

# Оценка эффективности смачиваемости угольной пыли при разных температурах растворов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-70-75>

## ПЕРНЕБЕК Б.П.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: pbektur@mail.ru

## СЕМЕНОВ Ю.В.

Канд. техн. наук,  
доцент НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: 7231234@bk.ru

## РЫБИЧЕВ А.А.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: rybichev@yandex.ru

## КОЗЛОВА Л.О.

Ассистент НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: voloshenyuklyubov@gmail.com

Актуальность проблемы обоснована необходимостью совершенствования противопылевого комплекса мероприятий, повышением эффективности которых является химреагентная обработка воды. Проведены исследования смачиваемости угольной пыли пластов марок Ж, ГЖ, Б. По результатам времени осаждения, смачиваемость пыли бурых углей растворами поверхностно-активных веществ лучше от двух до пяти раз смачиваемости этими же растворами пыли каменных углей марок Ж, ГЖ. Сорбция смачивателя пылью каменных углей при концентрациях смачивателя от 0,3 до 1% происходила ниже максимально возможной по сорбционной емкости смачивателя угольной пылью. Для температур растворов смачивателя от 5 до 60°C установлено, что поверхностное натяжение во всем диапазоне исследуемых температур снижается в 1,12 раза, а при увеличении концентрации смачивателя от 0 до 3,5% поверхностное натяжение снижается в 1,6 раза, т.е. влияние концентрации на снижение поверхностного натяжения в 1,5 раза эффективнее по сравнению с увеличением температуры смачивателя. Полученные результаты можно использовать для оценки растворов, планируемых для термовлажностной химреагентной обработки угольной массы с целью связывания пыли.

**Ключевые слова:** угольная пыль, смачиваемость пыли, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, теплота смачивания, концентрация, время осаждения пыли.

**Для цитирования:** Оценка эффективности смачиваемости угольной пыли при разных температурах растворов / Б.П. Пернебек, Ю.В. Семенов, А.А. Рыбичев и др. // Уголь. 2024. № 1. С. 70-75. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-70-75.

## ВВЕДЕНИЕ

Каменный уголь, наряду с бурым, остается в современной экономике мира стратегическим ресурсом, наращивание объемов добычи которого наблюдается и планируется как в нашей стране, так и в других угледобывающих странах мира [1, 2, 3]. Основными негативными факторами, сопровождающими технологические процессы, связанные с добычей угля, его транспортировкой, погрузочно-разгрузочными работами, хранением и переработкой углей, являются выделение значительного количества метана и пылеобразование с последующим пылевыделением и пылеотложением [4, 5]. Для угольных шахт это чревато возникновением рисков вспышек, взрывов пылеметановоздушных смесей, пожаров [6, 7], для окружающей среды – парниковым эффектом, загрязнением земельных и водных объектов [8].

Поскольку уголь является гидрофобным веществом и плохо смачивается водой, то для снижения содержания пыли при технологических процессах по добыче и переработке углей используют пылеподавляющие растворы раз-

ного состава [9, 10]. Целью исследования является оценка эффективности смачивания каменных и бурых углей в зависимости от концентрации и температуры раствора смачивателя.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Смачивание является разновидностью сорбционно-адгезионного взаимодействия на границах раздела трех фаз: жидкости, газа и твердого тела [11, 12, 13]. Если межфазное (молекулярное) сцепление между твердым телом и жидкостью больше межмолекулярного взаимодействия в жидкости, то произойдет смачивание поверхности твердого тела. Уменьшение пыления угольной массы можно обеспечить за счет применения смачивающих добавок к основному веществу (воде) [14, 15, 16]. При этом уменьшаются величины краевого угла ( $\theta$ ) и теплоты смачивания ( $W$ ), определяемые соотношениями по закону Юнга (1) и уравнению Думанского А.В (2):

$$\sigma_{\text{тг}} = \sigma_{\text{тж}} + \sigma_{\text{жг}} \cos\theta, \tag{1}$$

где  $\sigma_{\text{тг}}$ ,  $\sigma_{\text{тж}}$ ,  $\sigma_{\text{жг}}$  – поверхностные натяжения на границах раздела твердое тело – газ; твердое тело – жидкость; жидкость – газ;  $\theta$  – краевой угол в системе твердое тело – жидкость – газ.

$$W = S\sigma_{\text{тж}} \cos\theta, \tag{2}$$

где  $S$  – площадь смачиваемой поверхности.

