radioactive high-calcium Mongolian flyash for the preparation of alkali-activated geopolymers for safe use as construction materials, Ceram. Inter., 2014, 40: 16475–16483

8.*Temuujin, J., Minjigmaa, A., Bayarzul, U., Kim, D.S., Lee, S.H., Lee, H.J., Ruescher, C.H., MacKenzie, K.J.D.:* Properties of alkali-activated geopolymer binders from milled pond ash and the immobilization of their heavy metal contaminants, Advances in Materials Science and Engineering. submitted (2015)

9.*Temuujin, J., Minjigmaa, A., Zolzaya, Ts., Davaabal, B.*: Preparation and characterisation of geopolymer type paste and concrete from high calcium Mongolian fly ashes, Trans. Ind. Ceram. Soc., 2014, 73: 157-160

10. *Temuujin, J., Minjigmaa, A., Davaabal, B., Zolzaya, Ts., Bayarzul, U., Jadambaa, Ts., Rüscher, C.H.:* Preparation of geopolymer-type mortar and "light-weight concrete" from copper floatation waste and coal combustion by products, Edited by Kriven, W., Wang, J., Zhu, D., Fischer, T., Kirihara, S., *Developments in Strategic Ceramic Materials: Book Series of Ceramic Engineering and Science Proceedings*, Wiley, ISBN: 978-1-119-21173-0, 2015, Volume: 36, Issue: 8, 89-102

УДК 665.76
doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-119-124

Диспергирование наноразмерного диоксида кремния в базовом моторном масле

Н. С. Хитерхеева, А. В. Номоев, П. А. Болоев, В. В. Радов, А. П. Ринчинов, Д. Ж. Самбилов, С. Б. Батороев[1]
[1]ФГБОУ ВО «Бурятский госуниверситет», ООО «НАНОХИТ»
670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, +79021608113, e-mail: nanohit69@gmail.com

Аннотация
В статье приведены результаты экспериментов по диспергированию наноразмерного порошка диоксида кремния в базовом моторном масле. Исследования проводились на ультразвуковой установке (г. Санкт-Петербург). Установка позволяет работать в режиме кавитации на резонансной частоте ≈ 23 кГц. Мощность ультразвуковой установки составляет 630 Вт. Наноразмерный порошок диоксида кремния для опытов был получен путем испарении исходного вещества под воздействием электронного пучка, созданного ускорителем. Полученную добавку исследовали на испытательном стенде в лаборатории ДВС в двигателе Российского производства.
Ключевые слова: наноразмерный порошок; ультразвук; акустическая кавитация; базовое моторное масло; диспергирование

Dispersing the Nanosized Silica in the Base Motor Oil

N. S. Khiterkheeva, A. V. Nomoev, P. A. Boloev, V. V. Radov, A. P. Rinchinov, D. Zh. Sambilov, S. B. Batoroev[1]
[1]Buryat State University, LLC «NANOHIT»
Smolin Str. 24a, Ulan-Ude 670000, Russia, tel.: +79021608113, e-mail: nanohit69@gmail.com

Abstract
Yje paper presents the results of experiments on the dispersing the nano-sized silica powder in the base motor oil which have been conducted using ultrasonic installation (St. Petersburg). The installation allows working in a mode of cavitation at a resonant frequency ≈ 23 kHz. The ultrasound power was 630 watts. Nano-sized silica powder for the experiments was obtained by evaporation of the raw material under the the action of the electron beam produced by an electron accelerator. The resulting additive has been investigated on a test bench in the laboratory of the internal combustion engines in the engine of Russian production.
Keywords: nano powder; ultrasound; acoustic cavitation; base motor oil; dispersion

