

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ СМАЗОК НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.К. Кондрашева, О.В. Зырянова, Е.В. Киреева

Наталья Константиновна Кондрашева, Ольга Владимировна Зырянова \*, Елизавета Валерьевна Киреева  
Кафедра химических технологий и переработки энергоносителей, Санкт-Петербургский горный университет,  
21-ая линия ВО, 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199106  
E-mail: zyryanova\_olga@rambler.ru \*, Natalia\_kondrasheva@mail.ru, kireeva.e94@inbox.ru

*Данное исследование направлено на разработку составов профилактических смазок, применяемых при транспортировке твёрдых полезных ископаемых. Исследованы поверхностно-адгезионные характеристики разработанных профилактических составов на базе продуктов термодеструктивных и термокаталитических процессов переработки нефти. Установлено, что профилактические смазки содержат значительное количество поверхностно-активных веществ, таких как смолы, асфальтены и прочие полиароматические углеводородные соединения: в тяжелом газойле каталитического крекинга их содержание достигает 45,96 %, в легком газойле – 15,07 %, что приводит к улучшению вязкостно-температурных свойств продуктов и повышает их смазывающую способность. Основное количество соединений с высокой поверхностной активностью содержится в высококипящих фракциях нефти, и в процессе ее переработки концентрируется в нефтяном остатке - гудроне, который применялся в качестве депрессорной загущающей добавки в смесях профилактических смазок. Выявлена зависимость между содержанием гудрона в составе смазок и их адгезионной способностью и поверхностными свойствами. Поверхностные свойства профилактических смазок оценивались такими параметрами, как поверхностное натяжение и краевой угол смачивания: при добавлении до 10% гудрона поверхностное натяжение снижается с 36 до 32 Дж/м<sup>2</sup>. Снижение значения поверхностного натяжения и краевого угла смачивания, улучшает смачивающие и адгезионные свойства смазок. Исследования подтвердили, что введение гудрона в качестве депрессорной присадки улучшает низкотемпературные характеристики смазок: для смеси легкого и тяжелого газойлей каталитического крекинга с добавлением гудрона (2-10 % масс.) температура застывания снижается с - 23 °С до - 45 – -52 °С. Для защиты металлических поверхностей горного транспорта от прямого контакта с влажным мелкодисперсным перевозимым материалом в условиях пониженных температур рекомендуется применять состав смесей газойлей каталитического крекинга с содержанием гудрона от 2 до 5%.*

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, адгезия, профилактические смазки, гудрон

## SURFACE AND ADHESION PROPERTIES STUDY OF PROPHYLACTIC LUBRICANTS BORDER LAYERS ON METALLIC SURFACE

N.K. Kondrasheva, O.V. Zyryanova, E.V. Kireeva

Natalia K. Kondrasheva, Olga V. Zyryanova \*, Elizaveta V. Kireeva  
Department of Chemical Technologies and Processing of Energy Carriers, Saint-Petersburg Mining University,  
21-st line VO, 2, St. Petersburg, 199106, Russia  
e-mail: zyryanova\_olga@rambler.ru \*, Natalia\_kondrasheva@mail.ru, kireeva.e94@inbox.ru

*This study is aimed the developing the special petroleum products, namely, preventive lubricants (PL) used in the field of solid minerals transportation. The surface and adhesion characteristics of the prophylactic compositions developed earlier on the basis of thermdestructive and thermocatalytic processes products of oil refining are investigated. It is set that the prophylactic agents contain the far of surface active substances, such as resins, pyrobitumens and other polyaromatic hydrocarbon compounds: in the heavy gas-oil of the catalytic cracking their content is above 45.96 %, in an easy gas-oil – 15.07 %, that results in the improvement of viscosity-temperature properties of products and promotes their oiling ability. The basic amount of compounds with high superficial activity is contained in heavy fractions of oil, and in the process of processing concentrated in a petroleum residue - petroleum tar that was used as depression addition in mixtures of prophylactic agents. For protecting of metallic surfaces of mountain transport from a direct contact with the transported material in the conditions of the lowered temperatures it is recommended to apply composition of the catalytic cracking mixtures with content of petroleum tar from 2 to 5%.*

