

---

## Оценка эффективности водорастворимых технологических смазочных средств при алмазно-абразивной обработке материалов на машине трения СМЦ-2

Г.И. Шульга<sup>1</sup>, Е.В. Скринников<sup>1</sup>, Т.Г. Шульга<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова,  
<sup>2</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения

**Аннотация:** Тенденциями современного автомобилестроения являются использование постоянных магнитов для снижения массогабаритных характеристик электрооборудования и автомобиля в целом. Алмазно-абразивная обработка спеченных порошковых постоянных магнитов на основе феррита бария, стронция и кобальта сопряжена с трудностями получения поверхностей с низкими значениями шероховатости вследствие повышенной хрупкости, склонности к трещинообразованию. Разработано функциональное водорастворимое технологическое смазочное средство (ФВТСС) РВ-6, содержащее фрактальные кластеры и генерирующее в контакте алмазный абразивный инструмент-обрабатываемый порошковый магнитный материал пленки с высокой нагрузочной и смазочной способностью.

Предложены критерии оценки эффективности водорастворимых технологических смазочных средств (ВТСС) при алмазно-абразивной обработке на машине трения СМЦ-2. Проведены сравнительные испытания по предложенным критериям эффективности ФВТСС РВ-6 и СОЖ Blasokut 4000 SF 004 при обработке алмазным кругом 2720-0031 ГОСТ 16167-90 феррита бария 16БА190. Сделан вывод о большей эффективности РВ-6.

**Ключевые слова:** постоянный магнит, феррит бария, функциональное водорастворимое технологическое смазочное средство, фрактальный кластер, алмазный круг, машина трения.

### Введение

Новыми тенденциями развития современного автомобилестроения являются: переход на питание бортовой сети 42 В, начиная с 2008 года; экономичность – снижение расхода топлива до 3 л на 100 км пути; повышение безопасности на дорогах улучшением комфортности управления автомобилем; уменьшение массогабаритных характеристик электрических двигателей и увеличение их мощностных параметров (стартер-генератора, электрической помпы системы охлаждения привода управления клапанами, двигателей стеклоочистителя, стеклоомывателя, вентилятора

---

стеклоподъемника); магнитных пробок для удаления железосодержащих примесей из масла коробок передач и заднего моста; применение новых типов тахометрических датчиков, датчиков положения и т.д.

В двигателях, датчиках, приборах, системах зажигания применяют спеченные постоянные магниты на основе феррита бария, стронция, кобальта, спеченные или литые на основе системы  $Al - Nd - Co - Cu$  (ЮНДК), из сплава  $Fe - Cr - Co$ . Все большее применение в автомобилестроение находит применение новый тип постоянных магнитов на редкоземельной основе  $Nd - Fe - B$ , обеспечивающий уменьшение массогабаритных характеристик электрических двигателей и увеличение их мощностных параметров [1].

Магнитотвердые ферриты (оксидные магниты) – это ферромагнетики с большой кристаллографической анизотропией. Ферриты бария и стронция имеют гексагональную структуру с общей химической формулой  $MeO \cdot nFe_2O_3$ , где  $Me$  – барий  $Ba$  или стронций  $Sr$ ,  $n$  – коэффициент, изменяющийся в зависимости от марки от 4,7 до 6,0. Магниты на основе феррита бария выпускают изотропными (БИ) и анизотропными (БА), а ферриты стронция – анизотропными (СА). Ферриты кобальта  $Co$  имеют кубическую структуру с общей химической формулой  $Co \cdot Fe_2O_3$  и выпускаются анизотропными (КА).

Магнитотвердые ферриты бария, стронция и кобальта труднообрабатываемы. Механическая обработка данных материалов сопряжена с трудностями получения поверхностей с низкими значениями шероховатости вследствие их хрупкости и склонности к трещинообразованию из-за низкой теплопроводности. Основным видом механической обработки магнитотвердых ферритов является шлифование алмазными кругами с использованием водорастворимых технологических смазочных средств (ВТСС).