В Бурятском государственном университете в течение ряда лет ведутся исследования по диспергированию наноразмерных порошков в базовом моторном масле. В предыдущих публикациях рассказывалось об исследовании диспергирования наноразмерного порошка меди [1]. На эту тему получены патенты на изобретения [2, 3]. В одном из исследованием наряду с наноразмерным порошком меди был опробован порошок диоксида кремния. После испытания металлических пластин на машине трения с присадками в моторном масле, образцы были исследованы с помощью сканирующего микроскопа, расположенного в центре общего пользования Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления. На образце, который испытывался с использованием присадки, содержащей диспергированный порошок диоксида кремния, его следы были найдены в качестве наполнителя в кавернах на поверхности металла (см. рис. 1 и табл.1). Эти предварительные исследования показали, что наноразмерный диоксид кремния улучшает условия трения и предохраняет трущиеся поверхности.

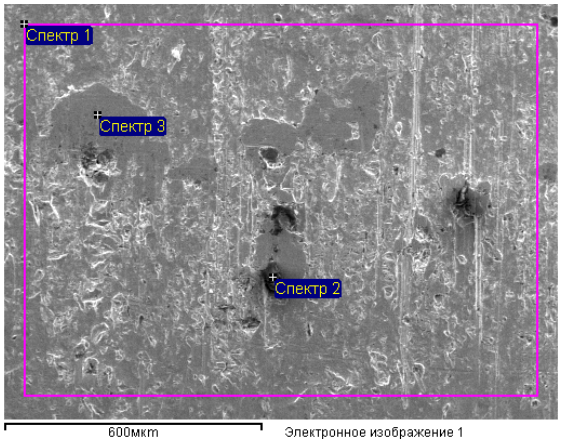

Рис. 1. Изображение металлической поверхности после обработки на машине трения.

Таблица 1. Параметры обработки: выполнен анализ всех элементов (нормализован)

Спектр	В стат.	C	O	F	Al	Si	Mn	Fe	Итог
Спектр 1	Да	9.31			0.83	1.40	0.63	87.83	100.00
Спектр 2	Да	32.01		65.62	0.56			1.81	100.00
Спектр 3	Да		11.06		16.83	19.25		52.86	100.00
Макс.		32.01	11.06	65.62	16.83	19.25	0.63	87.83	
Мин.		9.31	11.06	65.62	0.56	1.40	0.63	1.81	

Все результаты в мас. %

В исследованиях использовались нанопоршки, полученные на базе ИТПМ СО РАН и ИЯФ СО РАН. Процесс основан на испарении исходного вещества под воздействием электронного пучка созданного ускорителем элементарных частиц (метод Бардаханова) [4-6]. Фотография наноразмерного порошка диоксида кремния (торговое название Таркосил) представлена на рисунке 2.

Рис. 2 Фотография наноразмерного порошка диоксида кремния

Установка для ультразвукового диспергирования нанопорошков в базовом моторном масле также была описана в предыдущих публикациях [1]. Ультразвуковой преобразователь и волновод в этой установке согласованы по нагрузке таким образом, что можно достигнуть эффекта акустической кавитации. Ее использование значительно интенсифицирует процесс диспергирования, что также представлено в некоторых отечественных и зарубежных работах [7, 8]. Приводим фотографию нашей установки в момент обработки моторного масла с эффектом кавитации (рис. 3).

Рис. 3. Общий вид ультразвуковой лабораторной установки

Из литературных источников известно, что модификация смазочных материалов с помощью различных добавок известный и эффективный способ улучшения условий трения и снижения износа деталей [9, 10], что особенно актуально в условиях работы пары «поршень-цилиндр» в автомобильных

поршневых двигателях внутреннего сгорания.

С помощью ультразвуковой установки, представленной на рис. 3 наноразмерный порошок диоксида кремния марки Таркосил -50 был продиспергирован в базовом моторном масле. Таким образом, добавка к моторному маслу была приготовлена. В качестве основы для добавки используется базовое моторное масло, потому что оно совместимо со всеми известными марками масел для ДВС. Содержащийся в добавке диспергированный наноразмерный порошок влияет на свойства основного моторного масла.

