ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(5):17-25
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.807.2 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-17-25

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СМАЧИВАЕМОСТИ УГЛЕЙ РАСТВОРАМИ ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Е.П. Вишневская[1], А.А. Николаев[1], Н.Н. Добрякова[1], А.А. Банников[2]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru
[2] АО «УК «Кузбассразрезуголь», Кемерово, Россия

Аннотация: Образование угольной пыли при перевалке и транспортировке углей приводит к существенному загрязнению окружающей среды. Одним из перспективных направлений снижения пыления углей является использование растворов различного состава. Отмечено, что в настоящее время в России отсутствуют надежные методы оценки предлагаемых промышленных растворов в части эффективности связывания ими угольной пыли. Для определения смачиваемости углей промышленными растворами применяли 2 метода: измерение краевых углов смачивания поверхности аншлиф-штуфов углей растворами и определение их проникающей способности на образцах угольной пыли. Показана хорошая согласованность полученных результатов: растворы, имеющие краевые углы смачивания поверхности углей 77—89°, сохраняют форму исходной капли, попадая на поверхность пыли. Напротив, раствор, характеризующийся углом смачивания 25—27°, хорошо растекается по поверхности пыли и полностью ее пропитывает.

Ключевые слова: угольная пыль, краевой угол смачивания, пылеподавление, растворы для пылеподавления.

Для цитирования: *Вишневская Е.П., Николаев А.А., Добрякова Н.Н., Банников А.А.* Методы оценки смачиваемости углей растворами для пылеподавления // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 17–25. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-17-25.

Methods for assessing the wettability of coal with dust suppression solutions

E.P. Vishnevskaya[1], A.A. Nikolayev[1], N.N. Dobryakova[1], A.A. Bannikov[2]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru
[2] JSC «CC «Kuzbassrazrezugol», Kemerovo, Russia

Abstract: Formation of coal dust during transsloading and transportation of coal leads to significant environmental pollution. One of the promising directions for reducing coal dusting is the use of reactants of various compositions. It is noted that currently in Russia there are no reliable methods for evaluating the proposed industrial reactants in terms of the efficiency of coal dust binding by them. In the present work, two methods were used to determine the wettability of coal by industrial reactants: measuring the wetting angles of the surface of coal polished sections with solutions and determining their penetration on coal dust samples. Good consistency of the obtained results was shown: reactants with contact angles with the coal surface of 77—89° retain the shape of the initial droplet on contact with the dust. On the contrary, the solu-

© Е.П. Вишневская, А.А. Николаев, Н.Н. Добрякова, А.А. Банников. 2020.

tion, characterized by a contact angle of 25—27°, spreads well on the surface of the dust and completely impregnates it.

Key words: coal dust, wetting angle, water resistance, dust suppression, reactants for dust suppression.

For citation: Vishnevskaya E. P., Nikolayev A. A., Dobryakova N. N., Bannikov A. A. Methods for assessing the wettability of coal with dust suppression solutions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(5):17-25. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-17-25.

Введение

Технологические процессы, связанные с добычей, перемещением, хранением и переработкой углей сопровождаются образованием угольной пыли. Повышенные содержания угольной пыли в атмосферном воздухе могут приводить к профессиональным заболеваниям, таким как пылевой бронхит, пневмокониоз и др. [1]. Присутствие взвешенной пыли в воздухе рабочей зоны при определенных концентрациях приводит к рискам взрывов пылевоздушных смесей [2]. Перенос пыли в местах перегруза углей или буровзрывных работ приводит к загрязнению земельных и водных объектов прилегающих территорий.

В последние годы для снижения содержания пыли при перевалке и транспортировке угольной продукции активно используют промышленные пылеподавляющие растворы разного состава [3, 4]. Аналогичные технологии, основанные на применение химических реагентов (растворов), используют и за рубежом [5]. Однако, в настоящее время российская практика применения растворов для пылеподавления не обеспечена адекватными методами, позволяющими оценивать эффективность применения тех или иных средств для связывания пыли. В работах [6—8] было показано, что смачиваемость углей и угольной пыли растворами является определяющим фактором при оценке эффективности пылеподавления.

