

УДК 622.33.013.03

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА УГЛЯ НА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ  
В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ**

**А. А. Ордин<sup>1-3</sup>, А. М. Тимошенко<sup>4</sup>, Д. В. Ботвенко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,

E-mail: ordin@misd.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>ООО “НПЦ ВостНИИ”, ул. Институтская, 1, 650002, г. Кемерово, Россия

<sup>3</sup>ФИЦ ИВТ, просп. Академика Лаврентьева, 6, 630090, г. Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>АО “НЦ ВостНИИ”, ул. Институтская, 3, 650002, г. Кемерово, Россия

Современные высокопроизводительные очистные комбайны создают угольную массу с высоким содержанием пылевых фракций. Показаны результаты ситового анализа угольной массы из очистного забоя шахты “Заречная”. Приведены теоретические расчеты дебита метана в зависимости от дисперсного состава угольной массы шахты “Заречная” при различных законах распределения фракционного состава. Установлено, что максимальный дебит метана возникает при фильтрации через угольную массу мелкой фракции 0–25 мм.

*Шахта, уголь, очистные комбайны, фракционный состав, метановыделение, площадь поверхности, пылевая фракция*

DOI: 10.15372/FTPRPI20200516

В России и за рубежом развитие угольной промышленности связано с необходимостью повышения эффективности и безопасности очистных работ при подземной разработке мощных метаноносных угольных пластов [1]. Это особенно актуально для высокопроизводительных очистных забоев, в которых при отбойке угля шнековым комбайном формируется угольная масса с повышенным содержанием пылегазовых фракций, создающих угрозу взрыва [2, 3]. Например, на шахте “Костромовская” (ОАО “Белон”) добывается 67% угля класса “штыб” (0–6 мм) и “семечко” (6–13 мм). Аналогичный выход мелких фракций угля присутствует и на других шахтах Кузбасса, что влечет негативные последствия: снижение сортности и оптовой цены угля, повышение выхода пылевых фракций и возрастание дебита и концентрации метана в очистных забоях [2].

Наибольшую взрывоопасность при работе современных очистных комбайнов представляет увеличение выхода пылевых фракций в угольной массе. В прошлом веке доля пылевых фракций 0–1 мм в товарном угле на шахтах Кузбасса составляла 1–3%, а в 2010 г. на выходе из высокопроизводительных очистных забоев — 8%. При транспортировке угля ленточными и скребковыми конвейерами эта доля увеличивалась до 14–21%, а в штабелях транспортных

терминалов — до 21–22% [4]. Это связано с применением на шахтах мощного высокопроизводительного оборудования для добычи и транспортирования угля. Например, использование на шахте им. В. Д. Ялевского очистного комбайна Eickhoff SL-900 с суммарной мощностью электродвигателей 2550 кВт, производительностью до 5000 т/ч и скоростью подачи до 48 м/мин позволило в 2018 г. установить мировой рекорд: 1627 тыс. т угля в месяц [2]. Однако задача повышения сортности угля и снижения дебита и концентрации метана на выходе из этой лавы также актуальна, так как применение высокопроизводительных очистных комбайнов для добычи угля приводит к увеличению выхода мелких и пылевых фракций, опасных для здоровья, и повышению риска взрыва пылегазовоздушной смеси [4].

Для решения задачи обеспечения взрывобезопасности очистных работ при отработке мощных метаноносных угольных пластов в мире проводится большое количество исследований [4–11]. При изучении аэрогазодинамических явлений в дисперсной среде с использованием теории фильтрации выявлено влияние фракционного состава угля на метановыделение в очистных забоях [12–14], но приборы аэрогазового контроля, установленные в очистных забоях, не позволяют провести анализ влияния отдельных фракций угля на метановыделение.

Цель настоящей работы — выполнить более подробный теоретический анализ зависимости дебита метана от выхода отдельных фракций угля.

