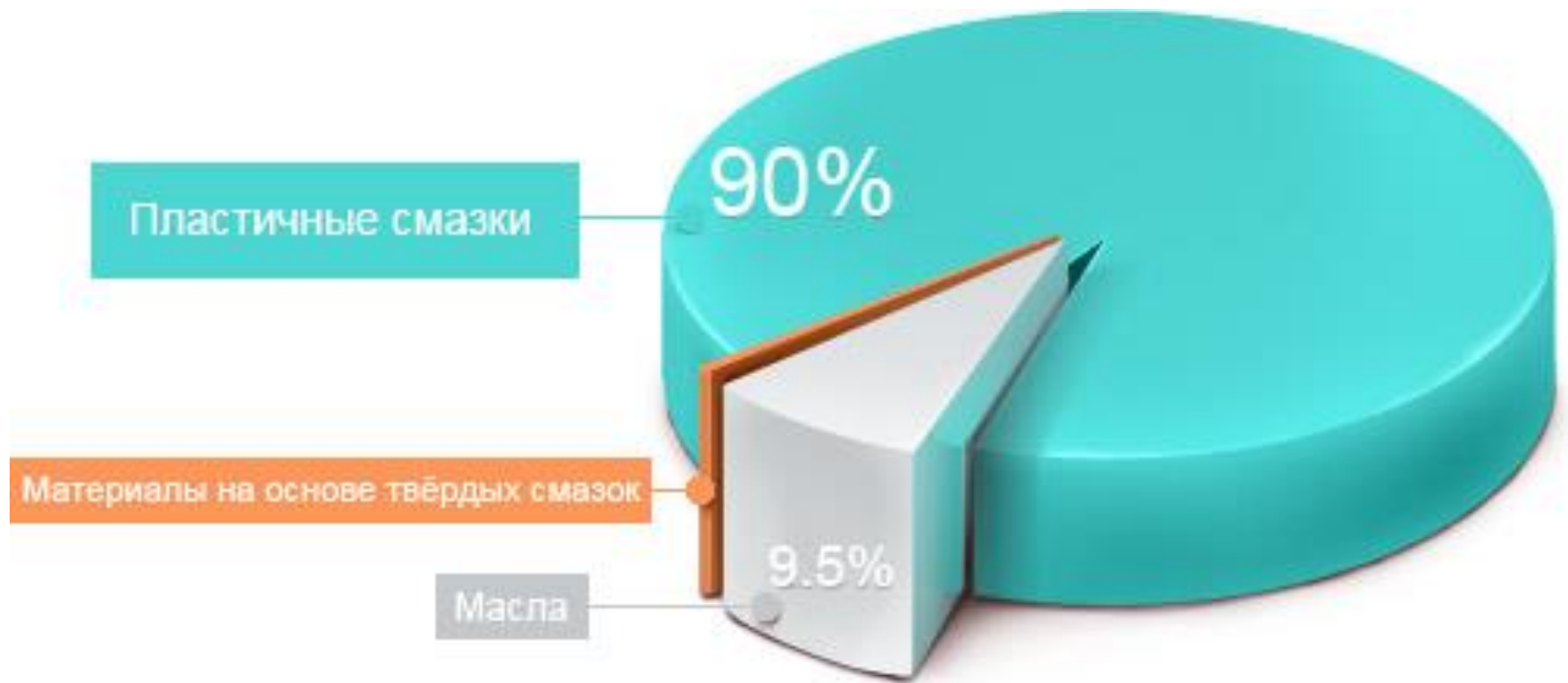
Основная причина – используются жидкие и пластичные смазки которые на морозе затвердевают

Например, затраты на ремонт горнодобывающей техники составляют 40% в структуре добычи угля

В зимнее время поток отказов горнодобывающей техники, работающей, например, в Айхальском горнообогатительном комбинате (Якутия), увеличивается до **десятикратной величины!**

**X10**

## Доли используемых смазок



Твердые смазки могли бы полностью заменить все другие виды смазок

Причиной низкого уровня использования твердых смазок –  
отсутствие эффективных технологий их получения

# Технология нанесения твердого антифрикционного покрытия универсального назначения

Технологическим прорывом в области решения проблемы трения и износа является новая инновационная технология **нанесения твердого антифрикционного покрытия универсального назначения на основе использования ультразвуковой энергии** – патент RU № 2526342