Теплота смачивания – это энергия, которая выделяется в виде тепла (процесс экзотермический) и равна разности поверхностной энергии при смачивании и до него. Теплота смачивания характеризует интенсивность взаимодействия сухого твердого вещества с жидкостью. Если вещество не смачивается ( $\theta > 90$  градусов), то тепло поглощается и  $W < 0$ .

Смачивающие добавки увеличивают эту интенсивность. При этом растет скорость процесса уменьшения пыления, и уменьшается его время.

В соответствии с законом сохранения энергии уменьшение поверхностной энергии системы сопровождается превращением ее в другие виды энергии. Таким образом, величина поверхностной энергии определяет неравновесное состояние и нестабильность системы.

Появление пыли является одним из проявлений такого отсутствия равновесия и протекания быстрых и часто весьма вредных процессов, препятствующих нормальному ведению технологических процессов и ухудшающих общее экологическое состояние.

Для проведения экспериментальных исследований по оценке эффективности смачивания были выбраны каменные угли средней стадии метаморфизма (марки Ж, ГЖ) и бурые угли (марка Б). Характеристика исследуемых углей представлена в *табл. 1*.

Были подготовлены пробы угольной пыли (К1-К5) размером 0,5-1,0 мм. Масса одной пробы составляла 1 г. В качестве смачивателя использовался смачиватель СП-01 (ТУ 2481-002-95498669-2008). Физико-технические характеристики смачивателя СП-01: внешний вид – однородная жидкость без осадка и расслоения; плотность при 20°С – 1050 кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость чистого смачивателя при 20°С – 53,56 мм<sup>2</sup>/с; кинематическая вязкость 0,5%-раствора при 20°С – 0,8832 мм<sup>2</sup>/с; водородный показатель (рН) водного раствора с массовой долей продукта 1% – 7,0-10,0; температура застывания – минус 3°С; поверхностное натяжение водного раствора смачивателя – 39,24 мН/м.

Результаты смачивания угольной пыли при различных концентрациях смачивателя представлены в *табл. 2* и на *рис. 1*.

Из анализа данных, представленных на *рис. 1*, следует, что время осаждения пыли бурых углей меньше, чем для пыли каменных – от 2 до 5 раз, причем, если время осаждения пыли бурых углей уменьшается в 1,5 раза при увеличении концентрации смачивателя от 0,3 до 1%, то для пыли каменных углей уменьшение этого времени равно 2,5 раза. Это может свидетельствовать о том, что сорбция смачивателя пылью каменных углей при концентрациях смачивателя от 0,3 до 1% происходила ниже максимально возможной по сорбционной емкости смачивателя угольной пылью.

Для дальнейших исследований была выбрана пыль бурых углей, размер фракций составлял до 43 мкм, масса одной пробы пыли равнялась 1 г. Были выбраны концентрации смачивателя, удовлетворяющие сорбционной емкости пыли в отношении поверхностно-активных веществ. Температура раствора смачивателя составляла:

Таблица 1

**Качественные показатели углей**

Coal quality indicators

| Образцы углей | Марка угля | Влажность угля, % | Выход летучих веществ, % | Зольность, % | Содержание серы, % | Теплотворная способность, кДж/кг (ккал/кг) |
|---------------|------------|-------------------|--------------------------|--------------|--------------------|--|
| K1            | Ж          | 2,4               | 30,9                     | 5,0          | 0,44               | 36317,12 (8680)                            |
| K2            | Ж          | 2,8               | 32,1                     | 8,3          | 0,48               | 35480,32 (8480)                            |
| K3            | ГЖ         | 4,0               | 41,7                     | 37,8         | 0,3                | 26986,8 (6450)                             |
| K4            | ГЖ         | 4,11              | 41,7                     | 29,0         | 0,3                | 26986,8 (6450)                             |
| K5            | Б          | 7,8               | 46,82                    | 10,40        | 0,71               | 24175 (5774)                               |