В таблице приведены данные ситового анализа эксплуатационной пробы угля массой 90.8 кг из очистного забоя пласта “Надбайкаимский” шахты “Заречная”. Наибольшая часть (63.9%) пробы представлена мелкодисперсным составом 0–25 мм, 36.1% угля — классом 25–50 мм, 8.2% угля — 50–100 мм и только 8.4% угля — крупным классом 100–150 мм (рис. 1а). Фактическое неравномерное распределение фракционного состава с преобладающим объемом мелкодисперсного угля с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0.96$ ) подчиняется логарифмическому закону  $y = -43.32 \ln(x) + 63.56$  ( $y$  — содержание частиц угля в пробе со средним диаметром  $x$ ).

Результаты ситового анализа угля из очистного забоя шахты “Заречная”

Класс, мм	Продукт	Выход классов, %
100–150	Уголь	3.8
	Порода	4.7
	Итого	8.5
50–100	Уголь	4.9
	Порода	3.3
	Итого	8.2
25–50	Уголь	14.9
	Порода	4.6
	Итого	19.5
0–25	Уголь	63.9
	Порода	0
	Итого	63.9
13–25	Уголь	22.4
6–13		18.4
3–6		8.3
0–3		14.8

Расчетная суммарная площадь поверхности частиц угля класса 0–25 мм также максимальна и составляет для данной пробы 18.56 м<sup>2</sup> (рис. 1б). Суммарная площадь поверхности частиц угля классов 25–50, 50–100 и 100–150 мм ниже: 3.50, 0.40 и 0.24 м<sup>2</sup> соответственно (рис. 1б).

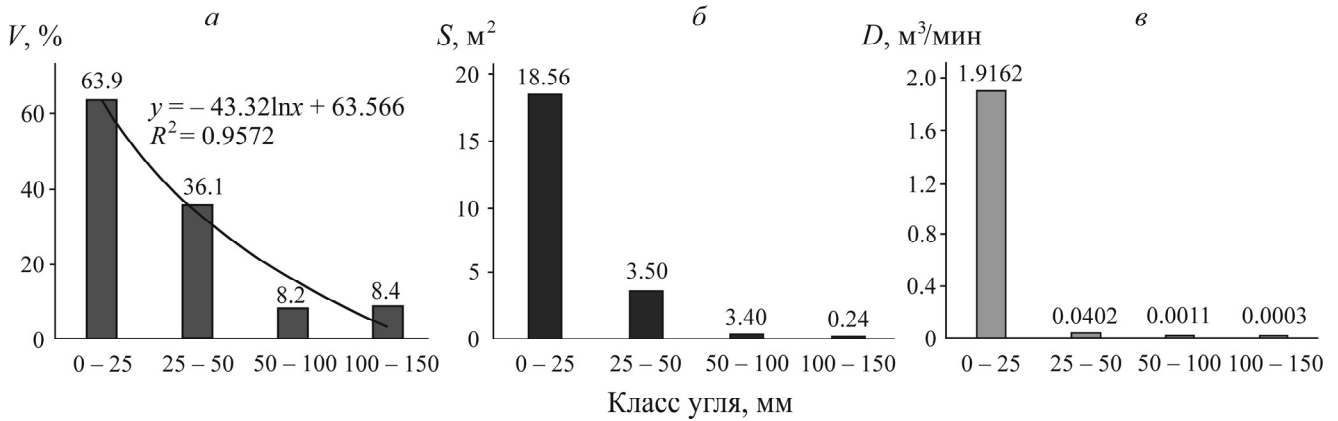


Рис. 1. Статистический анализ фракционного состава угля на шахте “Заречная”: а — выход классов; б — суммарная площадь поверхности частиц угля; в — дебит метана по классам фракций угля

Расчетный дебит метана из  $i$ -й фракции угля этой пробы определяется в соответствии с законом Дарси [12] с использованием зависимостей [13, 14] по формуле

$$Q_i = s_i(R_i)n_i(R_i, \beta_i)v_i(R_i), \quad (i = \overline{1, k}), \quad (1)$$