В настоящей работе рассмотрены результаты исследования смачиваемости углей промышленными растворами по методикам, которые ранее были апробированы на органических полимерных эмульсиях [8].

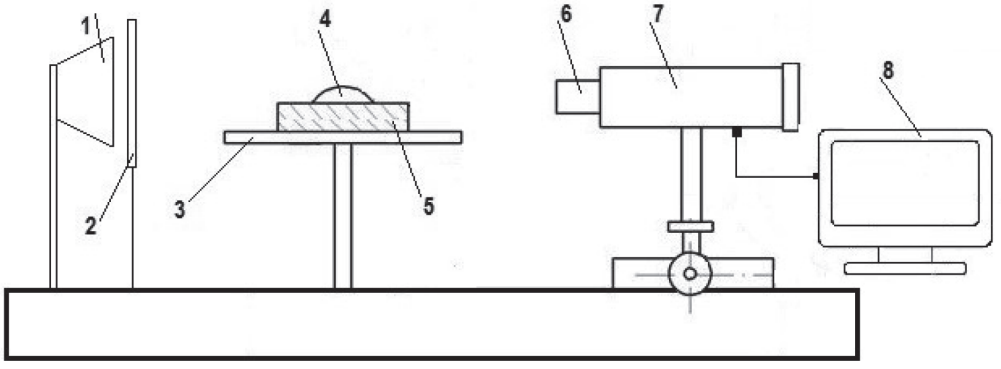


Рис. 1. Схема установки для измерения краевого угла смачивания: 1 — источник света; 2 — светофильтр; 3 — предметный столик; 4 — капля раствора; 5 — аншлиф-штуф угля; 6 — оптическая система; 7 — видеокамера; 8 — компьютер

Fig. 1. Installation diagram for measuring the edge angle of wetting: 1-light source; 2- light filter; 3-slide table; 4-drop of solution; 5-anshliff-coal ore; 6-optical system; 7- video camera; 8-computer

Таблица 1

Характеристики растворов
Characteristics of solutions

Название использованного раствора	Описание раствора	Плотность, г/см^3	pH, ед.	Температура замерзания, °C
№1	жидкость бело-прозрачного цвета	1,188	7,8	-36
№2	жидкость голубого цвета	1,312	5,3	-75
№3	жидкость бесцветного цвета с содержанием легкой мути	1,268	9,1	-51
№4	жидкость светло-голубого цвета	1,246	7,3	-57
№5	жидкость желтого цвета	1,284	4,6	-58
№6	жидкость голубого цвета	1,241	8,6	-45

Объекты и методы исследования

Объекты исследования

Для исследования были выбраны образцы промышленных растворов, основные характеристики которых представлены в табл. 1. Для исследования использовали товарные угли месторождений Кузбасса: № 1 — уголь марки Т, № 2 — уголь марки СС, № 3 — уголь марки КС.

Измерение краевых углов смачивания поверхности углей

Измерение краевых углов смачивания проводили по методу сидячей капли [10, 11]. В качестве образцов использовали аншлиф-штуфы углей, подготовленные по ГОСТ 55663-2013 (Методы петрографического анализа углей. Часть 2. Методы подготовки проб углей). Измерение краевых углов смачивания проводили на специальной установке [12], упрощенная схема которой изображена на рис. 1. Каплю дистиллированной воды или исследуемого раствора постоянного объема наносили на поверхность аншлиф-штуфа угля, после чего фотографировали каплю жидкости и измеряли краевые углы смачивания с двух сторон изображения, находя среднее арифметическое.

