

3. Беляев, Н. Н. Проблема уноса угольной пыли / Н. Н. Беляев, М. О. Оладипо // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 6 (66). – С. 17–24.
4. Беляев Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов: монография / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Днепр: Акцент ПП, 2014. – 159 с.
5. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
6. Бруязцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруязцкий. – Киев: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
7. Колесник, В. Е. Математическое моделирование процесса рассеивания промышленной пыли в атмосфере / В. Е. Колесник, Л. А. Головина, В. В. Богуцкая // 36. наук. пр. НГУ № 26, Том. 2. – Днепропетровськ: РВК НГУ, 2006. – С. 120–130.
8. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва: Наука, 1982. – 320 с.
9. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – Москва: Мир, 1980. – 616 с.
10. Уорк К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва: Мир, 1980. – 539 с.
11. 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.
12. 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. – 2011. – P. 87 – 91.
13. 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.
14. 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.
15. 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 Modelling 33 (2009), 3197 – 3207.
16. Szabo, M. F. Environmental assessment of coal transportation / M. F. Szabo. – Cincinnati, Ohio: Environmental Protection Agency, 1978. – 142 p.

УДК [504.3: 622.411.52]: 656.2

Оладипо Мутіу Олатойе

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. академика В. Лазаряна*

РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАБОЧИХ ЗОН ВОЗЛЕ ТРАНСПОРТНОЙ МАГИСТРАЛИ

Введение. Как известно, транспортировка угля в полувагонах приводит к выносу угольной пыли и интенсивному загрязнению прилегающей территории, где могут находиться различные работники дороги – монтеры пути, сигналисты и т.д. В результате выноса угольной пыли происходит не только загрязнение воздушной среды в рабочих зонах, но и загрязнение подстилающей поверхности, балластного слоя. В этой связи, возникает

важная проблема по разработке методов снижения такого загрязнения.

Анализ литературы. В настоящее время для решения задачи по оценке уровня загрязнения прилегающей территории при перевозке угля используются эмпирические или аналитические модели [3-6, 8, 10]. Эти модели позволяют оперативно проводить серийные расчеты, но не учитывают ряд важных физических факторов, которые существенно влияют

на формирование концентрационного поля пыли в транспортном коридоре. Поэтому можно утверждать, что в настоящее время существует определенный дефицит математических моделей для теоретического решения данной задачи.



Рис. 1. Транспортировка угля

Обзор литературных источников по применению различных методов минимизации выноса угля из полувагонов показал [2], что наиболее часто применяется уплотнение груза в вагоне; разравнивание поверхности груза; подача на груз специальных растворов, воды; контейнеризация груза. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, но актуальной задачей, тем не менее, остается разработка альтернативных методов, обладающих определенной эффективностью и не требующих больших экономических затрат при практической реализации.

Целью данной работы является разработка специализированного пакета программ, реализующего разработанную CFD модель для прогноза уровня загрязнения рабочих зон вблизи транспортного коридора, по которому перевозится в полувагонах уголь.

Методика. Для уменьшения интенсивности выноса угольной пыли из полувагона предлагается использовать дополнительные борта, которые превышают «шапку» груза в полувагоне. Такие борта создают преграду на пути воздушного потока, тормозят поток воздуха возле поверхности груза и уменьшают вынос пыли из полувагона. Для количественной оценки эффективности применения бортов, их высоты необходимы специальные

методики расчета, так как проведение физического эксперимента для различных сценариев перевозки – крайне дорого. Поэтому в данной работе предлагается использовать численную модель процесса выноса пыли из полувагона. Данная численная модель включает в себя две подмодели: аэродинамическую модель и модель массопереноса. Моделирующие уравнения рассматриваются ниже.

Модель прогноза уровня загрязнения рабочей зоны. Для оценки уровня загрязнения угольной пылью рабочей зоны вблизи железной дороги используется уравнение массопереноса [1, 3, 4, 11, 12]:

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

где C – концентрация загрязняющего вещества (пылевой загрязнитель); u, v – компоненты вектора скорости воздушного потока; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса загрязнителя от «насыпи» в полувагоне или от штабеля угля; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника выброса; w_g – скорость гравитационного оседания пыли; t – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1, 11].

В разработанной численной модели используются следующие зависимости для задания профиля ветра и коэффициентов атмосферной диффузии [3-5]:

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^p, \mu_y = k_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^m, \mu_x = k_0 u, \quad (2)$$

где u_1 – скорость ветра на высоте y_1 (принимается $y_1 \approx 10 \text{ м}$); $k_1 = 0,2$; $k_0 = 0,1$; $p = 0,16$; $m \approx 1$.

Для практической реализации модели (1) необходимо знать поле скорости воздушного потока возле полувагона с углем. Для этого необходимо решить задачу аэродинамики.

Решение уравнения (1) позволяет найти концентрационное поле угольной пыли возле полувагона с углем.