**Key words:** surface tension, wetting contact angle, adhesion, preventive lubrication, tar

**Для цитирования:**

Кондрашева Н.К., Зырянова О.В., Киреева Е.В. Исследование поверхностных и адгезионных свойств граничных слоев профилактических смазок на металлической поверхности. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 70–75

**For citation:**

Kondrasheva N.K., Zyryanova O.V., Kireeva E.V. Surface and adhesion properties study of prophylactic lubricants border layers on metallic surface. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 3. P. 70–75

## ВВЕДЕНИЕ

Данное исследование направлено на изучение поверхностно-адгезионных характеристик специальных нефтепродуктов, а именно профилактических смазок (ПС), применяемых при транспортировке твердых полезных ископаемых, а также в борьбе с пылеобразованием на открытых разработках.

ПС образуют защитную пленку на границе раздела фаз (твердое тело-жидкость). Защитная пленка помогает предотвратить примерзание груза к обработанной поверхности, что облегчает выгрузку материала и способствует интенсификации работы горного транспорта [1-4].

Ранее были получены составы ПС на базе смесей легких и тяжелых газойлей каталитического крекинга (ЛГКК и ТГКК) и замедленного коксования (ЛГЗК и ТГЗК) с введением гудрона в качестве вязкостной и депрессорной добавки. Смазывающие свойства ПС оценивались характеристикой силы адгезии. Адгезионные эффекты рассматривались в зависимости от углеводородного состава смеси, температуры окружающей среды и вязкости состава [5, 6].

Актуальность данного исследования подтверждается постоянно растущим спросом на высококачественные низкозастывающие смазочные материалы специального назначения: масла, смазки и

профилактические составы для закрепления пылящих поверхностей [7-11].

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная часть данного исследования состоит из трех основных этапов: анализа группового углеводородного состава смесей ПС, определения поверхностного натяжения и краевого угла смачивания [12].

Групповой углеводородный состав необходим для исследования зависимости поверхностного натяжения смазочной пленки от концентрации гудрона в ней. Групповой углеводородный состав базовых компонентов ПС, определялся на хромато-масс-спектрометре Agilent 5973 с неполярной колонкой DB-Petro длиной 100 метров.

Исследование изменения показателя поверхностного натяжения от массового содержания гудрона в смеси ПС и определение угла смачивания проводилось на тензиометре модели DCAT 11. Поверхностное натяжение определялось по методу металлической пластины Вильгельми [13, 14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В табл. 1 приведен групповой углеводородный состав исходных нефтепродуктов, которые использовались для получения ПС. Самое высокое содержание смолисто-асфальтовых соединений находится в гудроне, что является предпосылкой

для его использования в качестве добавки, улучшающей эксплуатационные характеристики разрабатываемого состава.

Таблица 1

Углеводородный состав нефтепродуктов  
Table 1. Hydrocarbon composition of petroleum products

	1	2	3	4	5	6
Гудрон	22	12,4	35,7	10,8	14,4	4,7
ЛГКК	12,5	51,6	28,3	2,3	5,3	0
ТГКК	16,2	10,9	57,3	4,4	9,7	1,5
ЛГЗК	57,7	20,1	15,5	1,7	5	0
ТГЗК	40,2	8,7	30,9	9,2	11	0

Примечание: 1-парафино-нафthenовые соединения; 2- легкая и средняя ароматика; 3-тяжелая ароматика; 4- смолы 1; 5- смолы 2; 6- асфальтены

Note: 1-paraffin-naphthenic compounds; 2- light and medium aromatics; 3-heavy aromatics; 4- resin 1; 5- resin 2; 6- asphaltenes

Способность гудрона даже при малых концентрациях в составе смесей нефтепродуктов оказывать положительное влияние на адгезионные характеристики составов подтверждается рис. 1, 2, на которых изображены кривые, отражающие зависимость поверхностного натяжения при разных количествах гудрона в смесях ЛГКК:ТГКК и ЛГЗК:ТГЗК от температуры. С увеличением температуры величина поверхностного натяжения уменьшается.

