

И.В. Плескунов, А.Г. Сырков, А.А. Виноградова
ПРИМЕНЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЙ
НАНОТРИБОЛОГИИ
И НАНОСТРУКТУРНОЙ
ПАССИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ
СМАЗКИ И ЗАЩИТЫ
МЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНО-
ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Проанализирован опыт внедрения на предприятиях минерально-сырьевого комплекса методов наноструктурной защиты металлоконструкций в соляных рудниках и увеличения срока службы трансмиссии оборудования с использованием поверхностно-модифицированных металлических присадок. Показана продуктивность оценки и контроля антифрикционных свойств смазки по уровню гидрофобности присадки и ее стойкости к высокотемпературному окислению.

Ключевые слова: защита металлоконструкций, нанотрибология, контроль смазки, горно-химические предприятия.

В настоящее время модернизация минерально-сырьевого комплекса России является одним из важнейших направлений государственной научно-технической политики. Необходимое для этого внедрение высоких технологий, в том числе нанотехнологий, тесно связывается с решением проблем импортозамещения, обострившихся в 2014–2015 гг. в связи с санкционной политикой западных стран по отношению к отечественным производителям. В данной работе анализируется опыт внедрения и тестирования нанотехнологий для защиты от коррозии металлоконструкций и увеличения ресурса работы трансмиссии в узлах оборудования горно-химического предприятия на примере РУП ПО «Белорусскалий». В составе воздушной атмосферы данного предприятия находятся агрессивные примеси (KCl , HCl , SO_2) на уровне $0,04\text{--}0,20\text{ мг/м}^3$ при относительной влажности воздуха не менее 70%.

Конкретная цель данной статьи – анализ возможностей применения разработок, выполненных в Научно-образовательном центре нанотехнологий Горного университета (СПб), для защиты стальных металлоконструкций предприятия, улучшения смазки оборудования и контроля свойств смазочных материалов на основе индустриального масла И-20.

При создании защитных покрытий использовалось два подхода:

1. Нанесение на сталь традиционных лакокрасочных материалов (битумного лака–Бл, олифы натуральной – ОН, грунтовки – эмали ХВ и краски «серебрянки»–БТ), содержащих небольшое количество наноструктурированного наполнителя (Н) с субмикронным размером частиц, полученного методом твердотельного гидридного синтеза [1, 2].

2. Нанесение в разной последовательности на поверхность стали 3 нанопленок из отечественных катиоактивных препаратов и из гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости ГКЖ-94 [1–4].

На момент начала данного исследования в литературе отсутствовали сведения о взаимосвязи защитных свойств (ЗС) и гидрофобности (ГФ) поверхности стали, содержащей нанопленки, нанесенные согласно второму подходу. Нами были обработаны экспериментальные данные работы [2] и полученные результаты представлены в координатах ЗС – ГФ в относительных единицах (рис. 1). Выявленная зависимость является линейной, как и обнаруженная нами ранее зависимость для микронных по толщине покрытий: в случае традиционных ла-

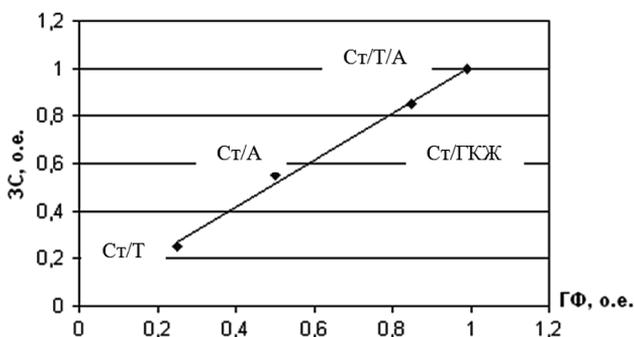


Рис. 1. Зависимость защитных свойств от гидрофобности для поверхности стали 3 с нанесенными нанопленками триамина (Т), алкамона (А), Т и А (Т/А) и из ГКЖ

кокрасочных покрытий $ЗС_1 = 0,8 ГФ_1$, для тех же покрытий с наполнителем $Н-ЗС_2 = 0,9 ГФ_2$ [2].