---

Новыми тенденциями развития современного машиностроения в области обработки материалов является создание функциональных (адаптирующихся) водорастворимых технологических смазочных средств (ФВТСС), обеспечивающих увеличение долговечности инструмента, технологического оборудования и оснастки, улучшающих качество обрабатываемых поверхностей.

Основоположником синергетики как теории, связанной с изучением процессов в сложных системах далеких от равновесия, Г. Хакеном выделена триада, контролирующая процессы самоорганизации: нелинейность – когерентность – открытость [2]. Введенное Б.Б. Мандельбротом понятие фрактальной геометрии [3, 4] и установленные связи фрактальности с теорией нелинейных отображений является объективным отражением принципов синергетики. Фракталы («fractional» – дробный) являются объектами, которые при наблюдении при различных увеличениях повторяют одну и ту же (самоподобную) форму.

Фракталы, кроме свойства самоподобия, обладают свойствами универсальности, заключающимися в их инвариантности к природе объекта. Фрактальную размерность используют как единую количественную меру разупорядоченности структур различной природы. Фрактальное материаловедение связывают с созданием материалов с заданными свойствами путем управления фрактальной структурой, возникающей в условиях нелинейной динамики. Фрактальные структуры обладают всеми свойствами биологических материалов [5], так как они инвариантны к анализируемому объекту, обладают свойствами адаптации к внешнему воздействию, способны к самоуправлению путем перестройки структуры в критических точках.

Концепция разработки ФВТСС основывается на следующих положениях [6, 9-11]: создание нанокластеров с фрактальной структурой из

---

компонентов с высоким уровнем неравномерности, формирование фрактальных гетерогенных структур в объеме материала, слоистых (ламеллярных) в зоне контакта трибосопряжений, обеспечивающих долговечность инструмента, оснастки, оборудования, улучшение качество обрабатываемых поверхностей, встраивание компонентов ФВТСС в пищевые цепи экосистем. На данных принципах разработан ФВТСС РВ-6, который используется при алмазно-абразивной обработке различных материалов, в том числе постоянных магнитов.

Целью исследований является разработка методики оценки эффективности ВТСС, используемых при алмазно-абразивной обработке компактных и порошковых спеченных материалов.

### **Методика исследований и материалы**

Разработана оперативная методика комплексной оценки эффективности водорастворимых технологических смазочных средств (ВТСС) [6] на машине трения СМЦ-2 [7,8] при алмазно-абразивной обработке материалов. Схема испытания образцов контактирующей пары абразивный круг-шлифуемый металлический образец на машине трения СМЦ-2 приведена на рис.1.

На верхний неподвижный вал машины трения СМЦ-2 устанавливают неподвижную обойму 1, в которой закреплены шлифуемые металлические образцы 2, 3, 4. На нижний вал машины трения устанавливают шлифовальный круг 5. Ванну 7 заполняют ВТСС 6. Оценка эффективности ВТСС производят при увеличении радиальной силы  $P_y$  на 100 Н, начиная с 200 Н, до критической нагрузки  $P_{yk}$ , при которой появляются прижоги на компактных образцах или происходит разрушение спеченного порошкового

