

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.225.073.2:622.33

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, А. А. КАРПО^{2*}, З. Н. ЯКУБОВСКАЯ^{3*}

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3201-8435

^{3*}Каф. «Физика», Украинский государственный химико-технологический университет, просп. Гагарина, 8, Днипро, Украина, 49000, тел. +38 (056) 247 46 70, эл. почта zinaida.yakubovskaya@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9893-3479

СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ УНОСА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО РАСТВОРА

Цель. Данное исследование направлено на: 1) разработку раствора для покрытия угля в железнодорожных вагонах открытого типа или для покрытия угольных штабелей с целью минимизации уноса угольной пыли; 2) создание математической модели процесса подачи раствора на поверхность угля. **Методика.** Для решения поставленной задачи разработан специальный раствор, содержащий дешевые промышленные отходы и полупродукты химического производства. Проведен физический эксперимент по оценке интенсивности уноса угольной пыли при использовании созданного раствора. Построена математическая модель, основанная на применении уравнений движения идеальной жидкости и массопереноса. Разработанные численные модели составляют основу пакета прикладных программ для оценки качества обработки поверхности угля специальным раствором. **Результаты.** Представлены результаты проведенного физического эксперимента по оценке величины уноса угольной пыли с построенной модели угольного штабеля при обработке его поверхности специальным раствором и без обработки. Показано, что применение предложенного раствора для обработки поверхности угля позволяет существенно уменьшить унос угольной пыли. Это даст возможность снизить величину экономических потерь и уменьшить уровень пылевого загрязнения воздушной среды в рабочих зонах. Предложены результаты вычислительного эксперимента, проведенного на базе построенных численных моделей. **Научная новизна.** Авторами представлен новый раствор для обработки поверхности угля с целью минимизации уноса угольной пыли от угольного штабеля, позволяющий существенно уменьшить потери угля. Созданы численные модели, позволяющие учесть существенные факторы, влияющие на процесс рассеивания раствора в атмосфере при обработке угля в полувагонах. **Практическая значимость.** Предложенный в работе раствор имеет низкую цену, так как может быть создан на основе использования отходов промышленных производств. Применение данного раствора позволяет существенно уменьшить интенсивность уноса угольной пыли с поверхности угольного штабеля. Рассмотрены эффективные численные модели «diagnostic models» для экспресс-расчета процесса обработки раствором груза в полувагонах. Модели могут быть применены при разработке стратегии подачи раствора на поверхность груза при различных атмосферных условиях. Построенные численные модели могут служить для научного обоснования параметров процесса обработки груза при различной форме его поверхности в полувагоне.

Ключевые слова: унос угольной пыли; штабель угля; химическая обработка угля; численное моделирование; физический эксперимент

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Введение

В Украине происходит интенсивная добыча угля, что обусловлено большими его запасами на территории страны. При добыче угля, его транспортировке возникает комплекс проблем [1, 2, 5, 7–9, 14, 16–18], где можно выделить две, наиболее острые. Первая проблема – это загрязнение угольной пылью прилегающей территории во время перевозки угля в полувагонах [1, 2, 15, 18] (рис.1).

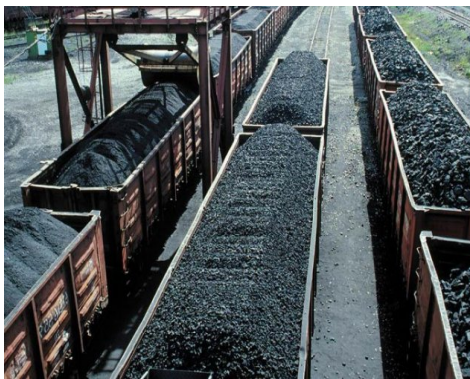


Рис. 1. Транспортировка угля

Fig. 1. Transportation of coal

Вторая проблема – загрязнение рабочих зон возле штабелей угля (рис. 2), которые находятся на территории шахт, коксохимических предприятий и других объектов.



Рис. 2. Штабели угля на территории промышленного объекта

Fig. 2. Coal piles in the territory of the Industrial object

Унос угольной пыли от поверхности штабелей создает интенсивные зоны загрязнения возле них. В этих зонах находятся работники предприятий. Таким образом, возникает угроза здоровью производственного персонала. В этой связи проблема загрязнения угольной

пылью воздушной среды на производстве остается в числе особо актуальных проблем.