Как видно из рис. 1 наиболее коррозионностойким является образец вида Ст/Т/А – сталь, последовательно обработанная триамоном и алкамоном. Зависимость из рис. 1 для нанесенных нанопленок характеризуется несколько большим углом наклона прямой и может быть представлена формулой $ЗС = 1,01 ГФ$, где коэффициент пропорциональности в правой части имеет погрешность $\pm 0,01$. Процедура, использованная при представлении опытных данных работы [2] в относительных единицах (о.е.), сводилась к следующему. Гидрофобность образца с наименьшей величиной адсорбции паров воды ($p/p \rightarrow 1$) принималась за единицу. Также за единицу принимали защитные свойства образца с минимальным удельным приростом массы ($\Delta m/m$) при коррозии в воздушной атмосфере, имитирующей по составу атмосферу соляных рудников. ГФ и ЗС остальных образцов нормировались по указанному образцу (Ст/Т/А) и выражались в соответствующих долях от единицы.

После коррозионных испытаний наноструктурированных образцов на основе стали в промышленной воздушной среде соляных рудников Солигорской обогатительной фабрики (СОФ), методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) были измерены энергии связи электронов уровня железа Fe2p в поверхностных слоях, содержащих защитные покрытия. Результаты приведены в табл. 1.

Обнаружено, что энергия связи (степень окисления) железа в поверхностном слое у образца Ст/Т/А (710,0 эВ), содержащего «триамоновый» подслоя и приготовленного в водном растворе, после испытаний, и у исходной стали до коррозии (710,2 эВ) практически одинаковы. Это показывает, что комби-

Таблица 1

Энергия связи уровня железа Fe2p в образцах на основе стали (прибор VG ESCALAB 220iXL)

Образец	После коррозии в натуральных условиях в течение 195 суток							
	Перед коррозией	сталь	сталь	Ст / 2ОН(Н)	Ст/Ф/ ГКЖ	Ст/Т/А	Ст/А	Ст/2Бл
Энергия связи Fe 2p, эВ	710,2	711,2	710,7	711,4	710,0	712,0	712,3	

Таблица 2

Сравнительные физико-химические характеристики исходной стали 3 (Ст) и стальных образцов, поверхностно-модифицированных препаратами на основе четвертичных соединений аммония (ЧСА)

Образец	Ст	Ст/Т/А	Ст/А	Ст/Т	Ст/АТМАХ
$E_{св.}$ N1s, эВ (РФЭС)	—	404,2	402,4	402,1	402,3
Величина коррозии ($\Delta m/m$) в соляных рудниках (196 сут.), %	1,85	0,87	1,16	1,15	1,22
$E_{св.}$ Fe2p _{3/2} , эВ после коррозии (196 сут)	711,2 (710,2 до испытаний)	710,0	712,0	712,3	710,7
Z-степень ингибиторного действия, %	0	53	37	38	34
Ингибиторный эффект γ	1,0	2,1	1,6	1,6	1,5

нация слоев Т/А обладает более сильным пассивирующим металлом эффектом, чем один А-слой или даже самые «толстые» и эффективные, по данным других работ, покрытия из двух слоев битумного лака (2 Бл) или двух слоев олифы натуральной, усиленной наноструктурированным наполнителем, — 2ОН(Н), или комбинированное покрытие на стали ГКЖ/Ф, где Ф — фосфатный подслоя. В проведенных натуральных испытаниях: относительная влажность воздуха 70–90%, содержание агрессивных примесей 0,07–0,50 мг/м³. Испытуемые пластины стали с нанесенными слоями одновременно закрепляли на оборудовании СОФ. Таким образом, коррозию образцов, приведенных в табл. 1, осуществляли в одинаковых реальных условиях производства. Длительные (более 6 мес.) испытания позволили измерить энергию связи Fe2p у образцов Ст/2ОН(Н) и Ст/2Бл. Дело в том, что в начале коррозии пленки олифы и битумного лака имели микрометровую толщину (20–30 мкм), что не позволяло измерить РФЭ — спектр железа на поверхности стали. В процессе испытаний пленки ОН и Бл подвергались деструкции, в том числе за счет воздействия солнечной радиации, стали тоньше, менее равномерными по толщине, что сделало поверхность стали под покрытием доступной для исследования методом РФЭС.