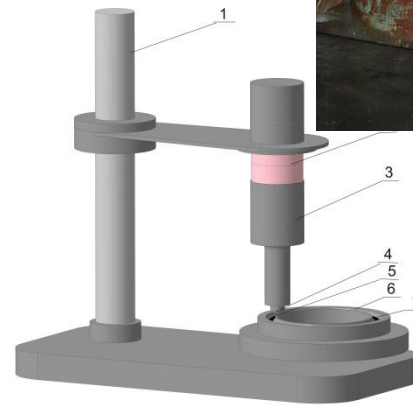
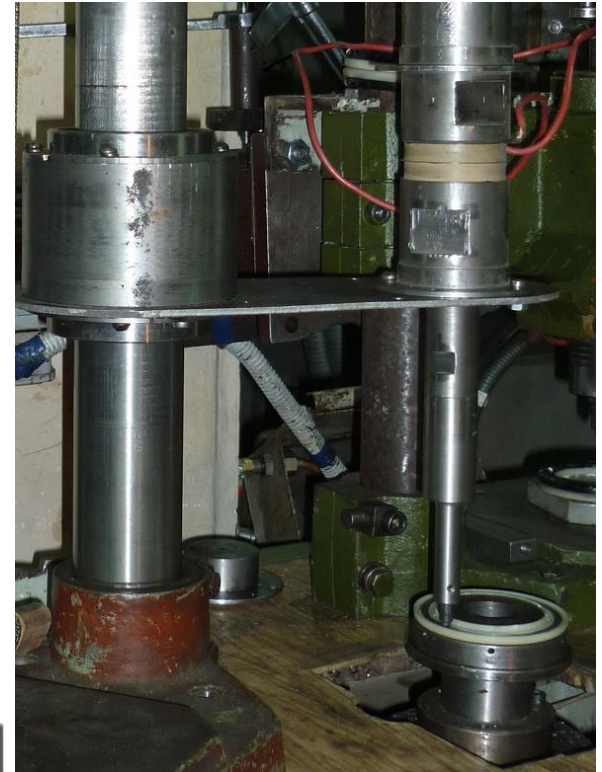
**Эта технология - научный приоритет авторов проекта**

- **устраняет необходимость использования в машинах сложных систем смазки,**
- **уменьшает их вес,**
- **повышает надежность и долговечность работы,**
- **снижает их шум и вибрацию,**
- **ликвидирует необходимость межремонтного обслуживания подшипников.**
- **резко снижает момент трогания и момент сопротивления вращению опор качения в двигателях**

*Предложенная технология открывает новые возможности для повышения эксплуатационных свойств техники, особенно **работающей в условиях Арктики**, так как жидкая и пластическая смазки при низких температурах теряют свои смазочные свойства и препятствует вращению подшипников. Это свойство также проявляется при высокой частоте вращения подшипников. Поэтому весьма целесообразно во всех случаях жидкие пластические смазки заменять твердыми смазками.*

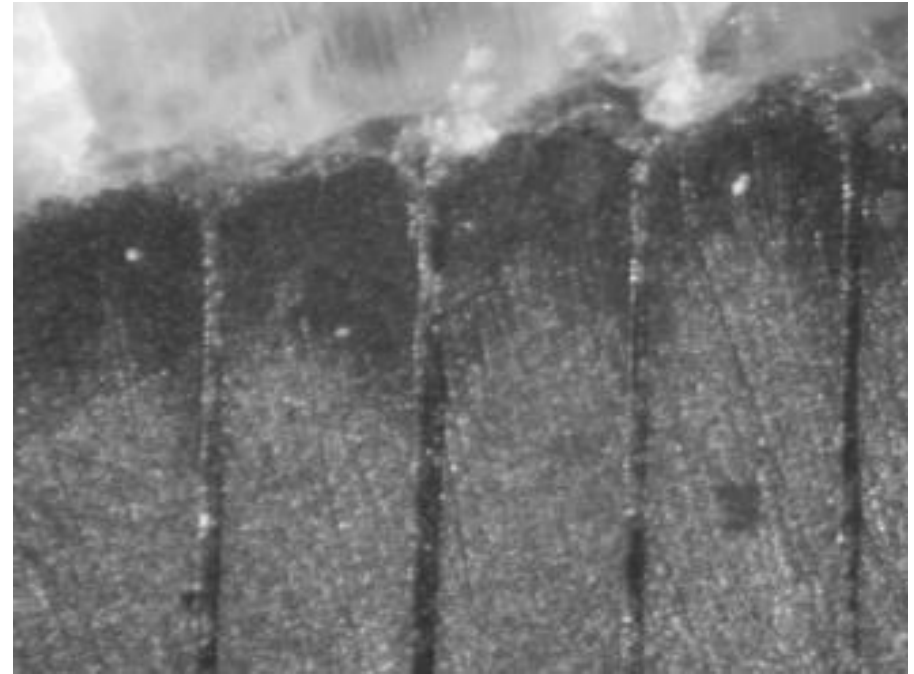
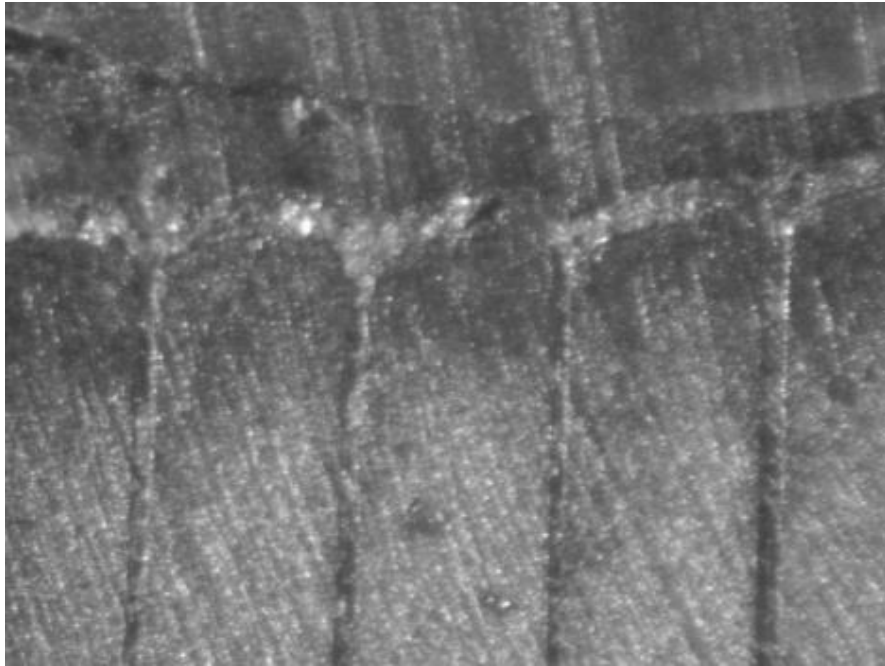
# Способ УЗК покрытия