**Время осаждения пыли в растворе смачивателя, секунды**

Dust settling time in wetting agent solution, seconds

| Образцы углей | Концентрация смачивателя, % |     |      |      |
|---------------|-----------------------------|-----|------|------|
|               | 0                           | 0,3 | 0,5  | 1,0  |
| К1 (марка Ж)  | Не оседает                  | 25  | 15   | 10   |
| К2 (марка Ж)  | Не оседает                  | 12  | 10   | 6,65 |
| К3 (марка ГЖ) | Не оседает                  | 10  | 8    | 6    |
| К4 (марка ГЖ) | Не оседает                  | 25  | 20   | 15   |
| К5 (марка Б)  | Нет данных                  | 7   | 5,63 | 4,65 |

60, 40, 22 и 5°С. По значениям времени осаждения пыли (см. табл. 2) и формулам (1) и (2) рассчитаны: краевой угол смачивания, теплота смачивания и поверхностное натяжение (табл. 3). Величина поверхностного натяжения для воды принимается равной 73 мН/м, средняя теплота смачивания угля водой принимается равной 11,6 кал/г ( $48,53 \cdot 10^{-3}$  Дж/кг).

Важным выводом из анализа данных табл. 2 следует тот факт, что в чистой воде пыль бурых углей не оседает, и только при температуре воды 60°С пыль оседает в течение одного часа, что свидетельствует о необходимости добавления в воду поверхностно-активных веществ.

Из анализа графических зависимостей (рис. 2) следует, что в диапазоне исследованных значений концентра-

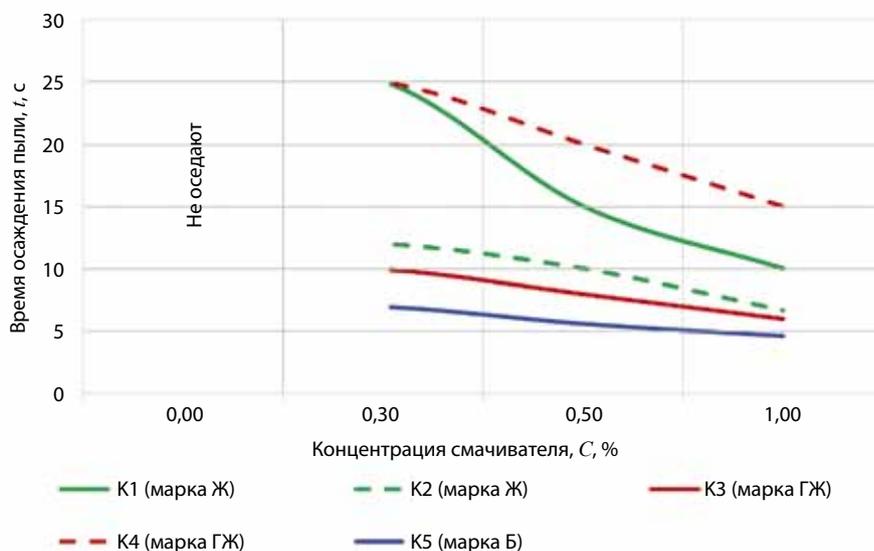


Рис. 1. Зависимость времени осаждения пыли от концентрации смачивателя  
Fig. 1. Dependence of the dust settling time on concentration of the wetting agent

**Результаты расчета характеристик обработки угольной пыли при применении смачивающих добавок**

Results of calculating the characteristics of coal dust processing when wetting agents are used