Структурно-химические характеристики образцов на основе стали (табл. 2) показывают, что послойная обработка стали

триамоном и алкамоном (образец Ст/Т/А) благоприятна для достижения максимальной степени эффективности ингибиторного действия ($Z = 53\%$) и ингибиторного эффекта ($\gamma = 2,1$) среди изученных веществ-модификаторов. Как образцы сравнения анализировались не только образцы вида Ст/Т и Ст/А, но Ст/АТМАХ, полученный обработкой из водного раствора алкилтриметиламмонийхлорида (АТМАХ). На момент начала наших исследований АТМАХ (с радикалом у атома азота $C_{10}-C_{16}$) был известен и применялся как ингибитор коррозии черных металлов в кислой среде. Судя по сохранению энергии связи электронов железа в поверхностном слое на уровне 710 эВ для образца Ст/Т/А, наблюдаемая пассивация поверхности стали, с учетом данных табл. 2, может рассматриваться как результат своего рода синергетического эффекта по энергии связи уровней $N1s$ и $Fe2p_{3/2}$.

Этот эффект, исходя из сопоставления соответствующих характеристик образцов Ст/Т, Ст/А, Ст/Т/А, присущ не только энергиям связи электронов ($E_{св}$) и антикоррозийным свойствам, но и выражается в усилении водоотталкивающих свойств Ст/Т/А (табл. 2). Достоинство разрабатываемых методик состоит в отказе от хлорсодержащих ингибиторов коррозии (АТМАХ) и в том, что применение алкамона и триамона позволяет наносить модификаторы поверхности металла не только из газовой фазы, но и из водных растворов, что благоприятнее для обработки протяженных металлоконструкций (труб, вышек, конвейеров и т.д.).

Сохранение степени окисления железа (энергии связи уровня $Fe2p$) в образце Ст/Т/А практически неизменной, что следует из данных табл. 1, можно рассматривать, по-видимому, как результат своего рода конкуренции процессов восстановления железа электронами азота и воздействия окислителей из воздушной атмосферы [5].

Описанный эффект пассивации стали может с успехом применяться для защиты металлоконструкций в достаточно агрессивной воздушной атмосфере соляных рудников, содержащей микропримеси HCl , SO_2 , KCl .

В работе [6] авторами получены уравнения, позволяющие рассчитать коэффициенты активности ПАВ в поверхностном слое, изменения энергии Гиббса, обусловленные гидрофобным эффектом, а также коэффициенты, связанные с энергией связи металл – ПАВ. Анализ данных по адсорбции ПАВ на свинце показал, что ПАВ является эффективным ингибитором корро-

зии, когда существует достаточно прочная связь ПАВ – металл и коэффициенты активности ПАВ в поверхностном слое достаточно велики, что способствует образованию двумерных «островков» из адсорбированных молекул. Нетрудно заметить, что эти независимо полученные результаты перекликаются с представлениями о механизме адсорбции ПАВ и пассивации ими поверхности, которые развиваются в данной этой и других наших работах [1–5].