Из рис. 1 следует, что в смесях с содержанием гудрона 2-5% масс. при отрицательных температурах значение поверхностного натяжения меньше, чем в других. При температурах 20-30 °С наименьшее значение поверхностного натяжения у составов с содержанием гудрона выше 5% масс.

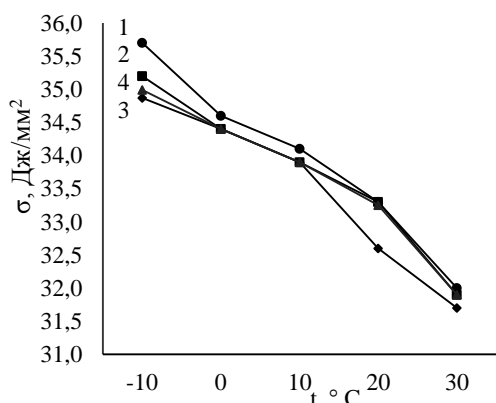


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения смесей газойлей каталитического крекинга с гудроном от температуры (1 – ЛГКК:ТГКК с 0% Гудрона, 2- ЛГКК:ТГКК с 2% гудрона, 3 - ЛГКК:ТГКК с 5% гудрона, 4 - ЛГКК:ТГКК с 10% гудрона)  
Fig. 1. The dependence of the surface tension of mixtures of catalytic cracking gas oils with tar on temperature (1 – LGCC:HGCC with 0% Tar, 2- LGCC:HGCC with 2% Tar, 3 - LGCC:HGCC with 5% Tar, 4 - LGCC:HGCC with 10% Tar)

Поэтому первые составы могут быть рекомендованы в качестве смазочных материалов в условиях пониженных температур, а вторые – рационально применять для борьбы с пылеобразованием в летний период времени.

Дальнейшее введение гудрона более 10 % масс. приводит к повышению поверхностного натяжения, что, возможно, связано с увеличением вязкости, молярного объема и плотности составов ПС, которые увеличиваются с повышением содержания гудрона в пробах.

В смесях ЛГЗК и ТГЗК с гудроном (рис. 2) снижение поверхностного натяжения при увеличении концентрации гудрона не существенно. Это, возможно, объясняется недостаточным количеством легкой ароматики с длинными углеводородными радикалами в исходных газойлях замедленного коксования, на которых могли бы адсорбироваться смолисто-асфальтеновые комплексы гудрона. Значения поверхностного натяжения для всех смесей с содержанием гудрона от 0% до 10% достаточно низкие и обеспечивают хорошую смачивающую способность.

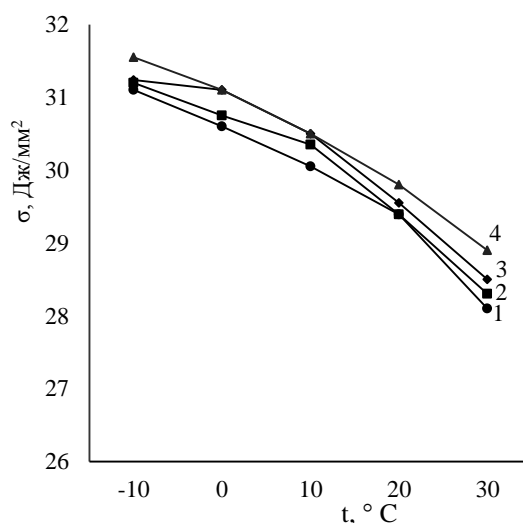


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения смесей газойлей замедленного коксования с гудроном от температуры (1 – ЛГЗК:ТГЗК с 0% гудрона, 2- ЛГЗК:ТГЗК с 2% гудрона, 3 - ЛГЗК:ТГЗК с 5% гудрона, 4 - ЛГЗК:ТГЗК с 10% гудрона)