| Температура раствора, Т |     | Концентрация смачивателя, С, % | Время смачивания, t, с | Теплота смачивания, W·10 <sup>3</sup> , Дж/кг | Краевой угол смачивания, θ, градус | Поверхностное натяжение раствора, σ, мН/м |
|-------------------------|-----|--------------------------------|------------------------|---|------------------------------------|---|
| °С                      | К   |                                |                        |   |                                    |   |
| 60                      | 333 | 0                              | 3600                   | 3,26  | 89                                 | 67,17                                     |
| 40                      | 313 | 0                              | н/см                   | -20,38  | 94                                 | 69,55                                     |
| 22                      | 295 | 0                              | н/см                   | -58,16  | 101                                | 72,75                                     |
| 5                       | 278 | 0                              | н/см                   | -76,57  | 104                                | 75,62                                     |
| 60                      | 333 | 1,5                            | 28,9                   | 53,55   | 58,3                               | 58,7                                      |
| 40                      | 313 | 1,5                            | 34,4                   | 57,74   | 62                                 | 60,1                                      |
| 22                      | 295 | 1,5                            | 35,2                   | 67,36   | 62,5                               | 60,9                                      |
| 5                       | 278 | 1,5                            | 36                     | 70,29   | 63                                 | 62,1                                      |
| 60                      | 333 | 2,5                            | 29,8                   | 41,21   | 59                                 | 52,43                                     |
| 40                      | 313 | 2,5                            | 26                     | 40,58   | 55                                 | 51,5                                      |
| 22                      | 295 | 2,5                            | 28,5                   | 56,90   | 58                                 | 55,2                                      |
| 5                       | 278 | 2,5                            | 37,1                   | 53,55   | 64                                 | 69,2                                      |
| 60                      | 333 | 3,5                            | 10,1                   | 35,98   | 28                                 | 41,6                                      |
| 40                      | 313 | 3,5                            | 16,2                   | 30,96   | 30,6                               | 42,8                                      |
| 22                      | 295 | 3,5                            | 16                     | 27,82   | 30,5                               | 42,5                                      |
| 5                       | 278 | 3,5                            | 22,3                   | 35,15   | 42                                 | 49,8                                      |

Примечание: н/см – не смачивается.

ций и температур смачивателя концентрация является более сильным фактором для снижения поверхностного натяжения по сравнению с температурным фактором.

При увеличении температуры от 5 до 60°C поверхностное натяжение снижается в 1,12 раза, а при увеличении концентрации смачивателя от 0 до 3,5% поверхностное натяжение снижается в 1,6 раза, т.е. в указанном диапазоне температур и концентраций влияние концентрации на снижение поверхностного натяжения в 1,5 раза эффективнее по сравнению с увеличением температуры смачивателя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проблеме борьбы с угольной пылью на горно-добывающих и горно-перерабатывающих предприятиях гидрообеспыливание является основой противопылевого комплекса мероприятий, повышением эффективности которых является химреагентная обработка воды [17, 18, 19]. Проведены исследования смачиваемости угольной пыли пластов марок Ж, ГЖ, Б. По результатам времени осаждения, смачиваемость пыли бурых углей растворами поверхностно-активных веществ лучше от двух до пяти раз смачиваемости этими же растворами пыли каменных углей марок Ж, ГЖ. Сорбция смачивателя пылью каменных углей при концентрациях смачивателя от 0,3 до 1% происходила ниже максимально возможной по сорбционной емкости смачивателя угольной пылью.

Проведены исследования по оценке эффективности смачиваемости угольной пыли растворами смачивателя с температурой от 5 до 60 °С. Установлено, что поверхностное натяжение во всем диапазоне исследуемых температур снижается в 1,12 раза, а при увеличении концентрации смачивателя от 0 до 3,5% поверхностное натяжение снижается в 1,6 раза, т.е. в указанном диапазоне температур и концентраций влияние концентрации на снижение поверхностного натяжения в 1,5 раза эффективнее по сравнению с увеличением температуры смачивателя. Полученные результаты можно использовать для оценки растворов, планируемых для термовлажностной химреагентной обработки угольной массы с целью связывания пыли.