В настоящее время одним из слабых звеньев развития нанотехнологий у нас и в СНГ является недостаточное количество реальных внедрений этих технологий и наноматериалов в конкретные области инженерной деятельности и типичные для пространства СНГ отрасли промышленности. Одним из наших научно-практических результатов явилось внедрение послышной и смесевой обработки поверхности металла триамоном и алкамоном для защиты от коррозии металлоконструкций горно-химического предприятия, разрабатывающего соляные (калийные) рудники, на примере РУП ПО «Беларуськалий». Это внедрение включало в себя не только применение нанопленок ПАВ, но и других наноструктурированных покрытий типа олифы натуральной с наполнителем, которые разрабатывали И.В. Плескунов и А.Г. Сырков. Удалось добиться снижения скорости коррозии металлоконструкций СОФ в 2–5 раз, что соответствует получению высокостойких (ВС) металлических материалов [7].

Помимо микропокрытий олифы натуральной с наноструктурированным наполнителем и нанопленок ПАВ в испытаниях хорошо показали себя нанопокрyтия на стали вида Ф/ГКЖ, где Ф – фосфатный согласующий подслоy; ГКЖ – внешний слой, нанесенный из 0,5% раствора ГКЖ-94.

В табл. 3 произведено сопоставление параметров поверхности, измеренных с помощью АСМ, для исходной стали и стали с разными видами нанопокрyтий. Отчетливо прослеживается уменьшение значений параметров «peak to peak» и шероховатости после нанесения слоев из ГКЖ и катионактивных препаратов. Усиление разницы названных параметров от соответствующих параметров исходной стали происходит в ряду образцов: Ст/Т, Ст/А, Ст/Т/А, Ст/Ф/ГКЖ. Известно, что метод АСМ не позволяет точно определить толщину нанесенного нанослоя даже на поверхности компактных материалов. Оценочно, толщина наиболее «толстой» пленки на стали – ГКЖ/Ф (вместе с подслоем) – по мнению специалистов ЦКП «Химическая

Таблица 3

Характеристики поверхности образцов на основе стали 3 по данным атомно-силовой микроскопии (микроскоп Solver P47 Pro)

Образцы	Величина параметра «peak to peak», нм	Параметр шероховатости, нм
Исходная сталь (Ст)	1485	170
Ст/Ф/ГКЖ	780	65
Ст/Т/А	1460	150
Ст/Т	1475	160
Ст/А	1470	155

сборка наноматериалов» СПБГТИ (ТУ) (Е. Соснов и др.) не превышает 200 нм. Отсюда следует, что толщина других пленок, полученных из катионных ПАВ, ориентировочно на порядок и более ниже, поскольку параметры поверхности соответствующих образцов снижаются на 10–25 нм, а не на 105–705 нм (почти в 2 раза по сравнению с исходной сталью), как в образце Ст/Ф/ГКЖ (см. табл. 3). Важно, что измерения на АСМ подтверждают нанометровый масштаб нанесенных из алкамона и триамона защитных пленок.

Происходящие при нанесении нанопокровов процессы «залечивания» неровностей поверхности исходной стали, по-

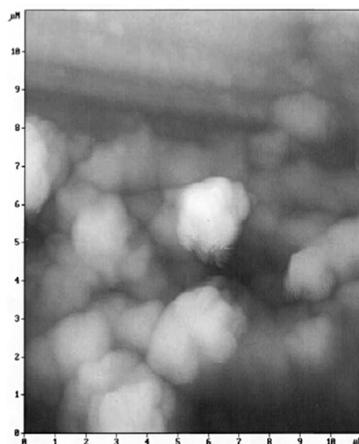
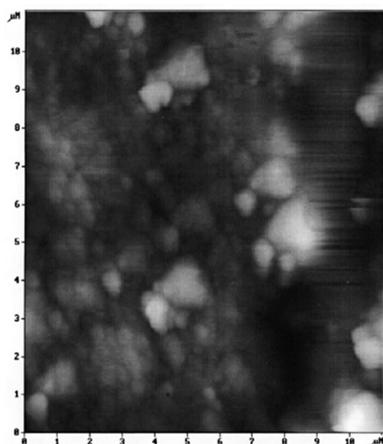


Рис. 2. Топография поверхности об- Рис. 3. Топография поверхности ис-
разца стали с нанопокровом из ходной стали (АСМ)
ГКЖ (АСМ)

вышение степени планарности и гетерогенизации (за счет нанесения нового вещества) твердой поверхности иллюстрируют соответствующие снимки топографии (вид сверху) на рис. 2, 3. Например, из топографических снимков хорошо видно, что на площадке (10×10) мкм² (см. рис. 2) заметно уменьшается число светлых вершин бугорков по сравнению с поверхностью исходной стали (см. рис. 3).

