

УДК 621.7.014.2; 621.829

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СМАЗОЧНО – ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Петров Юрий Владимирович

Студент 5 курса

кафедра «Технологии машиностроения»

Санкт – Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ – ВТУЗ)

Научный руководитель: Ю.М. Зубарев,

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии
машиностроения»*

Постановка задачи

К современным конструкционным материалам, используемым в энергомашиностроении предъявляются высокие эксплуатационные требования. Традиционно используемые конструкционные материалы и материалы триботехнического назначения, в том числе металлы и их сплавы не в состоянии удовлетворить возросшие требования по прочности, износостойкости, долговечности. Товарный рынок предлагает композиционные материалы, на основе термопластов и реактопластов. Преимущества композитов: высокие удельные прочностные и упругие характеристики, стойкость к агрессивным химическим средам, низкие тепло- и электропроводность, хороши триботехнические характеристики (низкий коэффициент трения, высокая износостойкость, способность работать в режиме трения без смазочного материала), а также они экологичны. Все эти свойства позволяют применять их в энергомашиностроении [1]. К подобным материалам относятся композиционные углепластики марок ФУТ и УГЭТ производства ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». Спрос на детали из них постоянно растет. Однако вопрос их серийного освоения остается открытым. Причиной ограниченного применения являются сложности достижения заданной точности и качества на операциях финишной обработки. Например, допуски на размеры должны быть выполнены по 6-7 квалитетам, взаимное расположение поверхностей (соосности, радиального биения – до 0,02 мм), микрогеометрии поверхности (шероховатость до 0,4...0,1 мкм по параметру Ra, волнистость до 1500 по параметру Wmax) [11].

Для достижения требуемой точности и показателей качества, уменьшения изнашивания контактирующих поверхностей режущего инструмента и снижения сил резания при обработке применяют различные СОТС, подаваемые в зону контакта.

Основная цель введения СОТС в зону резания заключается в создании в зоне трения преимущественно жидкостного трения, т.е. скольжение поверхностей трения деталей сопряжения заменяются скольжением жидкости со своими реологическими свойствами. Однако в реальных условиях сплошность плёнки всегда нарушается хотя бы в момент остановки и запуска процесса резания. В этом случае трение переходит в режим граничного. Из работ [3-5] следует, что процесс износа в режиме граничного трения определяется структурой граничного слоя смазки и пластифицированным слоем трущейся поверхности.

По сложившейся классификации трибоузлов в зависимости от условий работы можно выделить следующие их виды:

- низкие нагрузки и низкие температуры (подшипники скольжения, работающие при низких скоростях и малой вибрации);
- умеренные нагрузки и высокие температуры (двигатели внутреннего сгорания; быстроходные малонагруженные зубчатые зацепления с малым коэффициентом проскальзывания);
- высокие нагрузки и низкие температуры (подшипники качения; высоконагруженные зубчатые сцепления с малым коэффициентом проскальзывания);
- высокие нагрузки и высокие температуры (тяжелонагруженные гипоидные передачи и другие узлы трения с большой степенью скольжения; приводящей к интенсивному тепловыделению).

Условия работы СОТС в режиме резания конструкционных материалов относятся к последнему наиболее жесткому режиму с граничным трением [6].

На основании выше приведенного, можно сформулировать решению каких задач для конкретного узла трения должна способствовать модификация СОТС. Так, в условиях гидродинамического режима изменение объемных реологических свойств в сторону увеличения вязкости нежелательно, т.к. это повлечет за собой потерю расходуемой мощности. В то же время желательно изменение реологии в тонком приповерхностном слое для увеличения устойчивости масляной пленки к деформационным изменениям в условиях растущего механического воздействия. Структуризация СОТС позволяет реализовать желаемые реологические режимы. Так, в работе [7] приведены данные о том, что добавка 10^{14} - 10^{15} наноразмерных частиц на 1 кг масла привела к следующим эффектам:

- повышение окислительной стабильности масла (смазывающей среды) вследствие прерывания радикально-цепного механизма его окисления на поверхности наночастиц;
- резкое загущение масла при сильном механическом воздействии в зоне трения.