Fig. 2. The dependence of the surface tension of mixtures of delayed coking gas oils with tar on temperature (1 – LGZC:HDZC with 0% Tar, 2- LGZC:HDZC with 2% Tar, 3 - LGZC:HDZC with 5% Tar, 4 - LGZC:HDZC with 10% Tar)

В табл. 2 отображены результаты исследования краевого угла смачивания рассматриваемых смесей. В смесях газойлей каталитического крекинга с гудроном до 5% масс. при температуре от 10 °С до 30 °С краевой угол смачивания (табл. 2) и

поверхностное натяжение уменьшаются (рис. 1). В смесях ПС на базе газойлей замедленного коксования, значение краевого угла смачивания снижается с увеличением концентрации гудрона. Поверхностное натяжение при этом падает для смесей с 10% гудрона и адгезия незначительно, но улучшается (рис. 2).

Таблица 2

Угол смачивания, град.  
Table 2. Contact angle of wetting

Т, °С	ЛГКК+ТГКК			ЛГЗК+ТГЗК		
	Гудрон, масс. %			Гудрон, масс. %		
	0	5	10	0	5	10
-10	80,6	67,87	55,1	49,4	42,75	36,3
0	74,1	57,91	45,47	38,8	36,38	30,0
10	64,3	45,53	39,54	32,9	29,78	27,1
20	58,2	39,41	29,31	26,8	20,57	16,9
30	52,1	33,41	21,18	20,7	16,88	10,5

В данной работе адгезия ПС рассматривалась как мера смачивающих свойств составов [15]. Адгезия обуславливает связь между твердым телом и контактирующими с ним жидкими ПС, а смачивание является результатом подобной связи [16-18]. Адгезию определяет обратимая работа сил, которая затрачивается на разделение приведенных в контакт двух разнородных фаз [19, 20].

Для расчета обратимой работы адгезии, было использовано уравнение Дюпре-Юнга, показывающее отношение между адгезией и смачиванием [21]:

$$W_A = \sigma(1 + \cos\theta) \quad (1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе раздела двух фаз, Дж/мм<sup>2</sup>;  $\cos\theta$  – косинус краевого угла смачивания, град;  $W_A$  – обратимая работа адгезии, Дж/мм<sup>2</sup>.

По формуле (1) был произведен расчет значений обратимой работы адгезии, построены зависимости обратимой работы адгезии от различных концентраций гудрона для ПС на базе газойлей каталитического крекинга (рис. 3) и замедленного коксования (рис. 4).

Из рис. 3 следует, что с увеличением концентрации гудрона в смесях во всем диапазоне от 0 до 5 % масс. работа адгезии возрастает.

Наибольшее значение обратимой работы адгезии у состава ПС на базе каталитического крекинга с содержанием гудрона 5% масс. в диапазоне температур от -10 °С до 10 °С, в условиях отрицательных температур минимальное значение - у смеси с содержанием гудрона 10% масс. Обратимая работа адгезии увеличивается в соответствии с ростом силы, необходимой для отрыва адгезива (в

нашем случае ПС) от субстрата (в нашем случае пластины). Следовательно, лучшей адгезионной способностью во всем диапазоне температур от 10 °С до 30 °С, обладает состав с 5% масс. гудрона, что делает этот состав оптимальным для летнего использования в качестве пылеподавателя.