Применение конкретных методик обработки поверхности металлоконструкций (труб, вышек, крыш хопперов-минераловозов) зависит от времени года (ГКЖ лучше наносить зимой) и от финансовых возможностей предприятия. В любом случае защита стальных поверхностей от коррозии по двум рассмотренным выше подходам дешевле и часто безопаснее для окружающей среды, чем нанесение плазмо-химических покрытий или до сих пор практикуемое использование масляных красок и защитных составов, содержащих эпоксидную смолу [5, 8].

Помимо защиты от коррозии металлоконструкций, функционирующих на открытом воздухе в техногенной атмосфере соляных рудников, актуальной остается проблема повышения ресурса работы конвейеров и узлов трансмиссии другого оборудования в условиях химически активных сред. В значительной степени успех в решении этой проблемы зависит от правильного выбора смазки и специальных присадок к ней [9]. Теоретики и практики в области трибологии и триботехники отмечают, что предварительные результаты контроля коэффициента трения (K) и иных фрикционных характеристик смазки в паре трения на специальных стендах часто плохо воспроизводятся, зависят от множества плохо контролируемых факторов, а, главное, — не дают возможность прогнозировать надежность работы смазки на длительное время в реальных условиях [9–12].

Мы предлагаем использовать для контроля трибологических характеристик антифрикционных материалов и отбора эффективных присадок к смазке в виде поверхностно-модифицированных металлов более точные и простые измерения адсорбционно-химических свойств присадки, а также — аппроксимацию зависимости интегрального показателя трения трибосистемы от этих свойств в форме суперпозиции линейной функции и нелинейной компоненты в виде «гауссианы». Это предложение основано на том, что есть успешный опыт применения поверхностно-модифицированных порошков металлов ($M = Al, Cu$) в качестве присадок к индустриальному маслу И-20, широко используемому в отечественной промышленности. Нашими рабо-

тами показано, что введение в масло менее 1 мас. % порошка, модифицированного согласно второму подходу (см. выше) в парах разноразмерных молекул ПАВ (ЧСА), снижает интегральный показатель трения D (силу трения) в паре трения сталь-сталь в 3–7 раз по сравнению с исходным И-20; происходит смещение вправо по оси давлений (P), участка зависимости $D = f(P)$, отвечающего режиму «сухого трения», на 15 МПа [5, 13]. При высоких нагрузочных давлениях (40–60 МПа) жидкое масло выдавливается из зоны трибологического контакта и значение D в значительной степени определяется антифрикционными свойствами частиц самой твердой присадки [14]. Эти и защитные свойства, согласно современным представлениям [11, 15], определяются гидрофобностью нанопленки ПАВ и адгезией по отношению к металлу, а также – стойкостью к окислению модифицированной присадки [13, 14, 16]. Поэтому, контролируя свойства используемых триботехнических материалов, надо в первую очередь определять гидрофобность присадки и ее стойкость к окислению при нагревании. Этими характеристиками будет определяться надежность действия смазки при высоком нагрузочном давлении и длительной эксплуатации. К тому же, оценка гидрофобности по величине адсорбции паров воды (a) на присадке эксикаторным методом и гравиметрическое опре-

Таблица 4

Соотношение нелинейной (N) и линейной (L) компоненты в зависимости $D = \Phi(x)^*$ для Cu -содержащих трибосистем (средняя удельная поверхность наполнителя $0,34 \pm 0,02 \text{ м}^2/\text{г}$)