---

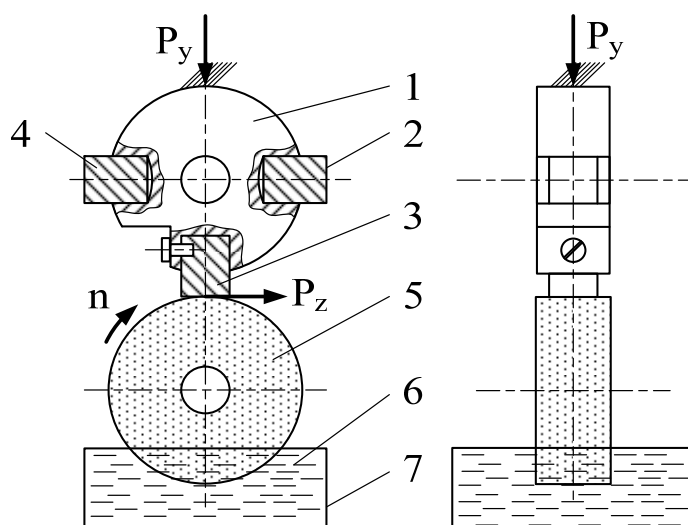


Рис. 1. – Схема испытаний водорастворимых технологических смазочных средств при алмазно-абразивной обработке на машине трения СМЦ-2: 1 – обойм; 2, 3, 4 – образцы материалов; 5 – абразивный круг; 6 – ВТСС; 7 – ванна;  $P_y$  – радиальная сила;  $P_z$  – тангенциальная сила.

образца. Время испытания при фиксированной радиальной силе  $P_y$  – 5 с. В зону шлифования ВТСС подают при окунании в ванну шлифовального круга, вращающегося с частотой вращения 300, 500, 1000  $\text{мин}^{-1}$  (соответственно линейные скорости равны 0,78, 1,31, 2,62  $\text{м/с}$ ). Объемы снятого материала и изношенной части абразива определяли весовым методом на аналитических весах ВЛР-200 ГОСТ 24104-2001 в мг

В качестве шлифуемого материала выбран спеченный феррит бария  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  16БА190, размер образца в виде призмы 12x11x6, марка абразивного круга 2720-0031, ГОСТ 16167-90, размер круга 1А1 40x16x16. В качестве ВТСС для сравнения выбраны ФВТСС РВ-6 (Россия) и СОЖ Blasokut 4000 SF 004 (Швейцария). Критерии оценки эффективности ВТСС при алмазно-абразивной обработке материалов с использованием ВТСС приведены в табл.

## Результаты исследований и их обсуждение

Проводились сравнительные испытания оценки эффективности водорастворимых технологических смазочных средств (ВТСС) на машине трения СМЦ-2 при частоте оборотов шлифовального круга  $300 \text{ мин}^{-1}$  1,0-процентных водных растворов РВ-6, содержащих фрактальные кластеры, и СОЖ Blasokut 4000 SF 004 (Швейцария) на процесс алмазно-абразивной обработки феррита бария 16БА190. Сравнительные испытания эффективности ВТСС проводили по пунктам критериев эффективности 1-13, приведенных в табл. Результаты сравнительных испытаний ВТСС приведены на рис.2,3.

Таблица

Критерии эффективности алмазно-абразивной обработки материалов с использованием ВТСС

№ п/п	Критерии	Размерность	Формулы, методы определения
1	Радиальная сила, $P_y$	$H$	Задается
2	Критическая радиальная сила, $P_{yk}$	$H$	Определяется экспериментально
3	Тангенциальная сила, $P_z$	$H$	$P_z = \frac{M_{mp}}{R}$
4	Эффективная мощность, $N_s$	$кВт$	$N_s = \frac{P_z \cdot V_0}{998}$
5	Коэффициент трения, $\mu$	—	$\mu = \frac{M_{mp}}{P_y \cdot R}$
6	Температура в объеме ванны, $T$	$^{\circ}C$	Измерение

7	Объем снятого материала, $Q_m$	<i>мг</i>	Взвешивание
8	Объем изношенной части абразива, $Q_a$	<i>мг</i>	Взвешивание
9	Коэффициент шлифования по массе, $K_{ш}$	$мг \cdot мг^{-1}$	$K_{ш} = \frac{Q_m}{Q_a}$
10	Коэффициент режущей способности, $K_p$	$мг \cdot ммн^{-1} \cdot Н^{-1}$	$K_p = \frac{Q_m}{t \cdot P_y}$
11	Удельная мощность шлифования, $K$	$Вт \cdot мин \cdot мг^{-1}$	$K = \frac{N_э \cdot t}{Q_m}$
12	Комплексный критерий, $K_m$	$мг \cdot мин^{-1} \cdot Вт^{-1} \cdot мкм^{-1}$	$K_m = \frac{Q_m}{t \cdot N_э \cdot R_a}$
13	Шероховатость поверхности, $R_a$	<i>мкм</i>	Измерение

**Обозначения:**  $M_{тр}$  – момент трения между алмазно-абразивным инструментом и шлифуемым образцом,  $H \cdot см$ , определяют по трибограмме прибора машины трения СМЦ-2;  $R$  – радиус шлифовального круга,  $см$ ;  $V_0$  – линейная скорость абразивного круга,  $м/с$ .