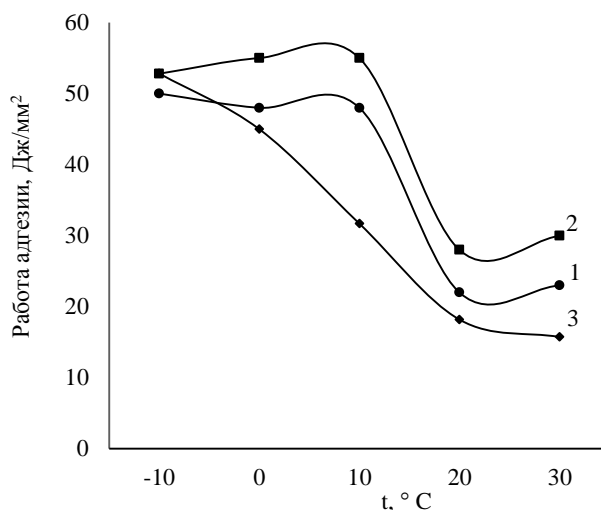


Рис. 3. Обратимая работа адгезии смесей каталитического крекинга с гудроном (1 – ЛГКК:ТГКК с 10% гудрона, 2- ЛГКК:ТГКК с 5% гудрона, 3 - ЛГКК:ТГКК с 0% гудрона)  
Fig. 3. Reversible adhesion work of mixtures of catalytic cracking with tar (1 – LGCC:HGCC with 10% Tar, 2- LGCC:HGCC with 5% Tar, 3 - LGCC:HGCC with 0% Tar)

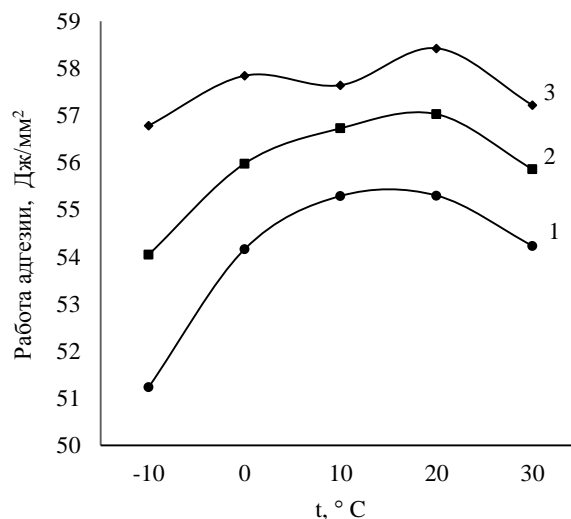


Рис. 4. Обратимая работа адгезии смесей профилактических средств замедленного коксования с гудроном (1 – ЛГЗК:ТГЗК с 0% гудрона, 2- ЛГЗК:ТГЗК с 2% гудрона, 3 - ЛГЗК:ТГЗК с 5% гудрона)  
Fig. 4. Reversible adhesion work of mixtures of delayed coking preventive agents with tar (1 – LGZC:HDZC with 0% Tar, 2- LGZC:HDZC with 2% Tar, 3 - LGZC:HDZC with 5% Tar)

Как следует из рис. 4, наибольшее значение обратимой работы адгезии у состава ПС на базе газойлей замедленного коксования с содержанием

гудрона 5% масс. во всем диапазоне температур. Это можно объяснить синергетическим эффектом взаимного влияния асфальтенов и смол гудрона на тяжелую полиароматику газойлей замедленного коксования [20]. При введении гудрона в состав смеси ПС более чем 5 % масс. происходит перенасыщение нефтяной дисперсной системы асфальтенами и смолами, дополнительная адсорбция надмолекулярных структур смолисто-асфальтеновых веществ не улучшает адгезионную способность профилактических составов.

#### ВЫВОДЫ

Поверхностно-адгезионные свойства профилактических смазок исследовались для возможности их сравнения и рекомендации для горнодобывающей промышленности. В результате данных исследований выявлено влияние углеводородного состава на поверхностное натяжение и адгезионные свойства ПС и установлен состав профилактических средств с лучшей адгезионной способностью.

Исследование влияния гудрона как добавки и различных углеводородных групп соединений, входящих в его состав, на поверхностное натяжение ПС показало, что малые его концентрации вызывают существенное понижение значения по-

верхностного натяжения и улучшение смачивающих и адгезионных свойств растворителя. Адгезионные характеристики составов ПС становятся лучше при добавлении гудрона в количестве до 5% масс. Гудрон улучшает как низкотемпературные характеристики, выступая в качестве депрессора, так и смачивающие и адгезионные свойства, благодаря большому количеству природных ПАВ, входящих в его состав.