Вид порошка-наполнителя	D (эксп)	D (расч)	a	$1/a$	Линейная компонента $L = A+Bx$	Нелинейная компонента $ Np $	$N/L, \%$
Cu/A	580	574	0,0205	48,78	574	$2 \cdot 10^{-90}$	≈ 0
Cu/A	1300	1360	0,0299	33,44	1360	$1 \cdot 10^{-19}$	≈ 0
Cu/T	1100	1102	0,0268	37,31	1162	59	5,0
Cu/T/A	270	269	0,0260	38,46	1103	833	75,5
Cu	–	1923	0,0445	22,47	1923	$6 \cdot 10^{-220}$	≈ 0
Cu/(A+T)	1480	1421	0,0310	32,25	1421	$3 \cdot 10^{-31}$	≈ 0

* $D_{\text{расч}}$ определяем по формуле:

$$D_x = A + Bx + N(x) = 3075,51 - 51,255x - 833,84e^{-2(x-38,462)^2}$$

Таблица 5

Сравнение характеристик индустриального масла И-20 с присадками (1 мас. %) различных поверхностно-модифицированных порошков металлов

Наименование показателя	Вид смазки на основе И-20			
	И-20	И-20/Al/ (A+T)	И-20/ CuTГС	И-20/ FeTГС
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	30 (29–35)*	32	34	35
Стабильность против окисления (95 °С): приращение кислотного числа окисленного масла, мг КОН на 1 г масла	0,19 (не более 0,2)*	0,11	0,09	0,07
Ресурс работы в часах до достижения $D = 400$ при $P = 20$ МПа (сухое трение)	3500	5100	5500 (для ИГП-18 – 5200)	>6200
* Показатели по ГОСТу 20799-88 И-20/CuTГС – масло И-20 с присадкой порошка меди, содержащей на поверхности метил- и карбосилоксановую нанопленку, полученной из оксида меди методом ТГС (твердотельного гидридного синтеза).				

деление скорости высокотемпературного окисления производятся много проще и точнее, чем измерение K или D на трибологических стендах, и не требуют дорогостоящего оборудования [5]. Продуктивность такого подхода, сводящегося к определению массы ($\pm 0,0005$ г) на аналитических весах, иллюстрируют данные табл. 4, 5.

Значения D для смазок с модифицированными Cu-порошками уменьшаются по мере повышения величины гидрофобности ($1/a$) присадки (табл. 4). Наиболее жаростойкие порошки CuTГС FeTГС, полученные методом твердотельного гидридного синтеза, как видно из данных табл. 5, обеспечивают наибольшие ресурсы работы смазки в часах. Из табл. 4 и результатов работы [17] следует, что корреляция D с линейной функцией от величины $1/a$ для присадки (L) с учетом поправки на нелинейные эффекты с помощью «гауссианы», позволяет добиться удовлетворительного соответствия расчетных D со значениями D , измеренными в опыте.

Аналогично, хорошее совпадение результатов расчета D с данными измерения D акустико-эмиссионным методом [5, 12] было достигнуто при аппроксимации уравнения вида

$D = L(x) + N(x)$, где x – скорость окисления присадки, $N(x)$ – нелинейная компонента зависимости $D = f(x)$ [18].

Описанные в работе научные разработки внедрены с экономическим эффектом в РУП ПО «Беларуськалий», ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством», в ОАО «Белгорхимпром» и в нефтяной компании «Лукойл», что подтверждено соответствующими актами об использовании [5, 19].