Анализ литературных источников

В последнее время значительно повысился интерес к разработке методов защиты от пылевого загрязнения рабочих зон на прилегающей территории и на территории предприятий, где используют уголь [1, 2, 4, 5, 7, 8, 15, 17]. Существуют различные методы решения этой задачи. Например, могут использоваться специальные крышки, которые устанавливаются на полувагоны [15]. Такие крышки позволяют существенно уменьшить уровень загрязнения прилегающей территории, но являются очень дорогими. Наиболее часто для уменьшения Уноса угольной пыли используют смачивание водой поверхности транспортируемого груза (рис. 3).



Рис. 3. Подача воды на уголь в полувагонах

Fig. 3. Water supply to coal in gondola cars

Анализ литературных источников показал, что одним из эффективных методов защиты окружающей среды от загрязнения угольной пылью является применение специальных растворов, которыми обрабатывается поверхность угля [1]. Однако, не редко эти растворы являются дорогостоящие, поэтому возникает актуальная задача по созданию дешевых растворов, которые бы надежно защищали окружающую среду от попаданий угольной пыли.

Для уменьшения пылевого загрязнения рабочих зон возле штабелей угля применяют защитные экраны, которые достаточно часто бывают пористыми. Наиболее простым методом пылеподавления является подача воды с помощью водяных пушек на поверхность угольного штабеля (рис. 4).



Рис. 4. Применение водяных пушек для подачи воды на поверхность угольного штабеля

Fig. 4. The use of water cannons to supply water to the surface of the coal pile

Каждый из применяемых методов имеет свои достоинства и свои недостатки. Тем не менее, актуальной задачей остается разработка экономичных и эффективных методов уменьшения Уноса угольной пыли из полувагонов или от штабелей угля.

Цель

Целью данной работы является разработка специального раствора, позволяющего уменьшить Унос пыли от штабеля угля или от поверхности сыпучего груза в полувагоне.

Кроме этого ставится задача по разработке математической модели процесса распыливания раствора над поверхностью угля в железнодорожных вагонах, которые поступают на место обработки груза [7] (рис. 5).

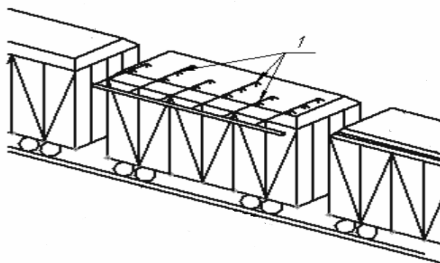


Рис. 5. Пункт подачи раствора на поверхность угля в полувагонах: 1 – форсунки [7]

Fig. 5. Point of solution feeding to the surface of coal in gondola cars: 1 – the injectors [7]

Методика исследований

Для уменьшения процесса уноса угольной пыли при перевозке груза железнодорожным транспортом или при уносе от угольного штабеля предлагается использовать специальный раствор, содержащий дешевые промышленные отходы и полупродукты химического производств, а именно: отработанное трансформаторное масло, дибутилфталат, бензол, эмалит. Такие отходы имеются в достаточном количестве на коксохимических предприятиях.

Разработанный раствор представляет собой вязкую жидкость темно коричневого цвета. Подачу раствора на поверхность груза в полувагоне или на штабель угля предлагается осуществлять с помощью форсунок.

Для оценки степени уменьшения пылевыведения от поверхности угля, при применении раствора, был проведен физический эксперимент. В лабораторных условиях была изготовлена модель угольного штабеля в масштабе 1:10 (рис. 6).



Рис. 6. Модель угольного штабеля

Fig. 6. Model of coal pile

При проведении эксперимента на модель штабеля равномерно подавался предложенный раствор с образованием на поверхности угля пленки, толщиной 2–5 мм. С помощью воздуходувки создавался воздушный поток, направленный на модель угольного штабеля. Поток подавался в течение 10 минут. После окончания продувки происходил сбор вынесенной угольной пыли и ее взвешивание. Опыты проводились как для обработанного раствором штабеля, так и для штабеля, не обработанного раствором.

Результаты обработки некоторых экспериментальных данных представлены в табл. 1.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Здесь показана интенсивность пылевыведения от поверхности угольного штабеля при использовании предложенного раствора и без обработки угольного штабеля раствором.