На рис.2 показана эффективность абразивной обработки образцов феррита бария 16БА190 алмазным кругом 2720-0031 с использованием 1,0 процентных водных растворов ФВТСС РВ-16. Критическая нагрузка разрушения феррита бария 16БА190 составила  $P_{yk} = 700 Н$ . В диапазоне радиальных на грузок  $P_y = 200...700 Н$  коэффициент трения  $\mu$  соответственно уменьшился с 0,23 до 0,13, съем феррита бария  $Q_m$

увеличился с 30 до 120 мг, износ алмазного шлифовального круга  $Q_a$  увеличился с 2 до 6 мг, температура  $T$  в объеме ванны практически не изменилась и составила  $16^{\circ}\text{C}$ , тангенциальная сила  $P_z$  увеличилась с 48 до 90 Н, эффективная мощность  $N_e$  увеличилась с 25 до 55 Вт.

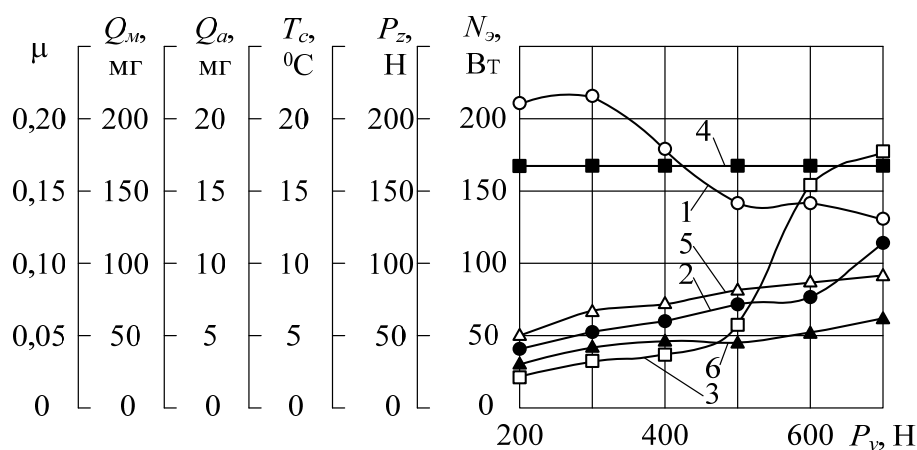


Рис.2. – Эффективность абразивной обработки образцов феррита бария 16БА190 алмазным кругом 2720-0031 с использованием 1,0 процентного водного раствора ФВТСС РВ-16.

При испытании ФВТСС РВ-6 и приложении радиальной силы  $P_y = 400$  Н коэффициент шлифования по массе  $K_{ш} = 29,16 \text{ мг} \cdot \text{мг}^{-1}$ , коэффициент режущей способности составил  $K_p = 5,27 \text{ мг} \cdot \text{ммн}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$ , удельная мощность шлифования –  $K = 0,021 \text{ Вт} \cdot \text{мин} \cdot \text{мг}^{-1}$ , комплексный критерий –  $K_m = 74,37 \text{ мг} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{мкм}^{-1}$ .

На рис.3 показана эффективность абразивной обработки образцов феррита бария 16БА190 алмазным кругом 2720-0031 с использованием 1,0 процентного водного раствора СОЖ Blasokut 4000 SF 004. Критическая нагрузка разрушения феррита бария 16БА190 составила  $P_{yk} = 400$  Н. В диапазоне радиальных нагрузок  $P_y = 200 \dots 400$  Н, коэффициент трения  $\mu$  соответственно уменьшился с 0,40 до 0,28, съём феррита бария  $Q_m$



увеличился с 20 до 155 мг, износ алмазного шлифовального круга  $Q_a$  увеличился с 8 до 22 мг, температура  $T$  в объеме ванны практически не изменилась и составила  $17^{\circ}\text{C}$ , тангенциальная сила  $P_z$  увеличилась с 40 до 55 Н, эффективная мощность  $N_e$  увеличилась с 20 до 40 Вт.