### Список литературы

1. Methods and Tools for Developing an Organization Development Strategy / V. Kukartsev, E. Shutkina, K. Moiseeva et al. / 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). 2022, pp. 1-8. DOI: 10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795707э.
2. Prediction of Critical Filling of a Storage Area Network by Machine Learning Methods / I.S. Masich, V.S. Tynchenko, V.A. Nelyub et al. // *Electronics*. 2022;11(24):4150. DOI: 10.3390/electronics11244150.
3. Обеспечение пылевзрывобезопасности подземных горных выработок в угольных шахтах: методы и современные тенденции / А.В. Корнев, А.А. Спицын, Г.И. Коршунов и

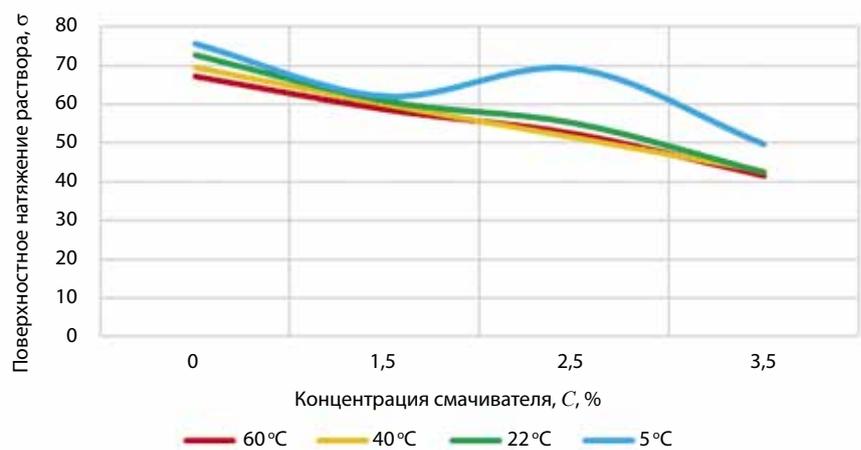


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора смачивателя при разных температурах раствора

Fig. 2. Dependence of the surface tension on concentration of the wetting agent solution at different solution temperatures

- др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 3. С. 133-149. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.
4. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings // *Journal of Applied Science and Engineering*. 2020;24(1):105-110. DOI: 10.6180/jase.202102\_24(1).0014.
5. Influence of Molasses on the Explosion and Decomposition Properties of the Coal Dust Deposited in Underground Mines / J. Liu, M. Lin, L. Jin et al. // *Energies*. 2023;16(6):2758. DOI: 10.3390/en16062758.
6. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Научно обоснованные технологические решения по снижению аэрологических рисков на действующих и проектируемых угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 2. С. 139–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.
7. Баловцев С.В. Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 6. С. 173-183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.
8. Управление экологическими рисками на горнодобывающих предприятиях / О.М. Зиновьева, Л.А. Колесникова, А.М. Меркулова и др. // *Уголь*. 2022. № 3. С. 76-80. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.
9. Оценка прогнозной запыленности в забоях угольных шахт с учетом особенностей смачиваемости угольной пыли / А.В. Корнев, Н.В. Ледяев, Е.И. Кабанов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6–2. С. 115-134. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-62-0-115.
10. Experimental study on the prevention of coal mine dust with biological dust suppressant / G. Shi, J. Qi, Y. Wang et al. // *Powder Technology*. 2021. 391. P. 162-172. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.05.096.
11. Математическое моделирование массопереноса в коллоидных системах / А.Э. Филин, С.В. Тertyчная, И.Ю. Курносов и др. // *Уголь*. 2023. № 5. С. 72-76. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-72-76.
12. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines / V. Rodionov,

- M. Tumanov, I. Skripnik et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 981(3). 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.
13. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials / V. Rodionov, I. Skripnik, T. Kaverzneva et al. // E3S Web of Conferences. 2023. 417. 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202341705013.
  14. Assessment of Water Retention Capacity of Non-Ionic and Anionic Fluorinated Dust Suppressants on Coal Dust / K. Wang, M. Xu, B. Zhou et al. // *Applied Sciences*. 2023;13(16):9118. DOI: 10.3390/app13169118.
  15. Experimental Study on Migration and Intrusion Characteristics of Pulverized Coal in Propped Fractures / Q. Zhu, L. Yin, Q. Huang et al. // *Processes*. 2023;11(7):2074. DOI: 10.3390/pr11072074.
  16. Study on Atomization and Dust Reduction Mechanisms of AEO-9-Charged Solution / L. Sun, S. Ge, X. Chen et al. // *Energies*. 2023;16(6):2800. DOI: 10.3390/en16062800.
  17. Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019. Т. 330. № 6. С. 109-115. DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2132.
  18. Рыбичев А.А. К вопросу оценки влияния тяжелых углеводородов на взрывчатость пылеметановоздушных смесей // *Уголь*. 2023. № 2. С. 41-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.
  19. Павленко М.В., Скопинцева О.В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2019. № 3. С. 43-50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