где  $s_i(R_i) = 4\pi R_i^2$  — площадь поверхности сферической частицы со средним радиусом  $R_i$   $i$ -й фракции, м<sup>2</sup>;  $n_i$  — количество частиц отбитого угля  $i$ -й фракции, поступающих в очистной забой в минуту, вычисляемое следующим образом:

$$n_i(R_i, \beta_i) = \frac{v_k m r \beta_i}{V_i} = \frac{3v_k m r \beta_i}{4\pi R_i^3}, \quad (2)$$

здесь  $v_k$  — скорость подачи очистного комбайна, м/мин;  $m$  — мощность пласта, м;  $r$  — ширина захвата комбайна, м;  $\beta_i$  — выход класса  $i$ -й фракции, ед.;  $k$  — количество фракций отбитого угля;  $V_i$  — средний объем сферической частицы  $i$ -й фракции, м<sup>3</sup>;  $v_i$  — средняя линейная скорость фильтрации метана через раздробленный уголь (м/мин), определяемая в соответствии с законом Дарси:

$$v_i(R_i) = \frac{60k_1(P - P_a)}{\mu R_i}, \quad (3)$$

$k_1$  — коэффициент проницаемости угля;  $P, P_a$  — поровое давление газа внутри частицы угля и атмосферное давление в забое, Па;  $\mu$  — абсолютная вязкость среды на пути фильтрации метана, Па·с.

Подставляя (2), (3) в (1), получим зависимость метановыделения из угля  $i$ -й фракции:

$$Q_i = s_i n_i v_i = \frac{180v_k m r k_1 (P - P_a)}{\mu} \frac{\beta_i}{R_i^2}, \quad (i = \overline{1, k}).$$

Максимальный дебит метана  $1.9 \text{ м}^3/\text{мин}$  соответствует классу фракций  $0-25 \text{ мм}$ , обладающему максимальной суммарной площадью  $18.56 \text{ м}^2$  поверхности частиц угля (рис. 1в). Суммарная площадь поверхности частиц угля всех фракций этой пробы составляет  $22.7 \text{ м}^2$ . Метановыделение из угля других классов фракций ниже:  $0.040$ ,  $0.011$  и  $0.0003 \text{ м}^3/\text{мин}$  соответственно для классов  $25-50$ ,  $50-100$  и  $100-150 \text{ мм}$ . Суммарный дебит метана из этой пробы по всем фракциям достигает  $1.95 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

На рис. 2 приведены расчетные гистограммы при равномерном распределении фракций угля этой же пробы шахты “Заречная”. Дебит метана снижается:  $0.750$ ,  $0.028$ ,  $0.0035$  и  $0.0008 \text{ м}^3/\text{мин}$  соответственно для классов  $0-25$ ,  $25-50$ ,  $50-100$  и  $100-150 \text{ мм}$ . Суммарная площадь поверхности частиц угля всех фракций при равномерном законе распределения уменьшается в 2 раза и составляет  $11.6 \text{ м}^2$ . Суммарный дебит метана по всем фракциям в данном случае снижается более чем в 2 раза и достигает  $0.78 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