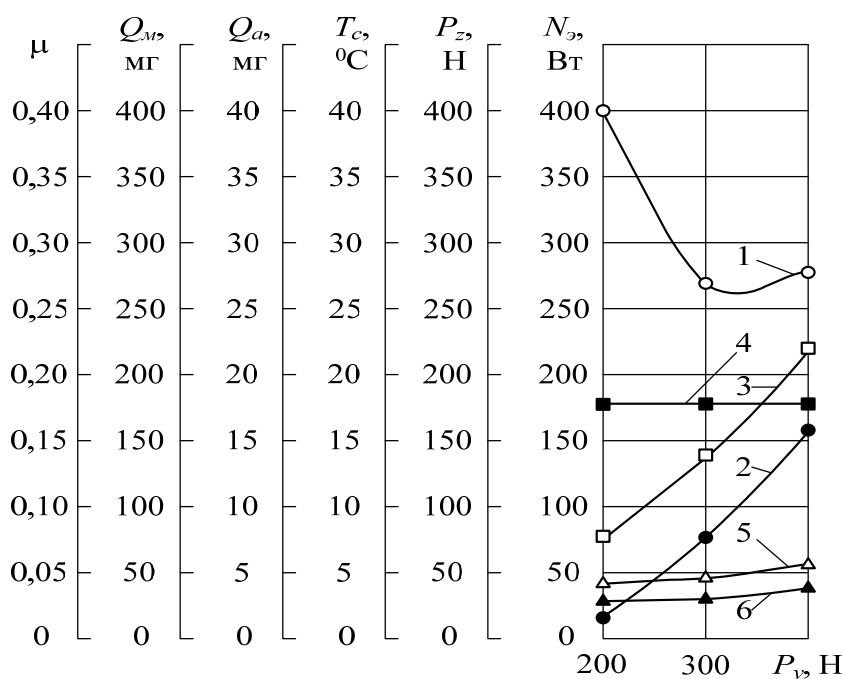


Рис.3. – Эффективность абразивной обработки образцов феррита бария 16БА190 алмазным кругом 2720-0031 с использованием 1,0 процентного водного раствора СОЖ Blasokut 4000 SF 004

При испытании СОЖ Blasokut 4000 SF 004 и приложении радиальной силы  $P_y = 400 \text{ Н}$  коэффициенты, приведенные выше, принимали следующие значения:  $K_{ш} = 6,91 \text{ мг} \cdot \text{мг}^{-1}$ ,  $K_p = 4,58 \text{ мг} \cdot \text{ммн}^{-1} \cdot \text{Н}^{-1}$ ,  $K = 0,02 \text{ Вт} \cdot \text{мин} \cdot \text{мг}^{-1}$ ,  $K_m = 64,59 \text{ мг} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{мкм}^{-1}$ .

Анализ полученных результатов показал, что смазочный материал РВ-6, содержащий фрактальные структуры, образует в зоне контакта феррит бария-алмазный абразивный круг пленки, обладающие повышенными смазочными свойствами. Данные пленки снижают коэффициент трения,

уменьшают износ алмазного круга, повышают критическую нагрузку разрушения феррита бария  $P_{yk}$  до 700 Н.

Таким образом по предложенным критериям можно определять эффективность применения и проводить сравнительные испытания различных ВТСС при алмазно-абразивной обработке материалов. На основании сравнительного анализа значений критериев эффективности ФВТСС РВ-6 и СОЖ Blasokut 4000 SF 004 сделан вывод о большей эффективности РВ-6.