Модель аэродинамики. Для определения поля скорости воздушного потока возле полувагона с углем используется решение уравнения для потенциала скорости [1, 11, 12]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (3)$$

где φ – потенциал скорости, ось Y направлена вертикально вверх.

Как известно, уравнение (3) представляет собой модель течения идеальной жидкости. Компоненты вектора скорости воздушного потока связаны с величиной потенциала скорости такими зависимостями:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (4)$$

Постановка краевых условий для данного уравнения рассматривается в работах [1, 11]. Поле скорости, определенное с помощью модели (3) дает возможность рассчитать концентрационное поле пыли на базе модели (1).

Формирование вида расчетной области. Для формирования вида расчетной области используется метод «porosity technique» - метод маркирования. С помощью маркеров задается, положение железнодорожного вагона, его форма, форма «насыпи» сыпучего груза в полувагоне. Интенсивность выделения пыли от насыпи в полувагоне рассчитывается на базе эмпирических зависимостей.

Оценка опасности загрязнения воздушной среды для персонала. Для оценки потенциального риска здоровью работников железной дороги, чья рабочая зона находится возле железнодорожной магистрали, рассчитывается коэффициент опасности HQ :

$$HQ = AC/RfC,$$

где AC – концентрация угольной пыли в рабочей зоне; RfC – референтная концентрация.

Таким образом, для определения риска здоровью работников железной дороги главной задачей является адекватный

прогноз концентрации угольной пыли в рабочей зоне.

Метод численного решения. Для решения моделирующих уравнений (1), (3) используются неявные разностные схемы. Для численного интегрирования уравнения массопереноса (1) применяется неявная разностная схема расщепления [1, 11]. Уравнение для потенциала скорости численно интегрируется с помощью метода условной аппроксимации [9]. Особенностью применяемых разностных схем является то, что все неизвестные величины определяются по явной формуле бегущего счета. Осуществлена программная реализация разработанных численных моделей и создан специализированный пакет программ – CFD модель.

Структура пакета программ. Пакет программ построен на модульном принципе, каждая подпрограмма осуществляет реализацию конкретной задачи:

1. Решение уравнения для потенциала скорости (подпрограмма «POTSP»).
2. Расчет поля скорости воздушного потока (подпрограмма «SPCAL»).
3. Расчет рассеивания угольной пыли в рабочей зоне (подпрограмма «DUST»).
4. Расчет коэффициента опасности в рабочей зоне (подпрограмма «HQCAL»).
5. Построение концентрационного поля для визуализации зон загрязнения (подпрограмма «CONCD»).

Для программной реализации численной модели был использован FORTRAN.

Практическая реализация. На базе разработанной CFD модели был проведен комплекс расчетов по оценке уровня загрязнения рабочей зоны возле транспортной магистрали. Например, рассматривался вариант оценки уровня загрязнения рабочей зоны при перевозке угля в вагоне, где груз насыпан с «горкой» (рис.2) и в вагоне, на котором установлены дополнительные борта «Г» - образной формы (рис.3). Размеры вагона в CFD модели соответствовали размерам вагона, в которых перевозят уголь в Нигерии.

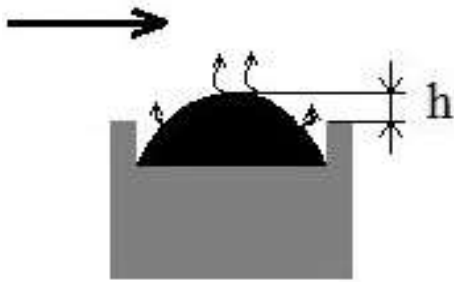


Рис. 2. Вагон без дополнительных бортов (с «горкой» угля)

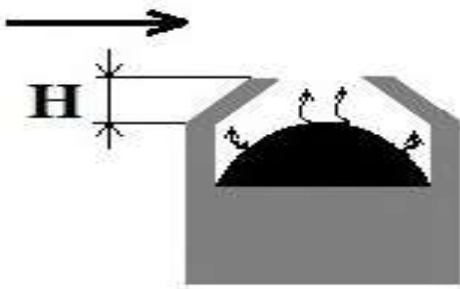


Рис. 3. Вагон с дополнительными бортами «Г» - образной формы

При проведении расчетов полагалось, что интенсивность уноса пыли от любого участка поверхности груза составляет, в безразмерном виде, $Q = a \cdot 100 \cdot V_m \cdot S$, где V_m – местная скорость воздушного потока возле соответствующего участка, S – площадь участка поверхности груза, a – масштабный множитель. Местная скорость V_m , определяется расчетным путем при решении аэродинамической задачи (первый этап проведения вычислительного эксперимента). Здесь важно подчеркнуть, что такой подход к оценке величины интенсивности уноса пыли позволяет *учитывать различную величину массы пыли*, выделяемой от различных участков насыпи, т.к. местная скорость воздушного потока возле поверхности груза – разная.