Определение проникающей способности растворов

Для качественной оценки проникающей способности растворов использовали пробу углей аналитической крупности (менее 0,2 мм). Пробу угольной пыли помещали на предметное стекло и разравнивали с помощью металлической пластины с плоской горизонтальной поверхностью. Толщина слоя угольной пыли на стекле составляла не более 1 мм. На подготовленную таким образом поверхность наносили каплю постоянного объема исследуемого раствора и фиксировали изменение формы капли и состояние поверхности с помощью видеокамеры.

Результаты

На рис. 2 приведены примеры изображений, полученных при определении краевых углов смачивания поверхности аншлиф-штуфов углей растворами 1 — 6. В табл. 2 приведены количественные результаты определения краевых углов смачивания углей пылеподавляющими растворами. Для сравнения в работе измеряли также краевые углы смачивания угольных аншлиф — штуфов водой. Полученные данные показали, что поверх-

ность углей частично гидрофильна, так как краевой угол смачивания углей водой находится в интервале 51,5 — 58°. Наименьший угол смачивания всех исследованных углей зафиксирован для раствора № 1 (25 — 27°). В несколько меньшей степени поверхность углей смачивается раствором № 6. Для растворов № 2 и № 5 отмечены максимальные краевые углы, что свидетельствует о плохой смачиваемости ими поверхности углей. Сопоставление полученных данных показало, что растворы № 1 и № 6 смачивают поверхность углей лучше, чем вода.

Следует, отметить, что максимальные значения краевых углов смачивания углей исследованными растворами существенно ниже 90°, что свидетельствует о частичной лиофильности поверхности исследуемых углей [12]. Исключением являлся случай смачивания поверхности угля № 1 раствором № 5, где среднее значение краевого угла смачивания достигало 89°.

По смачиваемости поверхности угля № 1 растворы могут быть ранжированы следующим образом: раствор № 1 > > раствор № 6 > раствор № 4 ≥ раствор № 3 > раствор № 2 > раствор № 5. Для угля № 2 этот ряд сохраняется, однако краевые углы смачивания растворами № 2 и № 5 становятся практически одинаковыми (77 и 77,5° соответственно). При ранжировании растворов для угля № 3 отмечено, что раствор № 2 характе-