Как видно из табл. 1, применение предложенного раствора дает возможность существенно уменьшить интенсивность Уноса угольной пыли от поверхности штабеля. Очевидно, что данный раствор можно подавать на поверхность угля в полувагонах с целью уменьшения интенсивности пылевыведения от поверхности транспортируемого груза.

Таблица 1

Интенсивность эмиссии угольной пыли

Table 1

Intensity of coal dust emission

Скорость воздушно-го потока	Интенсивность эмиссии угольной пыли (без обработки поверхности угля раствором)	Интенсивность эмиссии угольной пыли (при обработке раствором поверхности угля)
2,6 м/с	$2,6 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$	$0,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$
5,3 м/с	$11,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$	$0,5 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$
7,8 м/с	$13,5 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$	$0,8 \cdot 10^{-4} \text{ г/}(\text{см}^2 \text{ с})$

Математическая модель

На втором этапе исследований была разработана математическая модель для расчета процесса распыления раствора над поверхностью угля в полувагонах (рис. 5). Решение данной задачи осуществляется в два этапа. На первом этапе рассчитывается поле скорости воздушного потока на пункте обработки груза с учетом скорости ветра, турбулентной диффузии и интенсивности подачи раствора. На втором этапе осуществляется решение задачи массопереноса – рассеивания капель раствора над поверхностью груза в полувагонах.

Моделирующим уравнением на первом этапе решения задачи является уравнение для потенциала скорости (уравнение движения идеального безвихревого потока) [12, 13]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где φ – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушного потока связаны с величиной потенциала скорости такими соотношениями:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (2)$$

Постановка краевых условий для уравнения (1) рассматривается в работах [12, 13].

Моделирующим уравнением на втором этапе решения задачи является уравнение массопереноса [2, 3, 6, 10, 12, 13]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x-x_i(t)) \delta(y-y_i(t)), \quad (3)$$

где C – концентрация раствора; u, v – компоненты вектора скорости воздушного потока; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность подачи раствора из форсунки; $\delta(x-x_i) \delta(y-y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника эмиссии раствора (форсунки); w_g – скорость гравитационного оседания капель раствора; t – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [10, 12].

Численное интегрирование моделирующих уравнений выполняется на прямоугольной разностной сетке. При формировании расчетной области используется метод маркирования [12]. С помощью маркеров задается положение железнодорожного вагона, положение форсунок.

Численное решение. Для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости используется метод Либмана [11]. Для численного интегрирования уравнения массопереноса используется неявная разностная схема расщепления [12, 13]. На каждом шаге расщепления неизвестное значение концентрации пыли находится

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

по методу бегущего счета. Это позволяет получить простой алгоритм для расчета концентрационного поля раствора на пункте обработки груза.

Результаты

Выполнена программная реализация разработанных численных моделей. На рис. 7 показаны результаты расчета концентрационного поля раствора на пункте обработки груза, при подаче раствора из форсунки. В расчетной области находятся два полувагона, и подача раствора происходит при наличии ветрового потока.

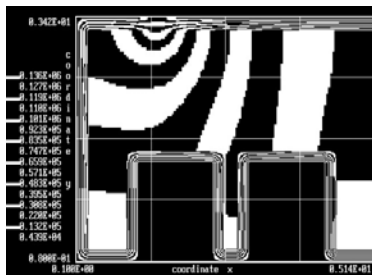


Рис. 7. Концентрационное поле раствора при подаче его на полувагоны с грузом

Fig. 7. The concentration field of the solution when feeding it to the gondola car with a load

Как видно из рис. 7 распределение раствора в расчетной области – неравномерное, что вызвано сносом капель раствора ветровым потоком. Это значит, что распределение раствора на поверхности груза также будет неравномерным. Таким образом, подача раствора на обрабатываемый объект должна корректироваться в зависимости от конкретных метеоусловий.

Научная новизна и практическая значимость

Предложен специальный раствор, позволяющий уменьшить интенсивность пылевыведения от поверхности угольного штабеля. Созданы численные модели, позволяющие рассчитывать процесс рассеивания раствора на пункте обработки груза при подаче раствора из форсунки. Модели дают возможность учесть влияние скорости ветра, турбулентной диффузии, интенсивности подачи раствора на процесс формирования его концентрационного поля.

