

УДК 519.6

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УНОСА ПЫЛИ ОТ УГОЛЬНОГО ШТАБЕЛЯ

БЕЛЯЕВ Н. Н.<sup>1</sup>, *д.т.н, проф.*,  
КАРПО А. А.<sup>2\*</sup>, *соискатель*,  
ЯЛОВОЙ А. С.<sup>3</sup>, *студ.*,

<sup>1</sup> Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-3201-8435

<sup>3</sup> Кафедра «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: anton.yalovoi2017@yandex.ua, ORCID ID 0000-0003-4062-0768

**Аннотация.** *Цель* Проведение физического эксперимента по исследованию интенсивности процесса выноса угольной пыли от модели штабеля угля. *Методика.* Для проведения исследования создана модель угольного штабеля. Поток воздуха, действующий на модель штабеля, создавался воздуходувкой. При проведении физического эксперимента в лабораторных условиях варьировалась скорость воздушного потока, обтекающего модель угольного штабеля. При проведении физического эксперимента определялась масса вынесенной пыли и осуществлялся пересчет полученных данных, с целью определения количества угольной пыли, сдуваемой с единичной поверхности. Осуществлялась фотосъемка формирующихся зон загрязнения возле модели угольного штабеля. *Результаты.* Определена интенсивность выноса угольной пыли от модели штабеля при различной скорости воздушного потока. Получены данные, позволяющие оценивать интенсивность эмиссии угольной пыли при прогнозных оценках уровня загрязнения рабочих зон на промышленной площадке. *Научная новизна.* Опытным путем определена интенсивность выноса угольной пыли от модели штабеля угля. *Практическая значимость.* Результаты проведенных лабораторных исследований могут быть применены для экспертной оценки уровня загрязнения рабочих зон возле штабелей угля. Данные проведенных экспериментов могут быть использованы как входные данные прогнозных моделей ОНД-86, модель Гаусса.

*Ключевые слова:* угольный штабель; загрязнение рабочих зон; физический эксперимент

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИНЕСЕННЯ ПИЛУ ВІД ВУГІЛЬНОГО ШТАБЕЛЯ

БІЛЯЄВ М. М.<sup>1</sup>, *д.т.н, проф.*,  
КАРПО А. О.<sup>2\*</sup>, *здобувач*,  
ЯЛОВИЙ А. С.<sup>3</sup>, *студ.*,

<sup>1</sup> Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-3201-8435

<sup>3</sup> Кафедра «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(056) 373-15-09, e-mail: anton.yalovoi2017@yandex.ua, ORCID ID 0000-0003-4062-0768

**Анотація.** *Мета.* Проведення фізичного експерименту по дослідженню інтенсивності процесу виносу вугільного пилу від моделі штабеля вугілля. *Методика.* Для проведення дослідження створена модель вугільного штабеля. Потік повітря, що діє на модель штабеля, створювався повітрорудкою. При проведенні фізичного експерименту в лабораторних умовах варіювалася швидкість повітряного потоку, оточуючого модель вугільного штабеля. При проведенні фізичного експерименту визначалася маса винесеної пилу і здійснювався перерахунок отриманих даних, з метою визначення кількості вугільного пилу, яка здувається з одиничної поверхні. Здійснювалася фотозйомка зон забруднення, що формуються, біля моделі вугільного штабеля. *Результати.* Визначено інтенсивність виносу вугільного пилу від моделі штабеля при різній швидкості повітряного потоку. Отримано дані, що дозволяють оцінювати інтенсивність емісії вугільного пилу при прогнозних оцінках рівня забруднення робочих зон на промисловому майданчику. *Наукова новизна.* Дослідним шляхом

визначено інтенсивність виносу вугільного пилу від моделі штабеля вугілля. *Практична значимість.* Результати проведених лабораторних досліджень можуть бути застосовані для експертної оцінки рівня забруднення робочих зон біля штабелів вугілля. Дані проведених експериментів можуть бути використані як вхідні дані прогнозних моделей ОНД-86, модель Гаусса.