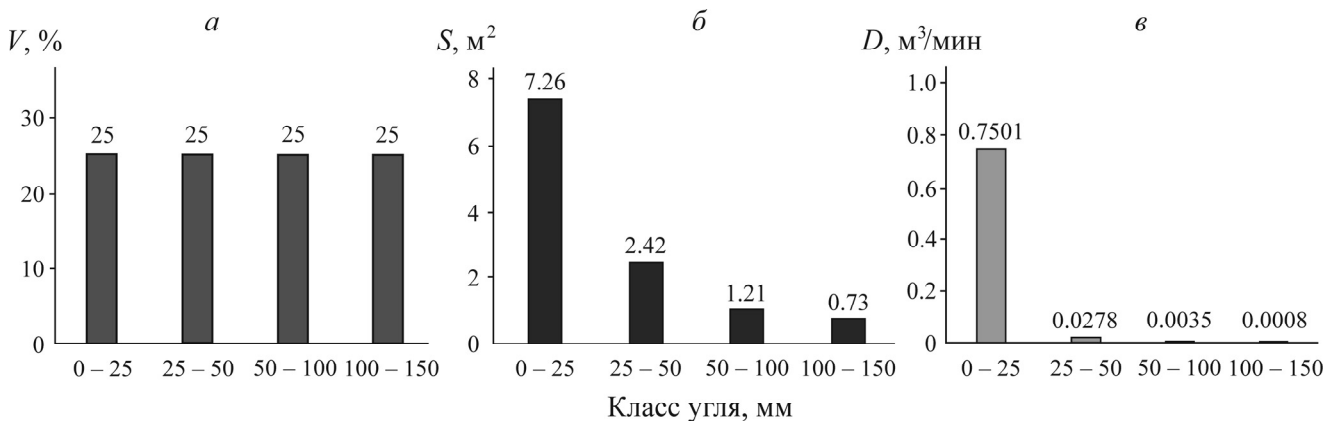


Рис. 2. Расчетное метановыделение  $D$  при равномерном распределении фракций угля на шахте “Заречная”: а — выход классов; б — суммарная площадь поверхности частиц угля; в — дебит метана по классам фракций угля

Для неравномерного распределения фракционного состава угля этой пробы с преимущественным выходом крупных классов суммарная площадь поверхности частиц угля всех фракций составляет  $5.3 \text{ м}^2$  и снижается в 4 раза по сравнению с фактической площадью частиц  $22.7 \text{ м}^2$  (рис. 3). Суммарный по всем фракциям дебит метана уменьшается более чем в 10 раз: с  $1.95$  до  $0.17 \text{ м}^3/\text{мин}$  (рис. 3в).

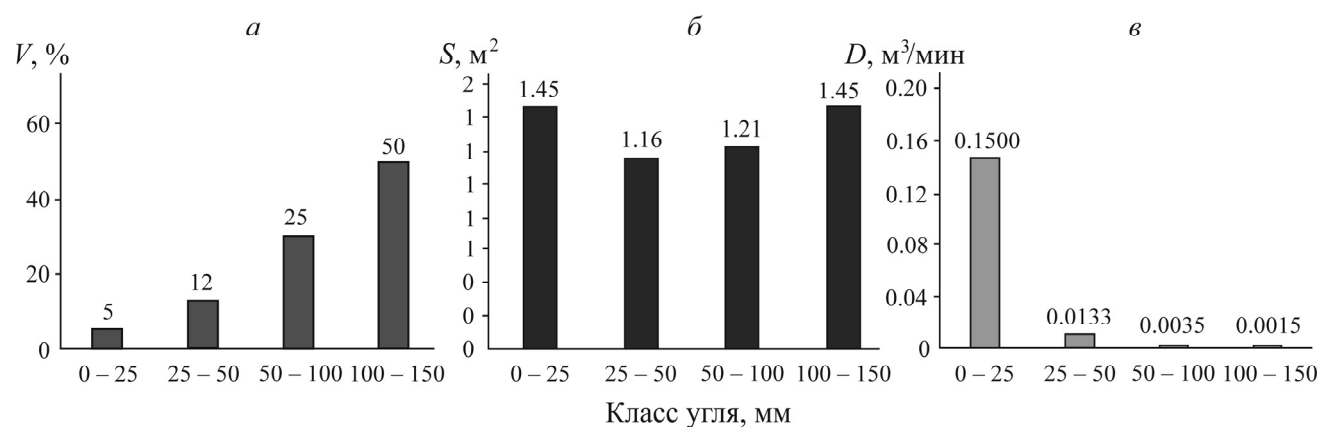


Рис. 3. Расчетное метановыделение  $D$  при неравномерном распределении фракций угля с преимущественным выходом крупных классов: а — выход классов; б — суммарная площадь поверхности частиц угля; в — дебит метана по классам фракций угля

Перспективный способ снижения метановыделения в очистном забое — изменение фракционного состава отбитого угля в сторону увеличения выхода более крупных фракций. Для существующих технологий выемки угля шнековыми комбайнами это достигается изменением кинематических параметров очистного комбайна (повышением скорости подачи и снижением частоты вращения шнеков), уменьшением числа тангенциальных резцов и неравномерным их распределением на лопастях шнека, изменением фракционного состава при дроблении угля в дробилках на сопряжении лавы с конвейерным штреком [14]. Необходимо разработать новые технологии подземной добычи угля, основанные на иных способах разрушения и транспортирования полезного ископаемого и позволяющие повысить сортность выдаваемого на поверхность угля.