Применение предложенного раствора позволит уменьшить потери угля и уровень загрязнения рабочих зон вблизи штабелей или рядом с транспортными магистралями, где осуществляется перевозка угля.

Выводы

Рассмотрен эффективный метод уменьшения интенсивности эмиссии угольной пыли от поверхности штабеля путем обработки его специальным раствором. Состав предложенного раствора основан на использовании промышленных отходов, поэтому рассмотренный в работе подход можно рассматривать как вариант утилизации промышленных отходов.

Дальнейшее развитие данного исследования следует проводить в области создания математических моделей процесса обработки штабелей угля раствором.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев, Н. Н. Моделирование процесса сноса угольного концентрата из полувагонов / Н. Н. Беляев, А. А. Карпо // Науковий вісник буд-ва : зб. наук. пр. / Харк. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2016. – №1 (83). – С. 196–199.
2. Беляев, Н. Н. Проблема уноса угольной пыли / Н. Н. Беляев, М. О. Оладипо // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 6 (66). – С. 17–24. doi: 10.15802/stp2016/90450.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
4. Бойченко, С. В. Екологічна освіта – основа сталого розвитку суспільства: проблеми і перспективи вищої школи : монографія / С. В. Бойченко, Т. В. Сасенко. – Київ : Ун-т «Україна», 2013. – 502 с.
5. Бондарчук, О. М. Підвищення екологічної безпеки територій впливу залізничних гірничо-збагачувальних комбінатів на основі зменшення пиловиділення шламосховищ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 26.05.01 / Бондарчук Ольга Михайлівна ; Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.
6. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруцкий. – Киев : Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

7. Воробйов, Є. О. Запобігання забруднення повітря пилом під час транспортування вугілля / Є. О. Воробйов, М. О. Ніколенко, І. О. Худякова // Вісті АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». – Горлівка, 2005. – № 1. – С. 34–38.
8. Домнічев, М. В. Розробка технології знепилення хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу : автореф. дис. ... канд. техн. : 26.05.01 / Домнічев Микола Володимирович ; Криворізь. техн. ун-т. – Кривий Ріг, 2010. – 20 с.
9. Колесник, В. Е. Математическое моделирование процесса рассеивания промышленной пыли в атмосфере / В. Е. Колесник, Л. А. Головина, В. В. Богуцкая // Зб. наук. пр. / Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ : РВК НГУ, 2006. – № 26, т. 2. – С. 120–130.
10. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
11. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – Москва : Мир, 1980. – 616 с.
12. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Киев : Наук. думка, 1997. – 368 с.
13. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // NATO Science for Peace and Security. Series C: Environmental Security. – 2012. – P. 87–91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.
14. Coal dust emissions: From environmental control to risk minimization by underground transport. An applicative case-study / B. Fabiano, F. Curro, A. P. Reverberi, E. Palazzi // Process Safety and Environmental Protection. – 2014. – Vol. 92. – Iss. 2. – P. 150–159. doi: 10.1016/j.psep.2013.01.002.
15. Ferreira, A. D. Full-scale measurements for evaluation of coal dust release from train wagons with two different shelter covers / A. D. Ferreira, D. X. Viegas, A. C. M. Sousa // J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2003. – Vol. 91. – Iss. 10. – P. 1271–1283. doi: 10.1016/S0167-6105(03)00077-1.
16. Full cost accounting for the life cycle of coal / P. R. Epstein, J. J. Buonocore, K. Eckerle [et al.] // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2011. – Vol. 1219. – Iss. 1. – P. 73–98. doi: 10.1111/j.1749-6632.2010.05890.x.
17. Initial Report on the Independent Review of Rail Coal Dust Emissions Management Practices in the NSW Coal Chain / Chief Scientist & Engineer. – Sydney NSW, Australia, 2015. – 75 p.
18. Szabo, M. F. Environmental assessment of coal transportation / M. F. Szabo. – Cincinnati, Ohio : Environmental Protection Agency, 1978. – 142 p.