Для определения влияния наноразмерной добавки на работу двигателя был использован испытательный стенд. В основе стенда использован Российский двигатель для автомобиля ВАЗ 21124.

Условия проведения испытаний: температура окружающего воздуха составляла 24° С, при атмосферном давлении 755 мм рт. ст. Тип используемого топлива, бензин марки АИ-92. Температура охлаждающей жидкости составляла 87°С. Рычаг выбора передачи механической коробки переключения передач (МКПП), на которой снимались показания, устанавливался в положение №5 (табл. 2). Положение угла открытия дроссельной заслонки соответствовало 11°.

Таблица 2. Значения передаточных чисел в разном положении рычага

Передаточные числа коробки передач	
I передача	3,636
II передача	1,950
III передача	1,357
IV передача	0,941
V передача	0,784
Задний ход	3,5

Испытательный стенд представлен на фотографии (рис. 4).

Рис. 4. Фотография испытательного стенда

Параметры работы двигателя снимались через K-Line адаптер, подключаемый к электронному блоку управления (ЭБУ) двигателя и ПК с помощью программного обеспечения OpenDiag Free (рис. 5). Программа предназначена для компьютерной диагностики автомобильных систем инжекторных автомобилей российского производства. Программа используется для проведения технического обслуживания и ремонта автомобилей в автосервисах, СТО или владельцем автомобиля при наличии соответствующего оборудования (адаптеров и ПК).

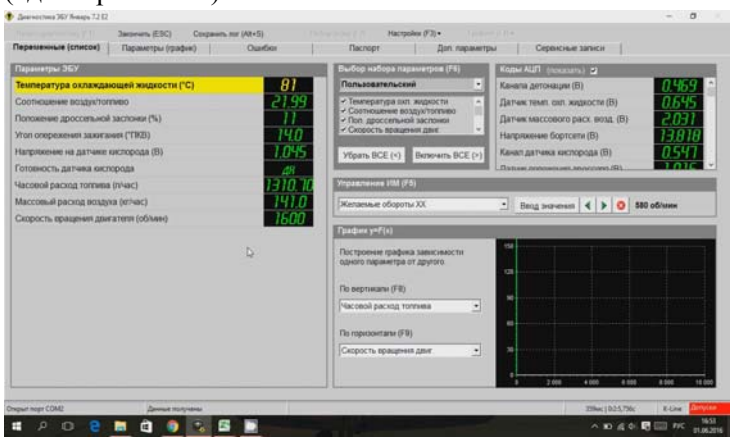

Рис. 5 Интерфейс программы OpenDiag Free

Программа может работать с двумя видами адаптеров: K-line адаптер и ELM. Показания гидравлического тормоза снимались с электронных весов. Испытания проводились до добавления присадки и после добавления присадки (30 минут двигатель работал, чтобы присадка равномерно распределилась по объему масляной ванны двигателя).

В результате исследований были получены характеристики, которые сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 3. Исходные данные без добавления присадки

n, об/мин$^{-1}$	Показания весов тормоза, кгс	Часовой расход воздуха $G_в$, кг/ч
3000	3	87,6
2600	5,8	96,5
2200	21	112,8
1800	29	128,1
1600	35	140,9

Крутящий момент двигателя ***Мк***, Н*м, рассчитывают по формуле

$$M_к = P_{вес} * l$$

где $P_{вес}$ – показание измерительного устройства тормоза, Н, l – плечо весового устройства тормоза, м.

Данные для построения частичной скоростной характеристики ДВС без добавления присадки приведены в таблице 4

Таблица 4. Данные для построения частичной скоростной характеристики

n, об/мин$^{-1}$	*F, кгс*	$P_{вес}$, *Н*	$M_к$, *Н*м*	$n_{кор}$, *об/мин$^{-1}$*	*Ne, кВт*	*Ne, л.с.*	$G_в$, *кг/ч*	$G_т$, *кг/ч*
3000	3	29,43	8,24	3826	3,3	4,4	87,6	5,88
2600	5.8	56,898	15,93	3316	5,53	7,37	96,5	6,47
2200	21	206,01	57,68	2806	16,94	22,6	112,8	7,57
1800	29	284,49	79,65	2295	19,15	25,53	128,1	8,6
1600	35	304,11	85,115	2040	18,189	24,524	140,9	9,45

В таблице 5 и 6 представлены аналогичные данные ипытания двигателя с добавлением наносодержащей добавки.