*Ключові слова:* вугільний штабель; забруднення робочих зон; фізичний експеримент

## EXPERIMENTAL STUDY OF DUST REMOVAL FROM THE COAL PILE

BILIAIEV M. M.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KARPO A. A.<sup>2\*</sup>, *postgraduate*,  
YALOVOY A. S.<sup>3\*</sup>, *stud.*,

<sup>1</sup> Department of «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryan St., Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38(056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Department of «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryan St., Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38(056) 373-15-09, e-mail: alichka-88.karpo@yandex.ru, ORCID ID 0000-0003-3201-8435

<sup>3</sup> Department of «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2, Lazaryan St., Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38(056) 373-15-09, e-mail: anton.yalovoi2017@yandex.ua, ORCID ID 0000-0003-4062-0768

**Abstract. Purpose.** Conducting a physical experiment to study the intensity of the process of removing coal dust from the coal pile model. **Methodology.** For the study, a model of a coal pile was created. The air flow acting on the pile model was created by a blower. During the physical experiment under laboratory conditions, the speed of air flow around the coal pile model varied. During the physical experiment, the mass of the extracted dust was determined and the data was recomputed in order to determine the amount of coal dust blown off the unit surface. Photographing of the formed contamination zones near the coal pile model was carried out. **Findings.** The intensity of the removal of coal dust from the pile model at different airflow velocities is determined. Data have been obtained that make it possible to estimate the intensity of coal dust emission when predicting the level of contamination of working areas at an industrial site. **Originality.** The intensity of the removal of coal dust from the model of a pile of coal was determined experimentally. **Practical value.** The results of the laboratory tests can be applied for an expert assessment of the level of contamination of working areas near the piles of coal. The data of the conducted experiments can be used as input data of the forecast models of the OND-86, the Gauss model.

*Keywords:* coal stack; contamination of work areas; physical experiment

### Введение

В Украине происходит интенсивная добыча угля. На промышленных объектах, где используется уголь, его обычно складировать в виде штабелей (рис.1). При воздействии ветрового потока на поверхность угольного штабеля происходит отрыв пылевых частиц и вынос их в рабочие зоны. Влияние угольного штабеля на такое загрязнение рабочих зон может «простираться» на десятки метров. Поэтому, возникает важная задача по оценке интенсивности эмиссии угольной пыли от поверхности штабеля и прогноз загрязнения рабочих зон.

Анализ литературных источников по проблеме загрязнения рабочих зон угольной пылью показывает, что, как правило, рассматриваются два вида задач. Первая задача – это прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в рабочих зонах при уносе угольной пыли [2,3,11-14]. Вторая задача – разработка методов, направленных на минимизацию

загрязнения рабочих зон [3,6]. Для решения обеих задач используется как метод физического моделирования, так и метод математического моделирования [1,4,5,7,9,10]. Следует подчеркнуть, что при применении метода математического моделирования для прогноза уровня загрязнения рабочих зон угольной пылью необходимо знать интенсивность эмиссии этой пыли. Поэтому актуальной задачей является определение количества угольной пыли, уносимой с поверхности штабелей при различных метеороусловиях.

### Цель

Целью данной работы является проведение лабораторного эксперимента по исследованию интенсивности виноса пыли от модели угольного штабеля.



Рис. 1. Штабеля угля /  
Coal stockpiles

**Методика**

Для исследования интенсивности выноса угольной пыли от штабеля угля был проведен физический эксперимент в лабораторных условиях на кафедре гидравлики и водоснабжения Днепропетровского национального университета имени академика В. Лазаряна. Модель угольного штабеля была изготовлена в масштабе 1:100 (рис.2).

Поток воздуха, действующий на модель угольного штабеля, создавался воздуходувкой. При проведении исследований рассчитывалось число Рейнольдса и продувка проводилась при различной скорости воздушного потока. После каждой продувки собиралась угольная пыль, которая выпала возле модели штабеля, а также проводилась фотосъемка, сформировавшейся зоны загрязнения возле модели. Данные этой фотосъемки позволяют оценить закономерность формирования области загрязнения в рабочих зонах, расположенных вблизи штабеля угля. После каждой продувки проводилось взвешивание собранной пыли. Эти данные далее пересчитывались с учетом площади поверхности модели, времени продувки для получения информации об интенсивности эмиссии пыли от единичной площади штабеля.