В условиях граничного трения структуризация СОТС наномодификаторами может способствовать решению еще большего числа проблем связанных как с формированием приповерхностной смазочной пленки, так и с пластификацией металлической поверхности трения

(режущего инструмента). Оказание активного воздействия на зону трения с помощью наномодификации возможно в силу особых физико-химических свойств наночастиц. Их сорбционная активность способствует равномерному распределению полимера, выполняющего ту или иную роль в СОТС. Например, для антизадирной присадки эта роль состоит в предотвращении мицеллообразования, с одновременным удерживанием в зоне с локальным перегревом, тогда как без наномодификатора происходит десорбция полимера с поверхности металла. Наночастицы характеризуются способностью к диссипации всех видов энергии, выделяющейся в процессе граничного трения в виде фотонов, фононов и экзоелектронов [8]. Последний эффект особенно важен для снижения водородного изнашивания [4], возникающего в результате абсорбции водорода металлом. Одним из источников возникновения атомарного водорода в зоне трения является сольватированные электроны, образующиеся в результате экзоелектронной эмиссии. Время жизни гидратированного электрона имеет порядок миллисекунды, а затем он восстанавливает водород из следов влаги, всегда присутствующей в реальных условиях. Из многочисленного экспериментального материала, приведенного в [3], следует, что абсорбция водорода металлом в триботехнических узлах, содержащих органическую смазку или полимер, представляет основную причину износа.

Таким образом, структуризация СОТС наномодификатором способна не только повысить его антиокислительные свойства, благодаря снижению трибодеструкционных явлений в приповерхностном смазочном слое, но и повлиять на долговечность пластифицированного слоя металла (режущей кромки инструмента). Более того, использование наномодификатора, предварительно обработанного солями металлов (например, меди), вероятно, сможет сформировать сервовитную пленку даже в трибосистемах, не включающих медьсодержащих материалов. Очевидно, что наномодификатор, способный справиться с решением широкого спектра задач, должен обладать набором следующих физико-химических свойств:

- термодинамической устойчивостью,
- высокой сорбционной активностью,
- хорошей (сравнимой с металлами) тепло и электропроводностью.

Наномодификатор с таким набором свойств можно получать на основе фуллероидных материалов [9]. Поэтому целью настоящей работы стало исследование совместного действия в зоне трения наномодификатора (наночастиц, полученных из фуллероидных материалов) и антизадирной присадки на фоне масляной СОТС.

Постановка эксперимента

Эксперимент включал в себя проведение сравнительных испытаний СОТС трех составов:

- масляная СОТС без добавок;
- масляная СОТС, включавшая антизадирную присадку;

- масляная СОТС, включавшая антизадирную присадку и наномодификатор.

При этом введение антизадирной присадки преследовало как улучшение антизадирных характеристик самой СОТС, так и повышение седиментационно-агрегативной устойчивости наномодификатора.

Наномодификатор, использованный в работе, получен на основе продуктов синтеза фуллеренов плазменно-дуговым методом на установке представленной на рис .1.



Рис. 1. Внешний вид опытной установки для производства фуллерен-содержащей сажи и катодного депозита

На рис. 2а представлен вид углеродного наномодификатора (УНМ), полученный на просвечивающем электронном микроскопе JEM1011 (JEOL, Япония). Материал состоит из полидисперсных многослойных углеродных наночастиц - продукта комплексной обработки депозитов, образующихся при плазменно-дуговом синтезе фуллеренов. Материал имеет следующие характеристики:

средний размер составляет 50 нм,

истинная плотность $2,1\text{г/см}^3$,

насыпная плотность $< 0,25\text{г/см}^3$.

Распределение наночастиц УНМ по размеру, определенное в разбавленной водной суспензии УНМ методом динамического светорассеивания на приборе Malvern Zetasizer (Великобритания), представлено на рис. 2б.