Таблица 5. Исходные данные с добавлением присадки

n, об/мин$^{-1}$	Показания весов тормоза, кгс	Часовой расход воздуха $G_и$, кг/ч
3000	1	84
2600	1,8	84,7
2200	7	93,5
1800	18	108,7
1600	21	119,2

Таблица 6. Данные для построения частичной скоростной характеристики с добавкой

n, об/мин	*F, кгс*	$P_{вес}$, *Н*	*Мк, Н*м*	$n_{кор}$, *об/мин$^{-1}$*	*Ne, квт*	*Ne, л.с.*	*Gв, кг/ч*	*Gт, кг/ч*
3000	1	9,81	2,74	3826	1,10	1,46	84	5,63
2600	1,8	17,65	4,94	3316	1,71	2,28	84,7	5,68
2200	7	68,67	19,22	2806	5,64	7,53	93,5	6,27
1800	18	176,58	49,44	2295	11,88	15,84	108,7	7,29
1600	21	206,01	57,68	2040	12,32	16,43	119,2	8

Графики частичных характеристик без добавки и с наноразмерной добавкой представлены на рис. 6 и 7.

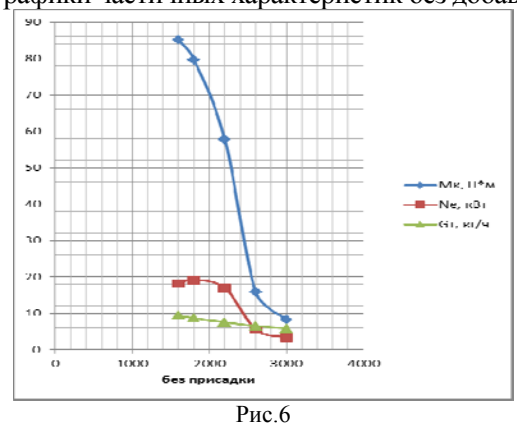

Рис.6

Рис. 7

Сравнительные характеристики для испытаний с добавками и без добавок представлены на нижеследующих графиках (рис. 8, 9 и 10). На графике синяя линия (нижняя линия «квадратики развернутые») соответствует данным с добавками, красная без добавок (верхняя линия «квадратики без разворота»).

Как видно из расположения кривых, часовой расход топлива при работе двигателя с наноразмерной присадкой снижается при работе ДВС в области оптимального числа оборотов 2000-2500 оборотов в минуту. При дальнейшем возрастании числа оборотов (нагруженности ДВС) расход топлива отличается незначительно.

Данные на графике (рис. 9) свидетельствуют о том, что для достижения техже оборотов двигателя требуется значительно меньшее усилие (крутящий момент), что косвенным образом свидетельствует на снижение затрат энергии на сопротивление трению в ДВС.