### ВЫВОДЫ

Ситовый анализ пробы из очистного забоя шахты “Заречная” показал неравномерность распределения фракционного состава добываемого угля с увеличенным выходом мелких фракций. Максимальный дебит метана  $1.9 \text{ м}^3/\text{мин}$  (93 %) возникает в пробе угля класса 0–25 мм, метановыделение из угля других фракций ниже. При равномерном законе распределения фракционного состава угля этой пробы суммарный дебит метана снижается более чем в 2 раза ( $0.78 \text{ м}^3/\text{мин}$ ), а при неравномерном с преимущественным выходом крупных классов — в 10 раз ( $0.17 \text{ м}^3/\text{мин}$ ). Повышение эффективности и безопасности подземной добычи угля возможно путем изменения фракционного состава в сторону увеличения выхода крупных фракций. Происходит уменьшение пылеобразования и дебита метана в очистном забое. Улучшение сортности угля имеет также экономический эффект, так как приводит к росту рыночной цены.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Плакилкина А. С.** Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, бывшего СССР и России в период до 2030 г. — М.: ИНЭИ РАН, 2013. — 415 с.
2. **Казанин О. И., Сидоренко А. А., Мешков А. А.** Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 4–14.
3. **Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах”.** — 2017. — Вып. 40. — 198 с.
4. **Лебецки К. А., Романченко С. Б.** Пылевая взрывоопасность горного производства. Т. 6. Промышленная безопасность. — М.: Горн. дело, ООО “Кимерийский центр”, 2012. — 464 с.
5. **Вишняков М. В.** Разработка методики прогноза параметров метановыделения при неравномерном движении очистного забоя угольных шахт Кузбасса // Уголь Кузбасса. — 2011. — № 1. — С. 8–11.
6. **Stecula K., Brodny J., and Tutak M.** Informatics platform as a tool supporting research regarding the effectiveness of the mining machines’ work, CBU Int. Conf. on Innovations in Sci. and Educ., 2017. — P. 1215–1219.
7. **Brodny J., Alszer S., Krystek J., and Tutak M.** Availability analysis of selected mining machinery, Archives of Control Sci., 2017, Vol. 27, No. 2. — P. 197–209.
8. **Guan Z. and Gurgenci H.** Reliability improvement through smart longwalls project, Proc. of the 2004 CRC Min. Res. and Effective Techn. Transfer Conf., 2004.

9. **Yu Shou Liu.** Analysis of different techniques for respirable dust control in longwall operations — partikulary in reference to the Bull Seam, Southern Coal Field, Australia, 1992. — 86 p.
10. **McPherson M.** The Westray mine explosion, Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Mine Ventilation Congress, Krakow, EMAGE, 2001.
11. **Eckhoff R.** Dust explosions in the process industries, Oxford, Butterworth, Haniemann, 1991.
12. **Леонтьев А. В.** Основы теории фильтрации. — М.: МГУ, 2009. — 88 с.
13. **Ордин А. А., Тимошенко А. М.** О влиянии фракционного состава угля на метановыделение в очистном забое // ФТПРПИ. — 2016. — № 3. — С. 104–109.
14. **Ордин А. А., Мешков А. А., Волков М. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В.** Оптимизация параметров очистного забоя при подземной отработке мощного метаноносного угольного пласта на Соколовском месторождении Кузбасса // ФТПРПИ. — 2018. — № 4. — С. 79–89.

*Поступила в редакцию 08/VII 2020*

*После доработки 10/VII 2020*

*Принята к публикации 11/IX 2020*