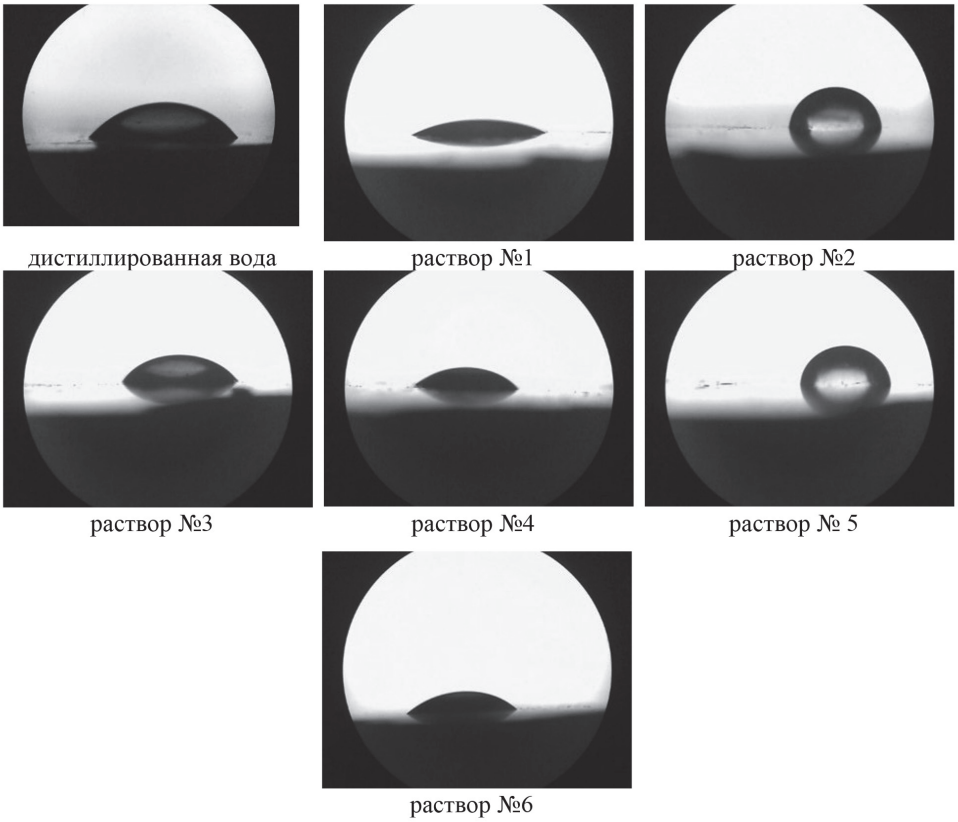


Рис. 2. Профили капель дистиллированной воды и растворов на поверхности угля

Fig. 2. Profiles of distilled water drops and solutions on the coal surface

Таблица 2

Краевые углы смачивания поверхности углей дистиллированной водой и пылеподавляющими растворами
Edge angles of wetting the surface of coals with distilled water and dust suppressing solutions

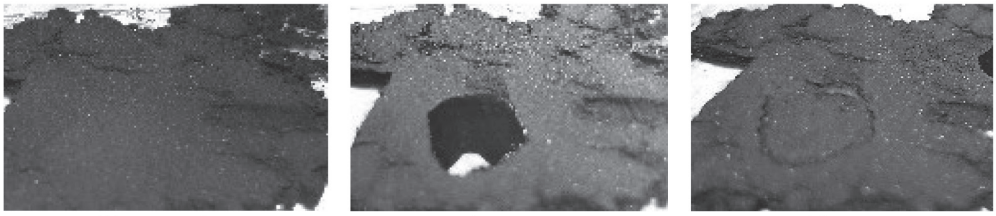
№ угля	Название раствора	Значение краевого угла смачивания, град.		
		левый угол	правый угол	среднее значение
1	Вода	49	54	51,5
	Раствор № 1	24	28	26
	Раствор № 2	77	77	77
	Раствор № 3	61	55	58
	Раствор № 4	57	52	54,5
	Раствор № 5	88	90	89
	Раствор № 6	38	36	37
2	Вода	58	58	58
	Раствор № 1	26	24	25
	Раствор № 2	75	79	77
	Раствор № 3	59	58	41
	Раствор № 4	53	52	52,5
	Раствор № 5	81	74	77,5
	Раствор № 6	32	33	32,5
3	Вода	56	56	56
	Раствор № 1	28	26	27
	Раствор № 2	85	85	85
	Раствор № 3	39	43	41
	Раствор № 4	35	35	35
	Раствор № 5	78	77	77,5
	Раствор № 6	35	34	34,5

ризуется большим значением краевого угла смачивания, чем раствор № 5, (85 и 77,5° соответственно). Такие различия связаны, по-видимому, с особенностями поверхности углей разных стадий метаморфизма.

На рис. 3 — 8 представлены результаты определения проникающей способности растворов. Следует отметить, что поведение капли каждого отдельного раствора практически одинаково для пыли разных углей. В самом общем случае, растворы взаимодействуют с пылью следующим образом:

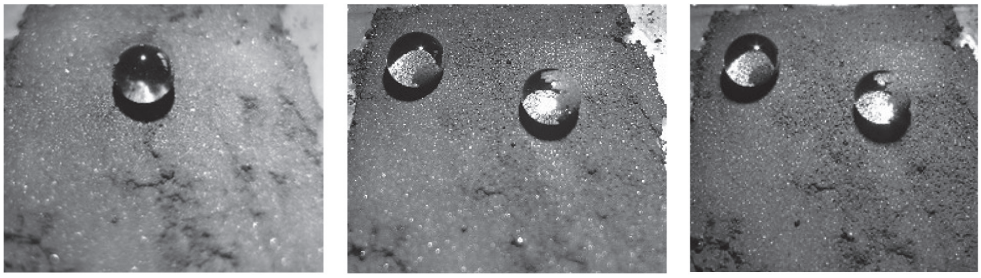
- быстрое растекание капли и пропитывание пыли;
- растекание капли без пропитывания пыли;
- капля раствора не растекается по поверхности пыли.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами определения краевых углов смачивания. Так раствор № 1, характеризующийся минимальным краевым углом смачивания, при попадании на поверхность пыли углей № 1 и № 3 растекается на ней, а через 5 минут полностью ее пропитывает в месте