## Original Paper

UDC 622.807 © B.P. Pernebek, Yu.V. Semenov, A.A. Rybichev, L.O. Kozlova, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 1, pp. 70-75  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-70-75>

## Title

## ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF WETTIBILITY OF COAL DUST AT DIFFERENT SOLUTION TEMPERATURES

## Authors

Pernebek B.P.<sup>1</sup>, Semenov Yu.V.<sup>1</sup>, Rybichev A.A.<sup>1</sup>, Kozlova L.O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

## Authors Information

**Pernebek B.P.**, Postgraduate Student, e-mail: pbektur@mail.ru

**Semenov Yu.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor, e-mail: 7231234@bk.ru

**Rybichev A.A.**, Postgraduate Student, e-mail: rybichev@yandex.ru

**Kozlova L.O.**, Assistant, e-mail: voloshenyuklyubov@gmail.com

## Abstract

The urgency of the problem is justified by the need to improve the anti-dust complex of measures, the effectiveness of which is increased by chemical treatment of water. Studies have been carried out on the wettability of coal dust from seams of grades Zh, GZh, B. Based on the results of sedimentation time, the wettability of brown coal dust with solutions of surfactants is 2 to 5 times better than the wettability of coal dust of grades Zh, GZh with the same solutions. Sorption of the wetting agent by coal dust at wetting agent concentrations from 0.3% to 1% occurred below the maximum possible sorption capacity of the wetting agent by coal dust. For temperatures of wetting agent solutions from 5 to 60 °C, it was found that surface tension in the entire range of temperatures studied decreases by 1.12 times, and with an increase in wetting agent concentration from 0 to 3.5%, surface tension decreases by 1.6 times, the effect of concentration on reducing surface tension is 1.5 times more effective compared to increasing the temperature of the wetting agent. The results obtained can be used to evaluate solutions planned for thermal-humidity chemical treatment of coal mass for the purpose of dust binding.

## Keywords

Coal dust, Dust wettability, Surface tension, Contact angle, Heat of wetting, Concentration, Dust deposition time.

## References

1. Kukartsev V., Shutkina E., Moiseeva K., Korpacheva L. & Kireev T. Methods and Tools for Developing an Organization Development Strategy. 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). 2022, pp. 1-8. DOI: 10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795707.

2. Masich I.S., Tynchenko V.S., Nelyub V.A., Bukhtoyarov V.V., Kurashkin S.O., Gantimurov A.P. & Borodulin A.S. Prediction of Critical Filling of a Storage Area Network by Machine Learning Methods. *Electronics*, 2022;11(24):4150. DOI: 10.3390/electronics11244150.

3. Kornev A.V., Spitsyn A.A., Korshunov G.I. & Bazhenova V.A. Preventing dust explosions in coal mines: Methods and current trends. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(3):133-149. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-3-0-133.

4. Kabanov E.I., Korshunov G.I. & Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2020;24(1):105-110. DOI: 10.6180/jase.202102\_24(1).0014.

5. Liu J., Lin M., Jin L., Li G., Ou S., Wang Y., Wang T., Jueraiti M., Tian Y. & Wang J. Influence of Molasses on the Explosion and Decomposition Properties of the Coal Dust Deposited in Underground Mines. *Energies*, 2023;16(6):2758. DOI: 10.3390/en16062758.

6. Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Science-based technological solutions for aerological risks reducing in operating and designing coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2023;(2):139-151. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-139.

7. Balovtsev S.V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2019;(6):173-183. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

8. Zinovieva O.M., Kolesnikova I.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Environmental risk management at mining enterprises. *Ugol'*, 2022, (3), pp. 76-80. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

9. Kornev A.V., Ledyayev N.V., Kabanov E.I. & Korneva M.V. Estimation of predictive dust content in the faces of coal mines taking into account the peculiarities of the wettability of coal dust. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2022;(6-2):115-134. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-62-0-115.