Важно отметить, что при добавлении гудрона в состав ПС снижается его себестоимость, и при производстве ПС в промышленных масштабах возможно увеличение показателя глубины переработки нефти путем вовлечения больших объемов тяжелых нефтяных остатков в производство низкозастывающих товарных нефтепродуктов.

Работа выполнена в рамках госзаданий 10.12854.2018/6.7 и 10.12855.2018/8.9 «Рациональное использование и глубокая переработка углеводородного сырья с получением судовых топлив и углеродных материалов».

*The work was carried out within the framework of the state assignments 10.12854.2018/6.7 and 10.12855.2018/8.9 «Rational use and deep processing of raw hydrocarbon to produce marine fuels and carbon materials».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дашко Р.Э., Ланге И.Ю. Инженерно-геологические аспекты негативных последствий контаминации дисперсных грунтов нефтепродуктами. *Записки горного ин-та*. 2016. Т. 288. С. 624-630. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.624.
2. Kondrasheva N.K., Zyryanova O.V., Kireeva E.V. Refinery by-products in dust suppression and the prevention of rock adhesion and freezing at mines. *Coke and Chemistry*. 2016. V. 59. N. 9. P. 338 – 344. DOI: 10.3103/S1068364X16090040.
3. Ciesielczuk J., Misz-Kennan M., J. Fabianska M., Hower J.C. Mineralogy and geochemistry of coal wastes from the strazykowiec coal-waste dump. *Internat. J. Coal Geology*. 2014. V. 17. P. 42-55. DOI: 10.1016/j.coal.2014.02.007.
4. Kollipara V.K., Chugh Y.P., Mondal K. Physical, mineralogical and wetting characteristics of dusts from interior basin coal mines. *Internat. J. Coal Geology*. 2014. V. 127. P. 75-87. DOI: 10.1016/j.coal.2014.02.008.
5. Katritzky A.R., Karelson M., Lobanov V.S. QSPR as a means of predicting and understanding chemical and physical properties in terms of structure. *Pure Appl. Chem*. 1997. 69. P. 245-248. DOI: 10.1351/pac199769020245.
6. Navas P., Yu R.C., Ruiz G., Li B. Modeling the dynamic fracture in concrete: an eigensoftening meshfree approach. *Internat. J. Impact Eng*. 2018. V. 113. P. 9-20. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2017.11.004.
7. Маслобоев В.А., Светлов А.В., Конина О.Т., Митрофанова Г.В., Туртанов А.В., Макаров Д.В. Выбор связующих реагентов для предотвращения пылеобразования на хвостохранилищах переработки апатит-нефелиновых руд. *Физ.-техн. пробл. разработки полезн. ископаемых*. 2016. № 2. С. 161-171 DOI: 10.15372/FTPRPI20180218.