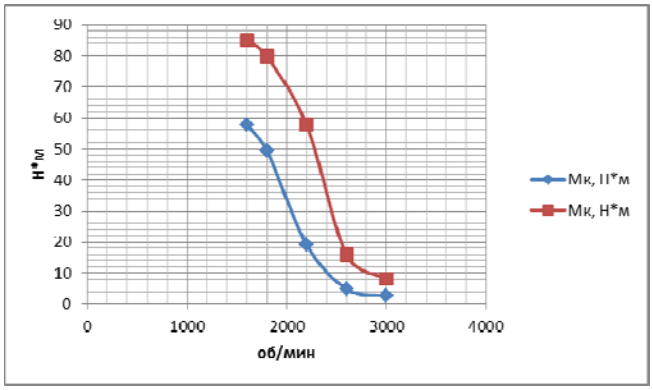

Рис. 8 Часовой расход топлива

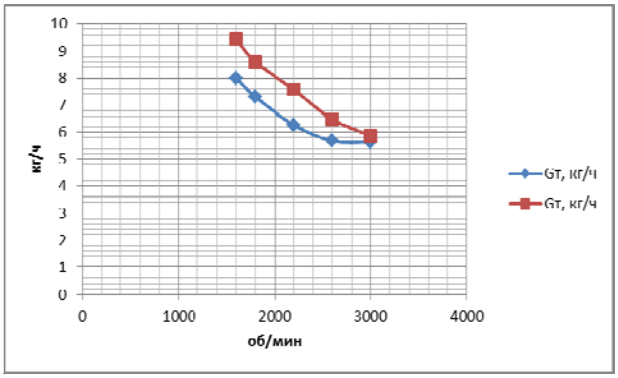

Рис. 9 Крутящий момент на валу

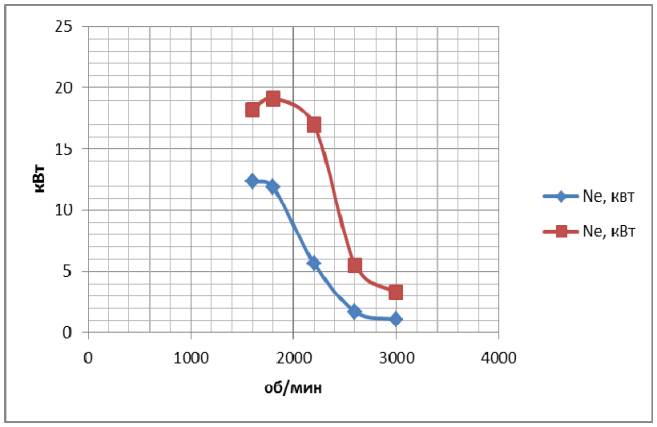

Рис. 10 Потребляемая мощность двигателя

Характеристика потребляемой мощности двигателя согласуется с предыдущими кривыми, так как расход топлива уменьшился, то соответственно уменьшается количество доступной энергии в ДВС. При этом достигаются рабочие характеристики – число оборотов. Т. е. двигатель выходит на оптимальные характеристики работы при меньших затратах энергии.

Испытание проводилось приближенным к условиям согласно ГОСТу 14846-81, который устанавливает объем и методы стендовых испытаний для определения: мощностных и экономических показателей при полных нагрузках (мощности нетто и брутто); мощностных и экономических показателей при частичных нагрузках; показателей на холостом ходу; условных механических потерь и т. д.

Все испытания проводились с учетом статистической погрешности. Измерение проводились не менее 10 раз. В таблице приведены среднеарифметические значения показателей.

Заключение

При современном уровне развития двигателестроения использование масла без присадок (добавок) практически невозможно, т.к. невозможно создание масел, которые обеспечили бы эффективную защиту двигателя и одновременно не разрушались в течение длительного времени. Практически все товарные автомобильные масла выпускаются с присадками, их число достигает до 8 различных соединений, а общее массовое содержание- до 25%. Эффективность действия присадок обуславливается их химическими свойствами и концентрацией в смазочных материалах, а также приемистостью последних к добавкам. Добавка в виде наноразмерных порошков вносит новые аспекты.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Способ диспергирования наноразмерных порошков с помощью ультразвука в режиме акустической кавитации является эффективным и перспективеным, при этом получается готовый к реализации продукт, который может быть использован в традиционных условиях эксплуатации в различных технических системах.

2. Модифицирующие нанодобавки разной природы и способов получения могут значительно повлиять на характеристики трения, что доказывается вышеизложенным исследованиям. При использование модифицирующих нанодобавок значительно улучшаются технико-экономические показатели технических агрегатов.