Исходный 1 мин 10 мин

Рис. 3. Взаимодействие капли раствора № 1 с поверхностью пыли
Fig. 3. Interaction of a drop of solution No. 1 with the dust surface

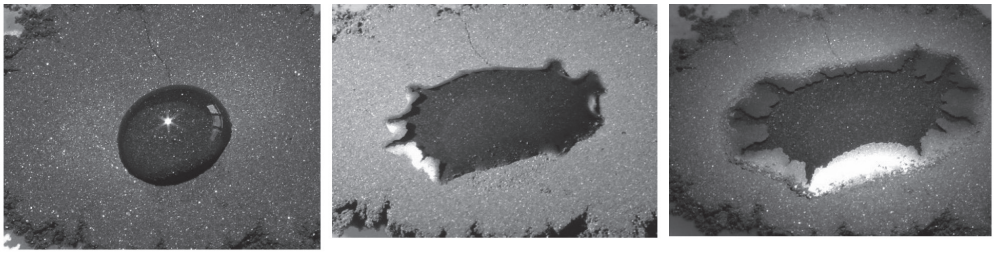


1 мин 10 мин 20 мин

Рис. 4. Взаимодействие капли раствора № 2 с поверхностью пыли
Fig. 4. Interaction of a drop of solution No. 2 with the dust surface

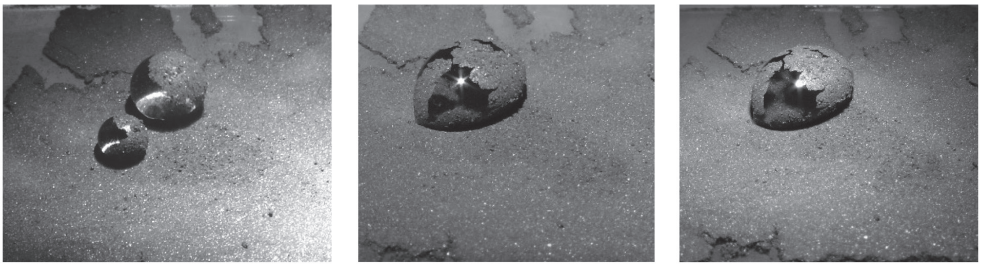
1 мин 5 мин 30 мин

Рис. 5. Взаимодействие капли раствора № 3 с поверхностью пыли
Fig. 5. Interaction of a drop of solution No. 3 with the dust surface



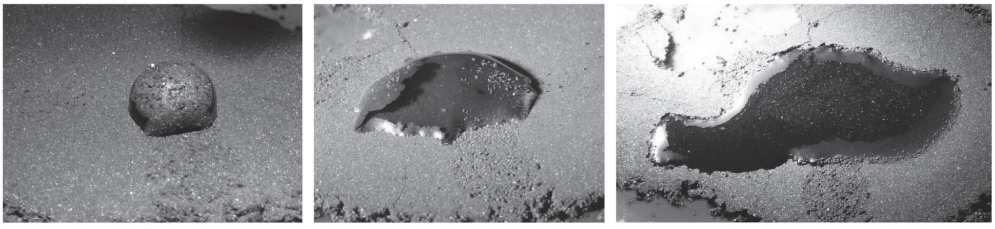
1 мин 5 мин 30 мин

Рис. 6. Взаимодействие капли раствора № 4 с поверхностью пыли
Fig. 6. Interaction of a drop of solution No. 4 with the dust surface