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, А. О. КАРПО^{2*}, З. М. ЯКУБОВСЬКА^{3*}

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3201-8435

^{3*}Каф. «Фізика», Український державний хіміко-технологічний університет, просп. Гагаріна, 8, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 247 46 70, ел. пошта zinaida.yakubowskaya@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9893-3479

ЗНИЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИНЕСЕННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО РОЗЧИНУ

Мета. Дане дослідження спрямоване на: 1) розробку розчину для покриття вугілля в залізничних вагонах відкритого типу або для покриття вугільних штабелів із метою мінімізації виносу вугільного пилу; 2) створення математичної моделі процесу подачі розчину на поверхню вугілля. **Методика.** Для вирішення поставленої задачі розроблений спеціальний розчин, що містить дешеві промислові відходи та напівпродукти хімічного виробництва. Проведено фізичний експеримент з оцінки інтенсивності виносу вугільного пилу при використанні розробленого розчину. Побудовано математичну модель, засновану на застосуванні рівнянь руху ідеальної рідини та масопереносу. Розроблені числові моделі складають основу створеного пакета прикладних програм для оцінки якості обробки поверхні вугілля спеціальним розчином.

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Результати. Представлені результати проведеного фізичного експерименту з оцінки величини виносу вугільного пилу від побудованої моделі вугільного штабеля при обробці його поверхні спеціальним розчином і без обробки. Показано, що застосування запропонованого розчину для обробки поверхні вугілля дозволяє суттєво зменшити винос вугільного пилу. Це дозволяє знизити величину економічних втрат та зменшити рівень пилового забруднення повітряного середовища в робочих зонах. Запропоновані результати обчислювального експерименту, проведеного на базі побудованих чисельних моделей.

Наукова новизна. Авторами представлений новий розчин для обробки поверхні вугілля з метою мінімізації виносу вугільного пилу від вугільного штабеля, що дозволяє істотно зменшити втрати вугілля. Створено числові моделі, що дозволяють врахувати істотні фактори, що впливають на процес розсіювання розчину в атмосфері при обробці вугілля в напіввагонах.

Практична значимість. Запропонований в роботі розчин має низьку ціну, так як може бути створений на основі використання відходів промислових виробництв. Застосування даного розчину дозволяє істотно зменшити інтенсивність виносу вугільного пилу від поверхні вугільного штабеля. Розглянуто ефективні числові моделі «diagnostic models» для експрес-розрахунку процесу обробки розчином вантажу в піввагонах. Моделі можуть бути застосовані при розробці стратегії подачі розчину на поверхню вантажу при різних атмосферних умовах. Побудовані числові моделі можуть служити для наукового обґрунтування параметрів процесу обробки вантажу при різній формі його поверхні в напіввагоні.

Ключові слова: винос вугільного пилу; штабель вугілля; хімічна обробка вугілля; чисельне моделювання; фізичний експеримент

M. M. BILIAIEV^{1*}, A. A. KARPO^{2*}, Z. M. YAKUBOVSKA^{3*}

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail gidravlika2013@mail.ru, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID 0000-0003-3201-8435

^{3*}Dep. «Physics», Ukrainian State University of Chemical Technology, Gagarin Avenue, 8, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 247 46 70, e-mail zinaida.yakubovskaya@yandex.ua, ORCID 0000-0002-9893-3479

REDUCING THE INTENSITY OF TAKEAWAY PULVERIZED COAL BY USING SPECIAL SOLUTION

Purpose. The article is aimed: 1) to develop the coal coating solution in open railway cars or to cover coal piles to minimize the coal dust losses; 2) creating a mathematical model of the process of the solution feeding to the surface of coal. **Methodology.** To solve this problem, it was developed a special solution containing cheap industrial wastes and semiproducts of chemical industries. It was conducted a physical experiment to assess the intensity of coal dust loss when using the developed solution. A mathematical model based on the use of the motion equations of the ideal fluid and mass transfer was developed. The developed numerical models are the basis of the application program package created for assessing the quality of processing the coal surface by special solution. **Findings.** The results of the conducted physical experiment to assess the magnitude of the coal dust loss on the model of the coal pile in the processing of its surface with a special solution and without processing are presented in the article. It is shown that the application of the proposed solution for surface processing of coal can significantly reduce the coal dust loss. This makes it possible to reduce the amount of economic losses and reduce the level of air dust pollution in work areas. The results of computational experiments carried out on the basis of the constructed numerical models are presented in the article. **Originality.** Authors proposed a new solution for the coal surface processing in order to minimize the removal of pulverized coal from the coal pile, which substantially reduces the coal losses. There were created numerical models to take into account the relevant factors influencing the solution dispersion process in the atmosphere from coal processing in gondola cars. **Practical value.** Solution, proposed in the article has a low price, because it can be created on the basis of industrial production wastes. Application of this solution can significantly reduce the intensity of coal dust losses from the surface of the coal pile. There were considered effective numerical models «diagnostic models» for rapid calculation of cargo processing in gondola cars with the solution. The models may be used in developing strategies of solution feeding to the cargo surface at various atmospheric conditions. The con-

ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

structured numerical models can be used for scientific substantiation of the parameters of cargo processing with various forms of its surfaces in the gondola car.