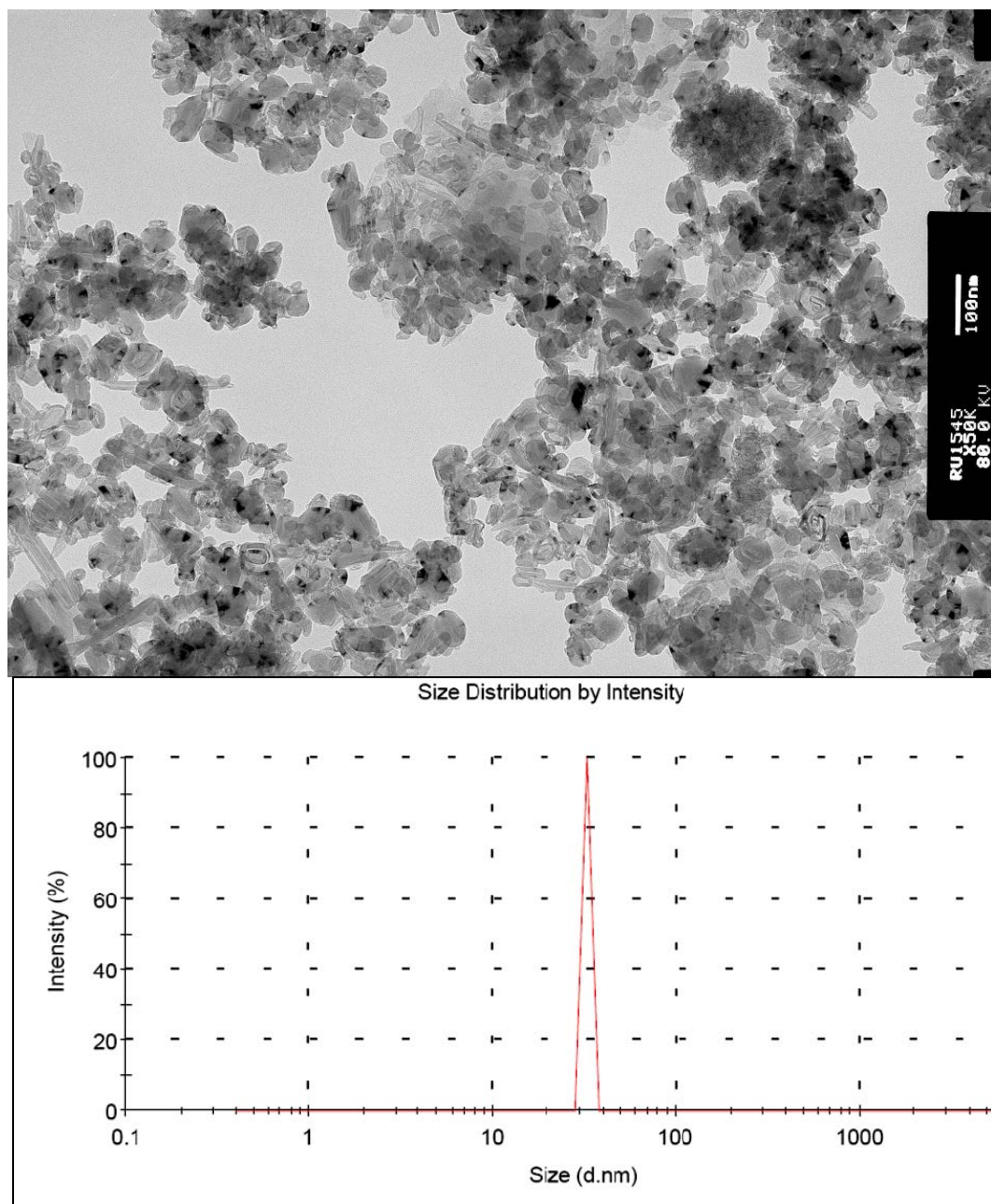


Рис. 2. Микрофотография полидисперсных многослойных углеродные наночастиц (а) и их распределение по размерам (б)

Проведение эксперимента

В качестве базовой СОТС использовали индустриальное масло И-20А (ГОСТ 20799-88), при этом роль антизадириной присадки выполняла сукцинимидная присадка С-5А.

Для решения задач по получению суспензий УНМ с высокой седиментационной устойчивостью была задействована экспресс-методика центрифугирования СОТС. В дальнейшей работе была выбрана такая концентрация УНМ в масле, которая выдерживала 30-ти минутное центрифугирование на лабораторной центрифуге типа L SZ 48.