1 мин 10 мин 30 мин

Рис. 7. Взаимодействие капли раствора № 5 с поверхностью пыли
Fig. 7. Interaction of a drop of solution No. 5 with the dust surface



1 мин 3 мин 30 мин

Рис. 8. Взаимодействие капли раствора № 6 с поверхностью пыли
Fig. 8. Interaction of a drop of solution No. 6 with the dust surface

нахождения капли. Для угля № 2 полное впитывание капли раствора № 1 происходит в течение 10 мин. Раствор № 6 растекается по поверхности пыли, однако впитывание его не происходит в течение получаса. Аналогично раствору № 6 ведут себя растворы № 3 и № 4. Эти растворы также растекались по поверхности пыли, но впитывание в течение 30 мин не наблюдалось. Растворы № 2 и № 5, показавшие максимальные краевые углы, практически не смачивают поверхность пыли: при попадании капли на поверхность она сохраняет свою форму и не растекается в течении 30 мин и более. Отмечено, что при этом поверхность капли покрывается тонкой пленкой пыли (рис. 3 — 8).

Заключение

Проведены исследования смачиваемости поверхности углей и угольной пыли промышленными растворами, предназначенными для связывания пыли. Показана хорошая согласованность результатов, полученных разными методами: растворы, имеющие краевые углы смачивания поверхности углей 77 — 89°, сохраняют форму исходной капли, попадая на поверхность пыли. Напротив, раствор, характеризующийся краевым углом смачивания 25 — 27°, хорошо растекается по поверхности пыли и полностью ее пропитывает. Предлагаемые методы можно использовать для предварительной оценки растворов, планируемых для обработки углей с целью связывания пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирняков В. В., Скударнов С. М.* Анализ условий труда работников угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S7. — С. 425 — 430.

2. *Смирняков В. В.*, *Смирнякова В. В.* Трудноуправляемые факторы в статистике причин аварийных пылегазовых взрывов в угольных шахтах России // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 30—34.

3. *Rout T. K.*, *Masto R. E.*, *Padhy P. K.*, *George J.*, *Ram L. C.*, *Maity S.* Dust fall and elemental flux in a coal mining area // Journal of Geochemical Exploration, 2014, Vol. 144, No PC, pp. 443— 455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.

4. *Эпштейн С. А.*, *Гаврилова Д. И.*, *Завелев И. Г.*, *Шамшин С. А.*, *Юрин Е. Ю.* Опыт применения полимерной эмульсии для снижения пыления углей при их перемещении // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 10. — С. 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.

5. *Xiaonan Wang, ShujieYuan, Bingyou Jiang* Experimental investigation of the wetting ability of surfactants to coals dust based on physical chemistry characteristics of the different coal samples // Advanced Powder Technology. 2019. Vol. 30. Issue 8. Pp. 1696—1708.

6. *Поздняков Г. А.*, *Третьяков А. В.*, *Гаравин В. Ю.*, *Новосельцев А. И.* Требования к смачивателям для пылеподавления в угольной и горнорудной промышленности // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 10. — С. 36—39.

7. *Корнев А. В.*, *Коршунов Г. И.*, *Корнева М. В.* Современные методы оценки смачивающей способности шахтных составов для пылеподавления // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 5-1. — С. 93—102.

8. *Гаврилова Д. И.* Изучение взаимодействия углей с полимерными эмульсиями различного состава // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 86–101. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-86-101.

9. *Wang Naiguo, Nie Wen, Cheng Weimin, Liu Yanghao, Zhu Liang, Zhang Lei* Experiment and research of chemical de-dusting agent with spraying dust-settling // Procedia Engineering. 2014. Vol. 84, pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.494.

10. *Tao Fan, Gang Zhou, Jiayuan Wang* Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant // Process Safety and Environmental Protection. 2018. Vol. 113, pp. 282—291. DOI: 10.1016/j.psep.2017.10.023.