Исследования выполнены по Госзаданиям Минобрнауки России, проекты № 5279 и № 8635 (2012–2014 гг.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырков А.Г., Плескунов И.В., Ремзова Е.В. // Записки горного института. – 2007. – Т. 173. – С. 237–239.
2. Pleskunov I., Syrkov A., Bystrov D. // CIS Iron and Steel Rev/ 2008. No 1–2. P. 23–28.
3. Сырков А.Г., Плескунов И.В., Быстров Д.С. и др. Патент РФ. № 2425910. Оpubл. 10.08.2011.
4. Syrkov A.G. Russ. J. Gen. Chem. 2013. V. 83. No.8. P. 1621–1622.
5. Сырков А.Г. Нанотехнологии и наноматериалы для минерально-сырьевого комплекс. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 130 с.
6. Афанасьева Б.Н., Акулова Ю.П., Положенцева Ю.А. // Защита металлов. – 2008. – Т. 44. – № 2. – С. 146–152.
7. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 320 с.
8. Сафрончик В.Н. Защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования. – Л.: Стройиздат, 1988. – 255 с.
9. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Справочник / Под ред. В.М. Школьников. – М.: Химия, 1989. – 360 с.
10. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 2000. – 424 с.
11. Дедков Г.В. // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170. – № 6. – С. 585–618.
12. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. – М.: Физматлит, 2008. – 368 с.
13. Быстров Д.С., Сырков А.Г., Пантюшин И.В. // Химическая физика и мезоскопия. – 2009. – Т. 11. – № 4. – С. 424–466.
14. Быстров Д.С., Сырков А.Г., Пантюшин И.В. // Записки Горного института. – 2009. – Т. 182. – С. 227–230.
15. Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. – Л.: Химия, 1984. – 393 с.
16. Пицелко Н.С., Сырков А.Г., Вахренева Т.Г. и др. // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4. – № 11–12. – С. 42–47.
17. Сырков А.Г., Фадеев Д.В., Тарабан В.В., Силиванов М.О. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2014. – Т. 16. – № 2. С. 215–219.

18. Сырков А.Г., Симаков А.С., Виноградова А.А. // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2013. — Т. 15. — № 2. — С. 179–183.

19. Научно-образовательные центры Национальной нанотехнологической сети. Инфраструктура. Продукция. Услуги: сборник-каталог / Под общ. ред. В.В. Лучинина. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. — С. 103–110. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Плескунов Игорь Владимирович — руководитель отдела, соискатель,
Сырков Андрей Гордианович — профессор, доктор технических наук,
Виноградова Анна Александровна — аспирант,
e-mail: a.a_vinogradova@mail.ru,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC
622:621.794

I.V. Pleskunov, A.G. Syrkov, A.A. Vinogradova

THE USE OF ACHIEVEMENTS OF NANOTRIBOLOGY AND NANOSTRUCTURED SURFACE PASSIVATION FOR CONTROL OF LUBRICANT PROPERTIES AND PROTECTION OF METALLIC EQUIPMENT OF MINING-CHEMICAL INDUSTRIES

The experience of the implementation into enterprises mineral complex of the nanostructured methods of protection of steel constructions in salt mines and extend the life of the transmission equipment using surface-modified metal additives is analyzed. It's shown the efficiency of evaluation and control of anti-friction properties of the lubricant by level hydrophobicity of additive and stability to high temperature oxidation.

Key words: protection of metal constructions, nanotribology, control of lubricant, mining-chemical enterprises.

AUTHORS

*Pleskunov I.V.*¹, Head of Department, Applicant,
*Syrkov A.G.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
*Vinogradova A.A.*¹, Graduate Student, e-mail: a.a_vinogradova@mail.ru,
¹ National Mineral Resource University «University of Mines»,
199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Syrkov A.G., Pleskunov I.V., Remzova E.V. *Zapiski gornogo instituta*. 2007, vol. 173, pp. 237–239.
2. Pleskunov I., Syrkov A., Bystrov D. *CIS Iron and Steel Rev*. 2008, no 1–2, pp. 23–28.
3. Syrkov A.G., Pleskunov I.V., Bystrov D.S. *Patent RU 2425910*, 10.08.2011.
4. Syrkov A.G. *Russ. J. Gen. Chem.* 2013. V. 83. No.8. P. 1621–1622.
5. Syrkov A.G. *Nanotekhnologii i nanomaterialy dlya mineral'no-syr'evogo kompleksa* (Nanotechnologies and nanomaterials for mineral mining and processing industry), Saint-Petersburg, Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta, 2014, 130 p.
6. Afanas'eva B.N., Akulova Yu.P., Polozhentseva Yu.A. *Zashchita metallov* (Protection of metals), 2008, vol. 44, no 2, pp. 146–152.
7. *Marochnik staley i splavov*. Pod red. V.G. Sorokina (Grades of steels and alloys. Sorokin V.G. (Ed.)), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 320 p.