На последующих рисунках показаны результаты CFD моделирования: распределение концентрации угольной пыли и величины коэффициента опасности в рабочей зоне (рабочая зона – 2,5 м от вагона).

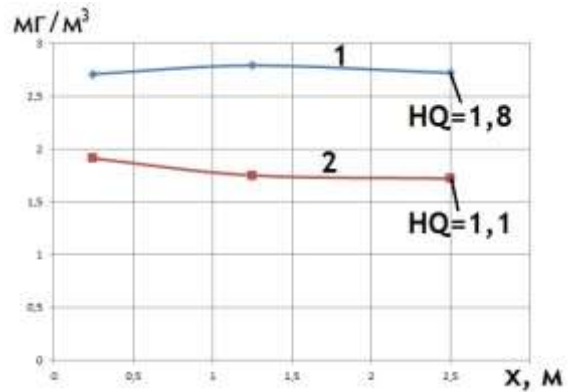


Рис. 4. Распределение концентрации угольной пыли в рабочей зоне и значение коэффициента опасности HQ: 1 – вагон с «горкой» угля; 2 – вагон с дополнительными бортами «Г» - образной формы (скорость воздушного потока 11,5м/с)

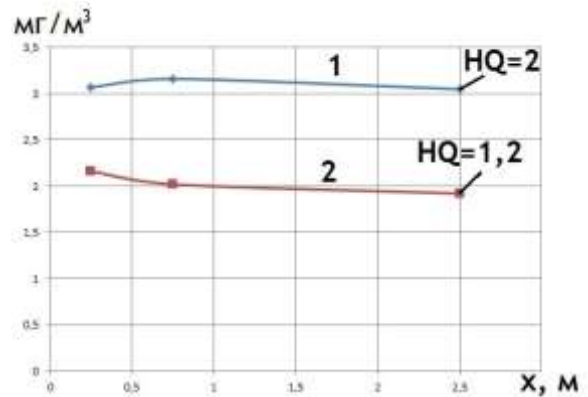


Рис. 5. Распределение концентрации угольной пыли в рабочей зоне и значение коэффициента опасности HQ: 1 – вагон с «горкой» угля; 2 – вагон с дополнительными бортами «Г» - образной формы (скорость воздушного потока 16,6м/с)

Как видно из представленных рисунков, установка дополнительных бортов «Г» - образной формы позволяет уменьшить уровень загрязнения воздушной среды в рабочей зоне. Также видно, что показатель HQ в рабочей зоне составляет около 2-х единиц, при транспортировке угля в вагоне без дополнительных бортов, а при использовании дополнительных бортов указанной формы, значение этого показателя уменьшается – т.е. риск здоровью работников уменьшается.

Выводы. Рассмотрена эффективная CFD модель для оценки уровня загрязнения рабочих зон возле железной дороги при перевозке угля. Данная модель позво-

ляет рассчитать аэродинамику воздушного потока и процесс массопереноса угольной пыли на прилегающие к железной дороге территории. Дальнейшее совершенствование модели следует проводить в направлении ее развития для расчета аэродинамики на базе 3D уравнений.

ЛИТЕРАТУРА:

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 // Наук. вісн. буд-ва : зб. наук. пр. / Харк. нац. ун-т буд-ва та архіт. – Харків, 2016. – № 1 (83). – С. 196–199.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
4. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 273с.
5. Бруяцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруяцкий. – Киев: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Гусев Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.
7. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва: Наука, 1982. – 320с.
8. Рудаков Д. В. Модель рассеивания примеси в приземном слое атмосферы над поверхностью со сложным рельефом / Д. В. Рудаков // Вісн. ДНУ. Серія: Механіка. – Дніпропетровськ, 2004. – № 6. – Вип. 8, т. 1. – С. 89–97.
9. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва: Наука, 1983. – 616 с.
10. Уорк К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва: Мир, 1980. – 539 с.
11. 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.
12. 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. – 2011. – P. 87 – 91.

УДК 621.311; 658.567

Зайцева В.Г., Нестеренко О.В., Онищенко Н.Г.

Харківський національний технічний університет будівництва та архітектури

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ

Вступ. На сьогодні в Україні слід вирішувати проблему безпеки полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), включаючи несанкціоновані звалища, зробити збалансований підхід до вирішення економічних, соціальних та екологічних проблем.

Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) займають тисячі гектарів придатних для використання земель, і це - без урахування багатьох великих несанкціонованих звалищ [1 - 3].

Велику небезпеку становлять собою старі полігони, включаючи несанкціоновані звалища, які не мають відповідного інженерного обладнання, санітарних захисних зон і нерідко, що знаходяться в безпосередній близькості від заселених територій. Це пояснюється різними причинами. По-перше, це негативний вплив на навколишнє середовище пов'язане з тим, що, займаючи значну площу, вони діють як активні штучні біореактори, всередині яких в процесі багаторічного гниття відходів утворюється біогаз, що містить метан,