### Литература

1. Постоянные магниты для автомобильной промышленности. Производство и применение. URL: [inttextex.ru/page/postojannye-magnity-dlja-avtomobilnoj-promyshltnnosti-proizvodstvo-i-primenenie](http://inttextex.ru/page/postojannye-magnity-dlja-avtomobilnoj-promyshltnnosti-proizvodstvo-i-primenenie).
  2. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 411 с.
  3. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature N.Y.:Freeman.1983.480 p
  4. Mandelbrot B.B, Passoja D.E., Paullay A.J. Fractal character of fracture surfaces of metals // Nature.1984.V.308. pp. 721-722.
  5. Иванова В.С. От дислокации к фракталам. Фрактальная синергетика и «интеллектуальные» материалы // Материаловедение, 2001. Ч.2. №1. С.22-29.
  6. Шульга Г.И. Функциональные водорастворимые технологические смазочные средства для обработки материалов. Ростов н/Д: Ред. ж. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2004.212 с.
  7. Даровский Г.В. Совершенствование механизма нагружения машины трения типа «Амслер» // Инженерный вестник Дона, 2008, №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/72/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2008/72/).
  8. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетная модель радиального подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на микрополярной смазке с учетом её
-

вязкостных характеристик от давления //Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2200/.

9. Шульга Г.И. Шульга Т.Г Экологические проблемы разработки, применения и утилизации водорастворимых технологических смазочных средств // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Проблемы электрохимии и экологии. Естественные науки. Спецвыпуск. 2008. С.126-132.

10. Шульга Г.И., Колесниченко А.О., Скринников Е.В., Шульга Т.Г. Функциональные технологические смазочные материалы, труктурированные нанопорошками цветных металлов для повышения эффективности обработки деталей транспортных систем // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11. №10(61). С.1867-1873.

11. Шульга Г.И. Функциональные смазочные материалы, содержащие фрактальные кластеры // Физическое материаловедение: сборник тезисов и статей VI международной школы, г. Новочеркасск, 24 июня 2013 г.: /Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И.Платова, Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. С.221-229.

### References

1. Postoyannye magnity dlya avtomobil'noy promyshlennosti. Proizvodstvo i primeneniye. [Permanent Magnets for Automobile Industry. Production and Application]. URL: [inttextex.ru/page/postojannye-magnity-dlja-avtomobilnoj-promyshlennosti-proizvodstvo-i-primeneniye](http://inttextex.ru/page/postojannye-magnity-dlja-avtomobilnoj-promyshlennosti-proizvodstvo-i-primeneniye).

2. Khaken G. Sinergetika. Ierarkhiya neustoychivostey v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroystvakh [Synergy. Hierarchy of instability in training systems and devices] M: Mir, 1985.411 p.

3. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature N.Y.:Freeman.1983. 480p.



4. Mandelbrot B.B, Passoja D.E., Paullay A.J. Fractal character of fracture surfaces of metals. Nature.1984.V.308. pp. 721-722.

5. Ivanova V.S. Materialovedenie. 2001. Ch.2.№1.pp.22-29.

6. Shul'ga G.I. Funktsional'nye vodorastvorimye tekhnologicheskie smazochnye sredstva dlya obrabotki materialov. [Functional water-soluble technological lubricants for material treatment]. Rostov n/D: Red. zh. «Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region», 2004.212 p.

7. Darovskiy G.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2008, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/72/.

8. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. /Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2200/.

9. Shul'ga G.I. Shul'ga T.G Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Problemy elektrokhimii i ekologii. Estestvennye nauki. Spetsvypusk. 2008. pp.126-132.

10. Shul'ga G.I., Kolesnichenko A.O., Skrinnikov E.V., Shul'ga T.G. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 11. №10 (61).pp .1867-1873.

11. Shul'ga G.I. Fizicheskoe materialovedenie: sbornik tezisov i statey VI mezhdunarodnoy shkoly, g. Novochoerkassk, 24 iyunya 2013 g. (Physical material Science: Collection of abstracts and papers of the VI<sup>th</sup> International School): /Yuzh.-Ros. gos. politekhn. Un-t (NPI) imeni M.I.Platova, Novochoerkassk: YuRGPU (NPI), 2013. pp.221-229.