Рис. 2. Модель угольного штабеля /  
Coal stockpile model

**Результаты**

На рис.3 показана зона загрязнения, сформировавшаяся возле модели угольного штабеля.



Рис. 3. Зона загрязнения возле модели угольного штабеля /

*Contamination area near coal stockpile model*

Как видно из представленного рисунка, возле модели угольного штабеля можно выделить ряд характерных подзон загрязнения. Первая подзона – это область загрязнения за моделью штабеля угля. Данная подзона по своей форме напоминает «диффузор» и отличается минимальным загрязнением. Данный эффект объясняется тем, что сам штабель представляет собой «препятствие» на пути воздушного потока и локально изменяет его поле скорости, а значит и процесс рассеивания угольной пыли. Другая подзона – это область загрязнения, формирующаяся вблизи торцов модели. Также видно, что формируется узкая подзона загрязнения на наветренной стороне штабеля.

В табл. 1 представлены результаты расчета интенсивности выноса угольной пыли от единичной поверхности модели штабеля. Эти данные получены путем пересчета полученных данных эксперимента.

Таблица 1

**Интенсивность выноса угольной пыли от модели штабеля**

Скорость потока	Интенсивность выноса пыли
4.1 м/ с	1.7 мг/ (м <sup>2</sup> с)
6.2 м/ с	4.5 мг/ (м <sup>2</sup> с)
7.5 м/ с	6.4 мг/ (м <sup>2</sup> с)

Как видно из табл.1 увеличение скорости воздушного потока приводит к увеличению интенсивности выноса угольной пыли от штабеля.

Полученные данные могут быть использованы при исследовании закономерностей загрязнения рабочих зон возле штабелей угля путем применения математических моделей. Например, ниже представлены результаты расчета загрязнения рабочей зоны возле реального угольного штабеля при использовании полученных выше данных об интенсивности эмиссии пыли (рис.4, уровень z=10 м).

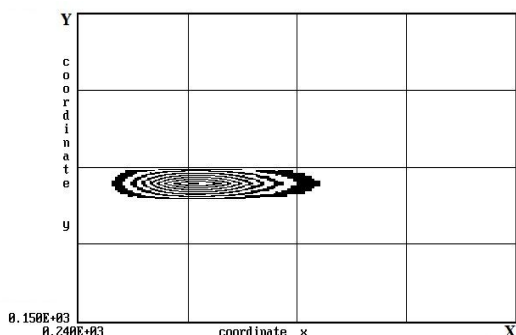


Рис. 4. Зона загрязнения возле угольного штабеля (расчет) /

#### *Contamination area near coal stockpile*

Расчет выполнен на базе модели Гаусса [8], класс стабильности атмосферы – D. Программная реализация модели Гаусса выполнена на алгоритмическом языке FORTRAN.

В заключение отметим, что расчет с помощью разработанной программы, реализующей модель Гаусса, требует 0,5 с компьютерного времени, т.е. предложенную модель можно рекомендовать для экспресс прогноза уровня загрязнения рабочих зон возле штабелей угля.

#### **Научная новизна и практическая значимость**

Проведены лабораторные исследования по оценке интенсивности выноса пыли от модели штабеля угля.

На основе проведенных экспериментов получены данные, позволяющие оценить интенсивность эмиссии угольной пыли от единичной площади штабеля при различных значениях скорости воздушного потока.

Полученные результаты дают возможность оценивать интенсивность загрязнения рабочих зон возле штабелей угля при различных метеорологических условиях и при использовании тех или иных расчетных методик, например, методики ОНД-86 или модели Гаусса.