8. Safronchik V.N. *Zashchita ot korrozii stroitel'nykh konstruksiy i tekhnologicheskogo oborudovaniya* (Anticorrosive protection of engineering structures and process equipment), Leningrad, 1988, 255 p.

9. *Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti*. Spravochnik. Pod red. V.M. Shkol'nikova (Fuels, lubricants, process fluids. Handbook. Shkol'nikov V.M. (Ed.)), Moscow, Khimiya, 1989, 360 p.

10. Garkunov D.N. *Tribotekhnika* (Tribotechnology), Moscow, Mashinostroenie, 2000, 424 p.

11. Dedkov G.V. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2000, vol. 170, no 6, pp. 585–618.

12. Myshkin N.K., Petrokovets M.I. *Trenie, smazka, iznos* (Friction, lubrication, wear), Moscow, Fizmatlit, 2008, 368 p.

13. Bystrov D.S., Syrkov A.G., Pantyushin I.V. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2009, vol. 11, no 4, pp. 424–466.

14. Bystrov D.S., Syrkov A.G., Pantyushin I.V. *Zapiski Gornogo instituta*. 2009, vol. 182, pp. 227–230.

15. Abramzon A.A., Zaychenko L.P., Fayngol'd S.I. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Sintez, analiz, svoystva, primeneniye*, Leningrad, Khimiya, 1984, 393 p.

16. Pshchelko N.S., Syrkov A.G., Vakhreneva T.G. *Rossiyskie nanotekhnologii*. 2009, vol. 4, no 11–12, pp. 42–47.

17. Syrkov A.G., Fadeev D.V., Taraban V.V., Silivanov M.O. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy*. 2014, vol. 16, no 2, pp. 215–219.

18. Syrkov A.G., Simakov A.S., Vinogradova A.A. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy*. 2013, vol. 15, no 2, pp. 179–183.

19. Nauchno-obrazovatel'nye tsentry Natsional'noy nanotekhnologicheskoy seti. Infrastruktura. Produktiya. Uslugi: sbornik-katalog. Pod red. V.V. Luchinina (Science and Education Centers of National Nanotechnology Network. Infrastructure. Products. Services: Collected Catalogue. Luchinin V.V. (Ed.)), Saint-Petersburg, SPbGETU «LETI», 2013, pp. 103–110.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ВЫЗОВЫ И ТЕНДЕНЦИИ РОССИЙСКОЙ ЭКСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ БАЛАНСА МИРОВОГО СПРОСА НА ГАЗ

Колбикова Е.С., Пономарев Д.А.

Проведен анализ текущих тенденций на мировом газовом рынке, а также оценка перспектив роста спроса на газ в ключевых странах-импортерах газа. Рассмотрена позиция Российской Федерации на региональных рынках природного газа, а также ее возможности по поставкам сжиженного природного газа (СПГ).

CHALLENGES AND TRENDS OF THE RUSSIAN EXPORT POLICY IN THE CONTEXT OF THE CHANGING BALANCE OF GLOBAL DEMAND FOR GAS

Kolbikova E.S., Ponomarev D.A.

The analysis of current trends in the global gas market and the prospects for growth in demand for gas in key countries-importers of gas. Considered the position of the Russian Federation on the regional natural gas markets and its ability to supply liquefied natural gas (LNG).