Эксперимент можно разделить на несколько этапов. На начальном этапе эксперимента проводились испытания масленных СОТС: без добавок –

масло И-20А (база) СОТС; масло И-20А включавшее антизадирную присадку (АП) С5А в разном процентном содержании; масло И-20А включавшее антизадирную присадку С5А в разном процентном содержании и фуллероидный наномодификатор. Результаты трибологических исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение нагрузки сваривания, критической нагрузки, показателя износа и индекса задира

Наименование СОТС	Наименование показателя			
	Нагрузка сваривания (Рс), Н	Средний диаметр пятна износа (Ди), мм	Индекс задира (Из)	Критическая нагрузка (Рк), Н
С1(И-20А ГОСТ 20799- 88) база	1470	0,327	32,8	657
С2 (И- 20А)+у/з*	1646	0,341	36,4	784
С3(И-20А+5%)	2067	0,737	25,0	549
С4(И- 20А+2,5%)	2067	0,653	24,7	549
С5(И20-А+1%)	1568	0,338	29,3	735
С6(И20- А+0,5%)	1568	0,319	36,6	784
С7(И20- А+0,25%)	1646	0,331	33,2	823
*- проводились исследования о влиянии ультразвука на СОТС. Применения ультразвуковых приборов является диспергирование. Ультразвуковая кавитация вызывает в жидкости образование потоков, которые разрушают агломераты на отдельные частицы. Результаты исследования о влиянии ультразвука в данной статье не приводятся, но работа ведётся.				

Из табл. 1 видно, что составы с С3 по С4 обладают высокой нагрузочной способностью. При нагрузке Рс = 2067 Н в обоих испытаниях происходит сваривание, это видно из табл. 2. Если говорить про другие показатели, то видна определённая закономерность – индекс задира увеличивается с уменьшением содержания антизадирного препарата, тоже происходит и с критической нагрузкой. Это можно объяснить тем, что при большей процентном содержании (АП), препарат препятствует появлению задира, но резко увеличивается износ.

Таблица 2. Определение нагрузки сваривания (Рс), составов СЗ-С4

№ п/ п	Нагрузка		Диаметр пятен износа, мм	Средний диаметр пятна износа, мм	Нагрузка сваривания Н (кгс)
	Н	кгс			
1	1568	160	2,957 2,739 2,573	2,756	-
2	1960	200	3,622 3,584 3,584	3,597	-
3	2067	211	сваривание	-	2067(211)
4	2067	211	сваривание	-	-
5	2195	224	сваривание	-	-
6	2450	250	сваривание	-	-

Как было сказано ранее, третий этап эксперимента включал проведение сравнительных испытаний СОТС, включавшее антизадирную присадку и наномодификатор. Эти составы получили условные обозначения С9 и С8. При проведении испытаний для определения показателя износа (материала шариков – сталь ШХ-15 по ГОСТ, время – 1ч, нагрузка – 196 Н), на машине трения (ЧМТ) измеряли усреднённую температуру смазочного материала в зоне трения (диаграмма см. рис.3).