Сущность технологии заключается в том, что антифрикционный материал (дисульфит молибдена, графит, диоксид титана и др.) находящийся в виде порошка на покрываемой поверхности детали, подвергается ультразвуковому воздействию со стороны металлического индентора с определенным усилием, в результате чего осуществляется интенсивная диффузия покрываемого материала в поверхность детали. Кроме того, микронеровности детали подвергаются пластической деформации и образуют своеобразные «карманы», прочно удерживающие плотно спрессованное покрытие.



1 – станина; 2 - пьезокерамический преобразователь; 3 - механический усилитель; 4 – индентор; 5 – обрабатываемая поверхность; 6 – деталь; 7 – антифрикционный порошок.

# Фотографии микрошлифов дорожек качения с увеличением 1:100



# Основные характеристики продукта и преимущества перед аналогами

Параметр	Создаваемый продукт	Конкурент №1	Конкурент №2
<i>Технические параметры</i>	Ультразвуковое антифрикционное покрытие	Минеральные покрытия	Газоплазменное напыление
<i>Выдерживаемые контактные напряжения</i>	2000-3000 МПа	300-500 МПа	1000-1500 МПа
<i>Глубина покрытия</i>	0,5-0,7 мм	0,01-0,02 мм	0,2-0,3 мм
<i>Коэффициент трения</i>	0,01-0,05	0,03-0,05	0,08-0,10
<i>Стоимость оборудования</i>	300-400 тыс. руб	1200-1500 тыс. руб.	2500-3500 тыс. руб.

## Экономический эффект за счет использования покрытия опор качения в горнодобывающей и транспортной технике, работающей в условиях Арктики

№ п/п	Наименование показателя	Действующий	Предполагаемый	Экон. эффект
1.	Срок службы до капитального ремонта по причине необходимости замены опор качения	Менее 1500 час.	Не менее 3000 час.	Более 3 млрд. руб./год
2.	Доля аварийной поломки техники, основной причиной которых является выход из строя опор качения в условиях низких температур	До 10%	Исключение поломки техники по причине выхода из строя опор качения	5-8% от стоимости аварийной техники.

# О научной школе авторов проекта

## Единственная научная школа России, комплексно решающая проблемы подшипникового производства

- Моделирование и прогнозирование работы подшипников
- Создание инновационных конструкций подшипников
- Создание инновационных технологий производства подшипников
- Опыт производства нестандартного оборудования
- Опыт производства нестандартных подшипников



9 докторов т.н., 52 кандидата т.н.

Многолетнее сотрудничество с подшипниковыми заводами

Более 300 патентов



Более 500 публикаций, в т.ч. 54 в Scopus, Web of Science и др.

### Международные награды



### Правительственные награды



# Инновационный задел авторов проекта

Наша научная школа – единственная научная школа России, комплексно решающая проблемы подшипникового производства

1. Разработаны новые конструкции подшипников превосходящие по долговечности стандартные подшипники в 3-7 раз!

На основе разработанной нами **теории динамического контакта упругих тел нетрадиционной геометрической формы**, математического моделирования процесса трения, износа и усталостного разрушения подшипников

2. Новые прорывные **упрочняющие технологии** методами холодного пластического деформирования деталей опор качения, обеспечивающие снижение момента сопротивления вращению, повышение износостойкости и усталостной прочности опор качения, а также ликвидирующей проявление эффекта ложного бринеллирования.

3. Разработана новая прорывная технология и теория **релаксации остаточных напряжений в деталях микродинамическим методом**, что позволяет в несколько раз снизить остаточные напряжения в деталях по сравнению с используемым в настоящее время термоотпуском

Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

Тел: +7-905-326-98-92  
+7-905-326-98-91

Докладчик: д.т.н., проф. Королев Андрей Альбертович

Email: [science7@bk.ru](mailto:science7@bk.ru)  
[kor\\_science@mail.ru](mailto:kor_science@mail.ru)