#### REFERENCES

1. Dashko R.E., Lange I.Yu. Engineering-geological aspects of negative consequences of dispersed soils contamination by oil products. *Zapiski. Gornogo Un-ta*. 2016. V. 288. P. 624-630 (in Russian). DOI: a10.25515/PMI.2017.6.624.
2. Kondrasheva N.K., Zyryanova O.V., Kireeva E.V. Refinery byproducts in dust suppression and the prevention of rock adhesion and freezing at mines. *Coke and Chemistry*. 2016. V. 59. N. 9. P. 338 – 344. DOI: 10.3103/S1068364X16090040.
3. Ciesielczuk J., Misz-Kennan M., J. Fabianska M., Hower J.C. Mineralogy and geochemistry of coal wastes from the strazykowiec coal-waste dump. *Internat. J. Coal Geology*. 2014. V. 17. P. 42-55. DOI: 10.1016/j.coal.2014.02.007.
4. Kollipara V.K., Chugh Y.P., Mondal K. Physical, mineralogical and wetting characteristics of dusts from interior basin coal mines. *Internat. J. Coal Geology*. 2014. V. 127. P. 75-87. DOI: 10.1016/j.coal.2014.02.008.
5. Katritzky A.R., Karelson M., Lobanov V.S. QSPR as a means of predicting and understanding chemical and physical properties in terms of structure. *Pure Appl. Chem*. 1997. 69. P. 245-248. DOI: 10.1351/pac199769020245.
6. Navas P., Yu R.C., Ruiz G., Li B. Modeling the dynamic fracture in concrete: an eigensoftening meshfree approach. *Internat. J. Impact Eng*. 2018. V. 113. P. 9-20. DOI: 10.1016/J.ijimpeng.2017.11.004.
7. Masloboev V.A., Svetlov A.V., Konina O.T., Mitrofanova G.V., Turtanov A.V., Makarov D.V. Selection of binding agents for dust suppression at tailings ponds at apatite-nepheline ore processing plants. *Fiziko-Tekhnich. Probl. Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 2016. V. 2. P. 161-171 (in Russian). DOI: 10.15372/FTPRPI20180218.