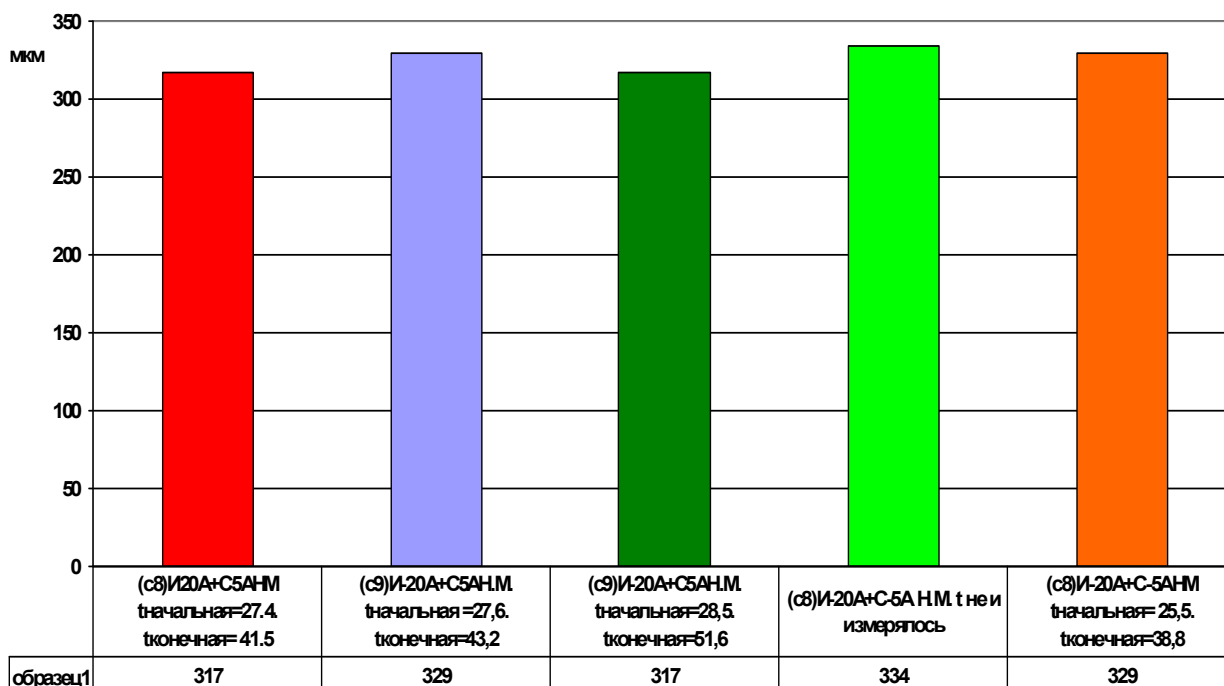


Рис.3. Сравнительные данные значений износа образцов из стали ШХ-15 в испытуемом смазочном материале И-20А с антизадирной присадкой и наномодификатором С-5А УНМ (С9 и С8) (температура в °С)

Изменение температуры колеблется не существенно. В ходе эксперимента проводилась не однократные замеры температуры смазочного материала в зоне трения с точностью до 0,1 °С. Усреднённая температура в °С приведена на рис.3.

Натурные испытания проводились на операции шлифования внутреннего отверстия Ø10 мм глубиной 15 мм шлифовальным кругом АС15 при скорости резания $V = 35$ м/с в заготовках из композиционного углепластика марок ФУТ и УГЭТ [11]. Данные испытаний, до момента потери режущей способности кругом представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний модифицированных СОТС на операции шлифования

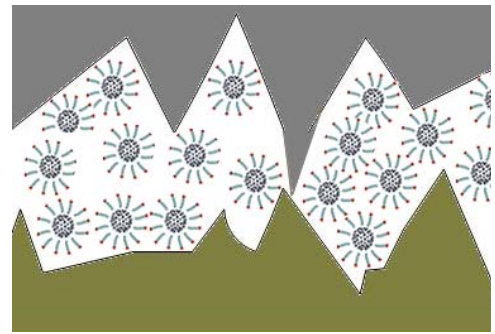
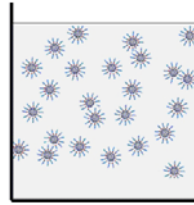
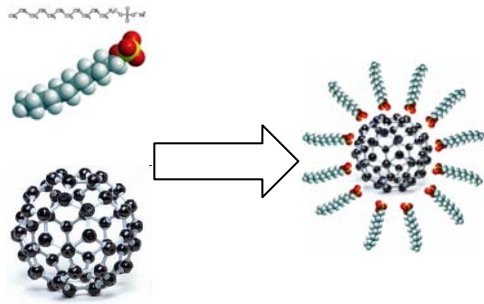
№ п/п	Обозначение исследуемого СОТС	Стойкость (количество заготовок), шт	Доверительный Интервал при вероятности (0,95 + /- X), шт	Примечание (обрабатываемый материал)
1	СОТС база И-20А	93	10	УГЭТ
2	СОТС С-5А УНМ	123	8	УГЭТ
3	СОТС база И-20А	57	9	ФУТ
4	СОТС С-5А УНМ	105	6	ФУТ

Обсуждение результатов

Как следует из опытных данных, введение антизадирной присадки существенно меняет качество трущейся поверхности. Это связано с хорошо известной способностью поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижать время приработки в новом трибосопряжении и формировать в нем защитный расклинивающий слой [12]. Однако с ростом нагрузки работоспособность ПАВ резко падает в результате его десорбции с трущихся поверхностей и возможной деструкции.