11. *Николаев А. А.* Физико-химические методы исследований флотационных систем: лабораторный практикум. — М.: Изд. Дом «МИСиС», 2013. — 73 с.

12. *Адамсон А.* Физическая химия поверхности. — М.: Мир, 1979. — 568 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Smirnyakov V. V., Skudarnov S. M. Analysis of working conditions of coal industry workers. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S7, pp. 425—430. [In Russ].

2. Smirnyakov V. V., Smirnyakova V. V. Hard-to-manage factors in the statistics of causes of accidental dust and gas explosions in coal mines of Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no 1, pp. 30—34. [In Russ].

3. Rout T. K., Masto R. E., Padhy P. K., George J., Ram L. C., Maity S. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, Vol. 144, No PC, pp. 443— 455. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.04.003.

4. Epshtein S. A., Gavrilova D. I., Zavelev I. G., Shamshin S. A., Yurin E. Yu. Application of polymer emulsion in dust emission control during coal haulage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):5-15. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.

5. Xiaonan Wang, ShujieYuan, Bingyou Jiang Experimental investigation of the wetting ability of surfactants to coals dust based on physical chemistry characteristics of the different coal samples. *Advanced Powder Technology*. 2019. Vol. 30. Issue 8. Pp. 1696—1708.

6. Pozdnyakov G. A., Tret'yakov A. V., Garavin V. Yu., Novosel'tsev A. I. Requirements for wetting agents for dust suppression in the coal and mining industry. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2013, no 10, pp. 36—39.

7. Kornev A. V., Korshunov G. I., Korneva M. V. Modern methods of estimation wetting ability mine compositions for dust control. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 5-1, pp. 93—102. [In Russ].

8. Gavrilova D. I. Interaction of coal with polymeric emulsions of different composition. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(12):86-101. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-86-101.

9. Wang Naiguo, Nie Wen, Cheng Weimin, Liu Yanghao, Zhu Liang, Zhang Lei Experiment and research of chemical de-dusting agent with spraying dust-settling. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 84, pp. 764—769. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.494.

10. Tao Fan, Gang Zhou, Jiayuan Wang Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 113, pp. 282—291. DOI: 10.1016/j.psep.2017.10.023.

11. Nikolaev A.A. *Fiziko-khimicheskie metody issledovaniy flotatsionnykh sistem*: laboratornyy praktikum [Physico-chemical methods for the study of flotation systems: laboratory workshop], Moscow, Izd. Dom «MISiS», 2013, 73 p.

12. Adamson A. *Fizicheskaya khimiya poverkhnosti* [Physical surface chemistry], Moscow, Mir, 1979, 568 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вишневская Елена Петровна[1] — инженер,
e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru,
Николаев Александр Александрович[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: nikolaevopr@mail.ru,
Добрякова Надежда Николаевна[1] — канд. техн. наук,
научный сотрудник, e-mail: w.dobryakova@gmail.com,
Банников Антон Александрович — АО «УК «Кузбассразрезуголь»,
e-mail: bannikov@kru,
[1] НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Вишневская Е.П.,
e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.P. Vishnevskaya[1], Engineer,
e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru,
A.A. Nikolayev[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: nikolaevopr@mail.ru,
N.N. Dobryakova[1], Cand. Sci. (Eng.), Researcher,
e-mail w.dobryakova@gmail.com,
A.A. Bannikov, JSC «CC «Kuzbassrazrezugol»,
650054, Kemerovo, Russia, e-mail: bannikov@kru.
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119991, Moscow, Russia.
Corresponding author: E.P. Vishnevskaya,
e-mail: Elen.Vishnevskaia@yandex.ru

Получена редакцией 21.01.2020; получена после рецензии 24.03.2020; принята к печати 20.04.2020.
Received by the editors 21.01.2020; received after the review 24.03.2020; accepted for printing 20.04.2020.