#### **Выводы**

Представлены результаты физического эксперимента по исследованию интенсивности выноса пыли от угольного штабеля. Эксперимент проведен в лабораторных условиях и позволил оценить среднюю эмиссию пыли от единицы площади поверхности угольного штабеля. Полученные данные могут быть использованы при разработке мероприятий, направленных на снижение уровня загрязнения рабочих зон возле штабелей угля. Дальнейшие исследования в данном направлении следует проводить в области экспериментального исследования применения защитных экранов, позволяющих минимизировать загрязнение рабочих зон возле штабелей угля.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Беляев, Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Днепропетровск : «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
2. 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 архіт. – Харків, 2016. – №1 (83). – С. 196–199.
3. 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.
4. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
5. Бруцкий, Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е.В. Бруцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Колесник, В. Е. Математическое моделирование процесса рассеивания промышленной пыли в атмосфере / В. Е. Колесник, Л. А. Головина, В. В. Богущкая // Зб. наук. пр. НГУ № 26, Том. 2. – Дніпропетровськ : РВК НГУ, 2006. – С. 120–130.
7. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
8. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер – Москва : Мир, 1980. – 539 с.
9. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
10. 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.
11. Ferreira, AD, Viegas, DX, & Sousa, ACM. (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.
12. 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.
13. Simultaneous CFD evaluation of wind flow and dust emission in open storage piles / I.Diego, A. Pelegry, S. Torno, J. Torano, M. Menendez // Applied Mathematical Modeling 33 (2009), 3197 – 3207.

14. Szabo, M. F. Environmental assessment of coal transportation / M. F. Szabo. – Cincinnati, Ohio : Environmental Protection Agency, 1978. – 142 p.

## REFERENCES

1. Belyaev N.N., Gunko Ye.Yu., Mashikhina P.B. *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychaynykh situatsiy* [Mathematical modeling in problems of environmental safety and monitoring emergencies]. Dnepropetrovsk, Aktsent PP Publ., 2013, 159 p.
2. Belyayev N.N., Karpo A.A. *Modelirovaniye processa snosa ugolnogo koncentrata iz poluvagonov* [Simulation of the process of coal concentrate out from halfwagons]. *Zbirnyk naukovykh prats «Naukovyi visnyk budivnytstva»* [Proc. «Scientific Bulletin of construction»], Kharkiv, 2016, issue 1 (83), pp. 196 – 199.
3. Belyaev N.N., Oladipo M.O. *Problema unosa ugolnoj pyli* [The problem of taking away the coal dust]. *Nauka ta prohres transport – Science and Transport Progress*, 2016, no. 6 (66), pp. 17-24. doi: 10.15802/stp2016/90450
4. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovaniye zagryazneniya atmosfery* [Prediction and regulation of air pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 273 p.
5. Bruyatskiy Ye.V. *Teoriya atmosfernoy diffuzii radioaktivnykh vybrosov* [The theory of atmospheric diffusion of radioactive emissions]. Kiev, Institut gidromekhaniki NAN Ukrainy Publ., 2000. 443 p.
6. Kolesnik V.E., Golovina L.A., Boguckaya V.V. *Matematicheskoye modelirovaniye processa rasseivaniya promyshlennoy pyli v atmosfere* [Mathematical modeling of industrial dust dispersion in the atmosphere]. Dnepropetrovsk, *Zbirnyk naukovykh prats NGU* [Proc. of NMU], 2006, no. 26 (2), pp. 120-130.
7. Marchuk G.I. *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 320 p.
8. Uork, K., Uorner S. *Zagryazneniye vozdukh. Istochniki i kontrol* [Air pollution. Sources and control]. Moscow, Mir Publ., 1980. 539 p.
9. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K., Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution spreading in the environment]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 368 p.
10. 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.
11. Ferreira, AD, Viegas, DX, & Sousa, ACM. (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.
12. 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.
13. I.Diego, A. Pelegry, S. Torno, J. Torano, M. Menendez. Simultaneous CFD evaluation of wind flow and dust emission in open storage piles / *Applied Mathematical Modeling* 33 (2009), 3197 – 3207.
14. Szabo, M.F. Environmental assessment of coal transportation / M. F. Szabo. – Cincinnati, Ohio : Environmental Protection Agency, 1978. – 142 p.

Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук, проф. С.З. Поліщуком (Україна);

Стаття надійшла в редколегію 06.04.2017