Keywords: coal dust loss; coal pile; chemical processing of coal; numerical modeling; physical experiment

REFERENCES

1. Biliaiev, M. M., & Karpo, A. O. (2016). Modeling of dust dispersion from railway wagon. *Scientific Bulletin of Building*, 1(83), 196-199.
2. Biliaiev, M. M., & Oladipo, M. O. (2016). Coal dust emission problem. *Science and Transport Progress*, 6(66), 17-24. doi: 10.15802/stp2016/90450
3. Berlyand, M. Y. (1985). *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
4. Boichenko, S. V., & Saienko, T. V. (2013). *Ekolohichna osvita – osnova staloho rozvytku suspilstva: problemy i perspektyvy vyshchoi shkoly*. Kyiv: University «Ukraine».
5. Bondarchuk, O. M. (2010). *Increasing ecological safety of the area influenced by iron ore dressing plants on the basis of reducing the dust level of slime pits*. (PhD thesis). Available from National Mining University, Dnipropetrovsk.
6. Bruyatskiy, Y. V. (2000). *Teoriya atmosfernoй diffuzii radioaktivnykh vybrosov*. Kyiv: Institute of Hydromechanics of National Academy of Sciences of Ukraine.
7. Vorobyov, Y. O., Nikolenko, M. O., & Khudyakova, I. O. (2005). Zapobihannia zabrudnennia povitria pylom pid chas transportuvannia vuhillia. *Visti Avtomobilno-dorozhnoho instytutu*, 1, 34-38.
8. Domnichev, M. V. (2010). *The technology development for the tailing ponds dust suppressing for the mining and beneficiation enterprises Krivbass*. (PhD thesis). Available from Kryvyi Rih Technical University, Kryvyi Rih.
9. Kolesnik, V. E., Golovina, L. A., & Boguckaya, V. V. (2006). Matematicheskoye modelirovaniye protsessa rasseivaniya promyshlennoy pyli v atmosfere. *Collection of Research Papers of National Mining University*, 26(2), 120-130.
10. Marchuk, G. I. (1982). *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy*. Moscow: Nauka.
11. Rouch, P. (1980). *Vychislitel'naya gidrodinamika*. Moscow: Mir.
12. Zgurovskiy, M. Z., Skopetskiy, V. V., Khrushch, V. K., & Biliaiev, M. M. (1997). *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede*. Kyiv: Naukova dumka.
13. Biliaiev, M. M., & Kharytonov, M. M. (2011). Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *NATO Science for Peace and Security. Series C: Environmental Security*, 87-91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15
14. Fabiano, B., Currò, F., Reverberi, A. P., & Palazzi, E. (2014). Coal dust emissions: From environmental control to risk minimization by underground transport. An applicative case-study. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(2), 150-159. doi: 10.1016/j.psep.2013.01.002
15. Ferreira, A. D., Viegas, D. X., & Sousa, A. C. M. (2003). Full-scale measurements for evaluation of coal dust release from train wagons with two different shelter covers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(10), 1271-1283. doi: 10.1016/S0167-6105(03)00077-1
16. Epstein, P. R., Buonocore, J. J., Eckerle, K., Hendryx, M., Stout III, B. M., Heinberg, R., & Glustrom, L. (2011). Full cost accounting for the life cycle of coal. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219(1), 73-98. doi: 10.1111/j.1749-6632.2010.05890.x
17. Chief Scientist & Engineer. (2015). *Initial Report on the Independent Review of Rail Coal Dust Emissions Management Practices in the NSW Coal Chain*. Sydney NSW, Australia.
18. Szabo, M. F. (1978). *Environmental assessment of coal transportation*. Cincinnati, Ohio: Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Industrial Environmental Research Laboratory.

Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. С. А. Пичуговым (Украина); д.т.н., проф. С. З. Полищуком (Украина)

Поступила в редколлегию: 07.12.2016

Принята к печати: 02.03.2017