На основании полученных данных испытаний, известных свойств УНМ и ПАВ, к которым относится антизадирная присадка С-5А, возможно представить механизм, действия наноструктурированного СОТС, который постадийно отражен на рис. 4.

**молекула
полимера**



наночасти

ца

а

б

в

Рис. 4. Поставийный механизм наноструктуризации СОТС: а) формирование сольватной оболочки из полимера; б) возникновение фрактальной сетки в объеме СОТС в)микрорельеф трибопары в присутствии наноструктурированной СОТС

Как видно из схемы на рис. 4, УНМ на стадии диспергирования в базовом масле формирует вокруг себя сольватную оболочку из его молекул. Это диспергирование происходит в присутствии антизадирной присадки, которая в данном случае играет роль ПАВ.

Благодаря сорбции на УНМ, молекулы ПАВ приобретают ориентацию наиболее благоприятную для последующего их взаимодействия в зоне контакта с трущимися поверхностями, снимая тем самым ориентационный фактор. В свою очередь, наличие сольватной оболочки у наночастиц УНМ придает им седиментационно-агрегативную устойчивость, что является необходимым условием для формирования объемной фрактальной сетки в жидкой среде СОТС.

Таким образом, благодаря более эффективной работе антизадирной присадки и наличию фрактальной сетки УНМ способствующей диссипации энергии из зоны локальных перегревов, наноструктурированная смазочная среда приобретает способность противостоять бóльшим нагрузкам без задира в узлах трения.

Литература

1. *Абозин И.Ю., Петров В.М.* Некоторые вопросы механической лезвийной обработки углепластиков // Вопросы материаловедения. №2(26) 2001, – С. 86-93.
2. *Основы трибологии (трение, износ, смазка) \Под ред. Чичинадзе\ М.: Центр «Наука техника», 2001. – 778 с.*
3. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения. М.: 1963.- 472 с.
4. *Гаркунов Д.Н.* Научные открытия в триботехнике. Эффект безызносности при трении. Водородное изнашивание металлов. М.: Изд. МСХА, 2004.- 383 с.
5. *Поляков С.А., Хазов С.П.* Нанотехника в трибологии // Нанотехника-2006. № 1. - С. 42-56.
6. *Курчик Н.Н., Вайништок В.В., Шехтер Ю.Н.* Смазочные материалы для обработки металлов резанием. М.: Химия, 1972. – 312 с.
7. *Абрамян А.А., Балабанов В.И., Беклемышев В.И., Вартанов В.И., Махонин И.И., Солодовников В.А.* Основы прикладной нанотехнологии М.: Изд. дом МАГИСТР-ПРЕСС 2007. - 197с.
8. *Евдокимов В.Д., Семов Ю.И.* Экзоэлектронная эмиссия при трении. М.: Наука, 1973. - 180 с.
9. *Раков Э.Г.* Нанотрубки и фуллерены. М.: Университетская книга, Логос, 2006.- 376 с.
10. *Васильков Д.В., Петров В.М.* Контроль состояния поверхностного слоя конструкционных материалов // Инструмент. 1996, № 2. - С. 28–29.
11. *Зубарев Ю. М., Петров В.М., Петров Ю.В.* Особенности механической обработки алмазным абразивным инструментом композиционных углепластиков применяемых в энергетическом машиностроении.// Материалы Всероссийской научно-технической конференции.- Рыбинск: Р Г А Т А, 2009.Ч.1. – С. 18-23
12. *Ланге К.Р.* Поверхно-активные вещества: синтез свойства анализ применения. СПб.: Изд. Профессия, 2005. – 219с.