3. Наши исследования носят пионерский характер, но полученные результаты свидетельствуют о том, что это направление нанотехнологий имеет перспективный характер и они могут быть расширены и систематизированы. Надеемся, что аналогичные исследования в мире проводятся, но результаты таких исследований, скорее всего, составляют коммерческую тайну. Очевидно поэтому в открытой печати публикаций по этой теме не много.

Литература

1.Хитерхеева Н.С., Номоев А.В., Бадмаев С.С., Батороев С.Б., Радов В.В. Особенности ультразвукового диспергирования наноразмерного порошка меди в базовом моторном масле/Инновационные технологии в науке и образовании/ Изд. Бур.ГУ, Улан-Удэ. 2015. – с. 63-69.

2. Патент на изобретение RU2508963 C2. Способ диспергирования наноразмерного порошка диоксида кремния ультразвуком. Хитерхеева Н.С., Бардаханов СП., Номоев А.В., Уладаева С.С., бюл. №7, 2014.

3. Патент на изобретение RU2591918 C2. Способ диспергирования наноразмерного порошка меди в базовом моторном масле. Хитерхеева Н.С., Бардаханов СП., Номоев А.В., Батороев С.Б., бюл. № 20, 2016.

4.Бардаханов, С.П. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении / С.П. Бардаханов, А.И. Корчагин, Н.К. Куксанов, А.В. Лаврухин, Р.А. Салимов, С.Н. Фадеев, В.В. Черепков // Доклады Академии Наук. 2006. т. 409. №3. С. 320-323.

5.Nomoev A.V., Lygdenov V.T., Impact of silica nanopowder on wear resistance of paint coating. Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal. 3 (2010) 19-20.

6.Syzrantsev V.V., Zobov K.V., Zavjalova A.P., Bardakhanov S.P., The associated layer and viscosity of nanoliquids. Doklady Physics. 60 (2015) 46–48.

7.Blackstock D.T., Fundamental of Physical Acoustics, Chapter 7: Horns, John Wiley & Sons, 2000.

8.Ensminger D. and Bond L.J., Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications, CRC Press, 3rd edition, (2012).

9.Аметов, В.А. Оценка влияния металлосодержащих присадок на работоспособность трибосистемы ДВС-масло / В.А. Аметов, Е.Н. Спирин // Вестник ТГАСУ. 2002. – с. 27–31.

10. Аметов, В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: диссертация доктора технических наук : Тюмень, 2006. – 382 с.

Сведения об авторах

Хитерхеева Надежда Сергеевна – генеральный директор ООО «НАНОХИТ»; старший научный сотрудник лаборатории физики наносистем, кандидат технических наук, доцент БГУ. 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, +7 902-160-8113; e-mail: nanohit69@gmail.com

Номоев Андрей Валерьевич – ведующий научный сотрудник лаборатории физики наносистем, доктор физико-математических наук, БГУ.

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор кафедры машиноведение БГУ, 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а.

Радов Валерий Владимирович – аспирант БГУ.

Ринчинов Александр Петрович – студент БГУ.

Самбилов Дамдин Жамсаранович – магистрант БГУ.

Батороев Сократ Баторович – аспирант БГУ.

УДК 537.533+661.8/061/1+661/571+546.302
doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-124-126

Особенности создания наноструктурированных поверхностных слоев на штамповые стали при воздействии интенсивных электронных пучков в вакууме

А. С. Милонов, Б. А. Данжеев, Н. Н. Смирнягина[1]

[1]Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Россия,
г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: terwer81@mail.ru

Аннотация

Насыщение поверхностных слоев металлов и сплавов бором проводят с целью повышения их поверхностной твердости, износостойкости и т. д. Многокомпонентные слои, содержащие в своем составе бориды тугоплавких металлов, как правило, формируют методами химико-термической обработки в результате взаимодействия борирующего компонента с тугоплавким, либо за счет насыщения бором тугоплавкой примеси металла или сплава.