10. Shi G., Qi J., Wang Y. & Liu S. Experimental study on the prevention of coal mine dust with biological dust suppressant. *Powder Technology*, 2021, (391), pp. 162-172. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.05.096.

11. Filin A.E., Tertychnaya S.V., Kurnosov I.Yu. & Kolesnikova L.A. Mathematical modeling of mass transfer in colloidal systems. *Ugol'*, 2023, (5), pp. 72-76. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-72-76.

## SAFETY

12. Rodionov V., Tumanov M., Skripnik I., Kaverzneva T. & Pshenichnaya C. Analysis of the fractional composition of coal dust and its effect on the explosion hazard of the air in coal mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 981(3), 032024. DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032024.
13. Rodionov V., Skripnik I., Kaverzneva T., Zhikharev S., Kriklivyy S. & Panov S. Prerequisites for applying the risk-based approach to assessing the explosive and fire hazardous properties of underground mining materials. *E3S Web of Conferences*, 2023, (417), 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202341705013.
14. Wang K., Xu M., Zhou B., Yang M., Li X. & Yue Q. Assessment of Water Retention Capacity of Non-Ionic and Anionic Fluorinated Dust Suppressants on Coal Dust. *Applied Sciences*, 2023;13(16):9118. DOI: 10.3390/app13169118.
15. Zhu Q., Yin L., Huang Q., Wang E. & Hou Z. Experimental Study on Migration and Intrusion Characteristics of Pulverized Coal in Propped Fractures. *Processes*, 2023;11(7):2074. DOI: 10.3390/pr11072074.
16. Sun L., Ge S., Chen X. & Liu S. Study on Atomization and Dust Reduction Mechanisms of AEO-9-Charged Solution. *Energies*, 2023;16(6):2800. DOI: 10.3390/en16062800.
17. Ganova S.D., Skopintseva O.V. & Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their

potential hazard. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2019, Vol. 330, (6), pp. 109-115. (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2019/6/2132.

18. Rybichev A.A. On the question of evaluation of the influence of heavy hydrocarbons on the explosibility of dust-methane-air mixtures. *Ugol'*, 2023, (2), pp. 41-44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-41-44.

19. Pavlenko M.V. & Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2019;(3):43-50. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

#### For citation

Pernebek B.P., Semenov Yu.V., Rybichev A.A. & Kozlova L.O. Assessment of the effectiveness of wettability of coal dust at different solution temperatures. *Ugol'*, 2024, (1), pp. 70-75. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-70-75.

#### Paper info

Received October 30, 2023

Reviewed November 13, 2023

Accepted December 7, 2023

Оригинальная статья

УДК 622, 658.5, 614.8 © Н.М. Арефьева, Е.А. Щербакова, 2024

## Оценка психосоциальных рисков на угледобывающих предприятиях

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-75-79>

Анализ характерных для угольной промышленности психосоциальных факторов риска, приведенный в статье, направлен на выявление наиболее распространенных у работников металлургической и угольной промышленности психосоциальных факторов риска. В целях идентификации психосоциальных факторов риска разработан опросный лист для работников предприятия угольной промышленности. Приведены результаты исследования мнения работников угледобывающих предприятий различных возрастных категорий, стажа работы в отрасли, а также различной гендерной принадлежности и ролей в компании. На основе полученных данных установлен ряд характерных психосоциальных факторов риска для работников угольной промышленности, даны рекомендации по улучшению условий труда.

**Ключевые слова:** психосоциальные факторы, психосоциальный риск, системы управления, системы менеджмента, интегрированные системы управления, человеческий фактор, управление риском.

**Для цитирования:** Арефьева Н.М., Щербакова Е.А. Оценка психосоциальных рисков на угледобывающих предприятиях // Уголь. 2024. № 1. С. 75-79. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-75-79.

#### АРЕФЬЕВА Н.М.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: m2109386@edu.misis.ru

#### ЩЕРБАКОВА Е.А.

Аспирант НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: shcherbakova.ea@mail.ru

### ВВЕДЕНИЕ

Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года (Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р) направлена на обеспечение дальнейшего улучшения условий труда, повышение безопасности