8. **Zhou G., Fan T., Ma YI.** Preparation and chemical characterization of an environmentally-friendly coal dust cementing agent. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2017. V. 92(10). P. 2699-2708. DOI:10.1002/jctb.5291.
9. **Ma Y., Zhou G., Ding J.** Preparation and characterization of an agglomeration-cementing agent for dust suppression in open pit coal mining. *Cellulose.* 2018. V. 25(7). P. 4011-4029. DOI: 10.1007/s10570-018-1826-z.
10. **Гурин А.А., Ляшенко В.И., Таран Н.А.** Новые технологии и средства закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ. *Обогащение руд.* 2014. Т. 5. С. 41-47.
11. **Бакирова И.Н., Галкина Н.В.** Полиуретановое покрытие на основе гидроксиэтилированного дифенилолпропана. *Клеи. Герметики. Технологии.* 2017. № 8. С. 34-38.
12. **Железный Л.В., Поп Г.С., Мележик А.А., Венгер И.А., Папейкин А.А.** Метод оценки адгезионных свойств смазок. *Химия и технол. топлив и масел.* 2017. № 4. С. 53-56.
13. **Войнов К. Н., Самойлова Е.В., Черток Е.В.** Новые приборы и устройства для работы со смазочными материалами. *Изв. вузов. Приборостроение.* 2010. Т. 53. С. 65-68.
14. **Трифонов Ю.Я.** Стеkanie вязкой пленки жидкости по наклонной гофрированной поверхности. Расчет устойчивости течений к произвольным возмущениям с использованием интегрального метода. *Приклад. механика и технич. физика.* 2016. Т. 57(2). С. 3-11. DOI: 10.15372/PMTF20160201.
15. **Громаковский Д.Г., Коптев А.А., Крышень Е.В., Хаустов В.И., Шигин С.В.** Повышение адгезионных свойств и нагрузочной способности смазочного слоя узлов трения. *Вестн. Самар. ун-та. Аэрокосмич. техника, технол. и машиностр.* 2016. Т. 15(3). С. 53-59. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-53-59.
16. **Foxenberg W.E., Ali S.A., Long T.P., Vian J.** Field experience showst hat new lubricant reduces frictionand improves formation compatibility and environmental impact. *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control.* 2008. V. 7. P. 77-78. DOI: 10.2118/112483.
17. **Sönmez A., Kök M.V. Özel R.** Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *J. Petrol. Sci. Eng.* 2013. V. 108. P. 64-73. DOI: 10.1016/j.petrol.2013.06.002.
18. **Knox D., Jiang P.** Drilling further with water-based fluids-selecting the right lubricant. *International symposium on oilfield chemistry.* 2005. V. 5. P. 65-67. DOI: 10.2118/92002.
19. **Ванин А.В.** Влияние пропитки смазочных материалов на трибологические свойства пористых композиционных материалов. *Науков. огляд.* 2014. Т. 4. № 3. С. 85-91.
20. **Каменский А.А.** Исследования коагуляции пылевой фракции при применении аэропенногоспособа пылеподавления. *Записки горного ин-та.* 2011. Т. 189. С. 138-140.
21. **Басин В.Е.** Адгезионная прочность. М.: Химия. 1981. 208 с.
8. **Zhou G., Fan T., Ma YI.** Preparation and chemical characterization of an environmentally-friendly coal dust cementing agent. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2017. V. 92(10). P. 2699-2708. DOI:10.1002/jctb.5291.
9. **Ma Y., Zhou G., Ding J.** Preparation and characterization of an agglomeration-cementing agent for dust suppression in open pit coal mining. *Cellulose.* 2018. V. 25(7). P. 4011-4029. DOI: 10.1007/s10570-018-1826-z.
10. **Gurin A.A., Lyashenko V.I., Taran N.A.** New technologies and means of tailings storage facilities dusting surface binding stabilization. *Obogashchenie Rud.* 2014. V. 5. P. 41-47 (in Russian).
11. **Bakirova I.N., Galkina N.V.** Polyurethane coating based on hydroxyethylated diphenylolpropane. *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2017. N 8. P. 34-38 (in Russian).
12. **Zhelezhnyi L.V., Pop G.S., Melezhih A.A., Venger I.A., Papejkin A.A.** A Method for appraising adhesive properties of lubricants. *Khim. Tekhnol. Topliv Masel* 2017. N. 4 (602). P. 53-56 (in Russian).
13. **Voynov K. N., Samoiylova E.V., Chertok E.V.** New devices and facilities for work with lubricants. *Izv. Vuzov. Priborostroenie.* 2010. V. 53. P. 65-68 (in Russian).
14. **Trifonov Yu.Ya.** Viscous liquid film flow down an inclined corrugated surface. Calculation of the flow stability to arbitrary perturbations using an integral method. *Prikl. Mekhan. Tekh. Fiz.* 2016. V. 57(2). P. 3-11 (in Russian). DOI:10.15372/PMTF20160201.
15. **Gromakovskiy D.G., Koptev A.A., Kryshen' E.V., Khaustov V.I., Shigin S.V.** Improvement of adhesive properties and load capacity of the lubricant layer of friction units. *Vestn. Samar. Un-ta. Aerokosmich. Tekhnol. Mashinostr.* 2016. V. 15(3). P. 53-59 (in Russian). DOI:10.18287/2541-7533-2016-15-3-53-59.
16. **Foxenberg W.E., Ali S.A., Long T.P., Vian J.** Field experience showst hat new lubricant reduces frictionand improves formation compatibility and environmental impact. *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control.* 2008. V. 7. P. 77-78. DOI: 10.2118/112483.
17. **Sönmez A., Kök M.V. Özel R.** Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *J. Petrol. Sci. Eng.* 2013. V. 108. P. 64-73. DOI: 10.1016/j.petrol.2013.06.002.
18. **Knox D., Jiang P.** Drilling further with water-based fluids-selecting the right lubricant. *International symposium on oilfield chemistry.* 2005. V. 5. P. 65-67. DOI: 10.2118/92002.
19. **Vanin A.V.** Influence of impregnation of lubricants on the tribological properties of porous composite materials. *Naukov. Oglyad.* 2014. V. 4. N 3. P. 85-91 (in Russian).
20. **Kamenskiy A.A.** Researches of coagulation of dust fraction at application of the aerofoamy way of dust-depressing. *Zapiski Gornhogo Un-ta.* 2011. V. 189. P. 138-140 (in Russian).
21. **Basin V.E.** Adhesive strength. М.: Khimiya. 1981. 208 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 14.05.2018  
Принята к опубликованию 03.12.2018

Received 14.05.2018  
Accepted 03.12.2018