

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 загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов: монография / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – 159 с.
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. – 273 с.
5. Бруязкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруязкий. – Киев: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
6. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва: Наука, 1982. – 320 с.
7. 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.
8. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва: Наука, 1983. – 616 с.
9. Уорк К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – Москва: Мир, 1980. – 539 с.
10. 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.
11. 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.
12. Li Xianxiang Large-Eddy Simulation of Wind Flow and Air Pollutant Transport inside Urban Street Canyons of Different Aspect Ratios / Li Xianxiang // A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy at the University of Hong Kong, June. – 2008. – P. 205.
13. Mitran G. The identification of major factors from road traffic which produce the air pollution and presentation of the current stage of the research in road traffic modeling and air pollution from road vehicles / G. Mitran // PhD Scientific Report No. 1, University of Pitești, Romania, 2011. – P. 60-63.
14. Ooka R. Wind – tunnel test of gaseous diffusion in street canyon with thermal stratification / R. Ooka, S. Murakami, S. Iizuka / Wind Engineering into the 21st Century. Vol. 2, Balkena, Rotterdam. – 1999. – P. 781-786.
15. Sethe Yogesh V. Air Quality Modeling in Street Canyons of Kolhapur City, Maharashtra, India / Yogesh V. Sethe // Universal J. of Environmental Research and Technology. – P. 97-105.

УДК [504.3:622.411.52]:656.2

Беляев Н. Н., Оладипо Мутну Олатойе

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ УНОСА ПЫЛИ ИЗ ВАГОНА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЯ

Вступление. В Нигерии транспортировка угля осуществляется железнодорожным транспортом (рис.1). Как известно, это приводит к уносу угольной пыли при

транспортировке. Результатом такого уноса пыли является загрязнение путей, примагистральной территории и рабочих

зон на территории шахт или предприятий, где используется уголь. Вторая проблема – унос угольной пыли от штабелей угля или при его погрузке, разгрузке. В данной работе будет рассматриваться решение первой проблемы.



Рис. 1. Транспортировка угля

Анализ литературы. В рамках первой проблемы можно выделить две задачи. Первая задача – это прогноз уровня загрязнения окружающей среды при уносе угольной пыли из движущегося состава. Вторая задача – разработка методов, позволяющих уменьшить интенсивность загрязнения окружающей среды при уносе угольной пыли. В настоящее время для решения первой задачи по оценке уровня загрязнения окружающей среды используются, как правило, эмпирические или аналитические модели [3-6, 8, 10]. Данные модели не учитывают ряд физических факторов, которые существенно влияют на формирование концентрационного поля пыли в атмосфере. Можно утверждать, что в настоящее время существует определенный дефицит математических моделей для решения этой задачи.

Для решения второй задачи используется ряд методов:

1. Заделка щелей, зазоров чтобы предотвратить высыпание груза при транспортировке.

2. Уплотнение груза в вагоне перед отправкой.
3. Разравнивание поверхности груза в вагоне.
4. Покрытие груза специальными растворами [2].
5. Подача воды на поверхность груза.
6. Установка специальных крышек на вагоне.
7. Полное закрытие (контейнеризация) груза.
8. Транспортировка груза в специальных тоннелях (крайне редко, но возможно широко будет применяться в будущем).

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 2D численной модели для прогноза уровня загрязнения атмосферы при эмиссии угольной пыли из полувагона. Ставится задача создания модели, которая позволяла бы рассчитывать процесс уноса пыли с учетом применения дополнительно установленных бортов на полувагоне.

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 аэродинамики. На первом этапе вычислительного эксперимента решается задача по определению поля скорости воздушного потока, с учетом установки бортов на полувагоне. Для решения этой задачи применяется уравнение для потенциала скорости (модель течения невязкой идеальной жидкости) [1, 11, 12]:

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

где φ – потенциал скорости, ось Y направлена вертикально вверх (рис.2).

Компоненты вектора скорости воздушного потока рассчитываются по зависимостям:

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

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

Модель массопереноса. После определения поля скорости воздушного потока возле полувагона, на втором этапе, решается задача о переносе пылевых загрязнений из полувагона в атмосферу. Для этого используется фундаментальное уравнение массопереноса [1, 3, 4, 11, 12]:

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

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]:

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^p, \quad \mu_y = k_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^m, \quad \mu_x = k_0 u, \quad (4)$$

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

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.

Метод численного решения. Для решения моделирующих уравнений (1), (3) используется метод сеток.

Для численного интегрирования уравнения массопереноса (3) применяется неявная разностная схема расщепления [1, 11].

Уравнение для потенциала скорости численно интегрируется с помощью метода условной аппроксимации [9]. В этом случае разностные уравнения, на каждом шаге расщепления записываются так:

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - P_{i,j}^n}{\Delta t} &= \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \\ &+ \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right], \\ \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} &= \left[\frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \\ &+ \left[\frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right]. \end{aligned}$$

На каждом шаге расщепления неизвестное значение потенциала скорости определяется по явной формуле бегущего счета.

Практическая реализация модели. Разработанные численные модели относятся к классу «diagnostic models». Эти модели могут быть использованы для быстрого серийного расчета загрязнения

воздушной среды для разнообразных сценариев транспортировки угля в полувагонах. Построенные модели позволяют оперативно получить картину формирующихся зон загрязнения при сдуве пыли и при использовании дополнительных бортов на полувагонах.

На базе разработанных численных моделей аэродинамики и массопереноса были проведены расчеты по оценке эффективности применения дополнительных бортов. При проведении исследований полагалось, что на полувагон с грузом угля набегает поток воздуха со скоростью 6 м/с. Груз насыпан в полувагон с «горкой». Рассматриваются два варианта. Первый вариант – «горка» превышает борт вагона на $h=0,2$ м (рис.2). Второй вариант – на полувагон установили дополнительный борт и теперь «шапка» груза находится ниже верха дополнительного борта на $h=0,4$ м (рис.3). Ставится задача – оценить величину уноса угольной пыли из полувагона для каждого варианта задачи. При проведении расчетов полагалось, что интенсивность уноса пыли от любого участка поверхности груза составляет, в безразмерном виде, $Q=a*100*V_m*S$, 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 везде – разная.

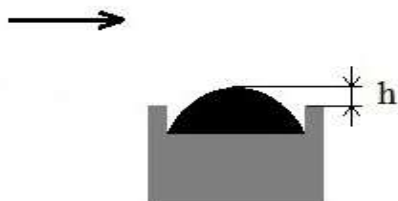


Рис. 2. Расчетная схема в первом варианте (нет дополнительных бортов на полувагоне)

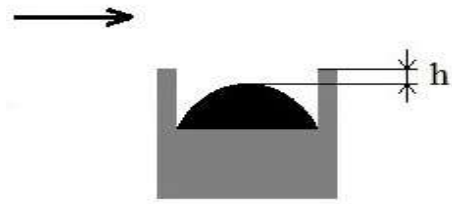


Рис. 3. Расчетная схема во втором варианте (есть дополнительные борта на полувагоне)

На последующих рисунках показана зона загрязнения атмосферного воздуха возле полувагона с углем для рассматриваемых вариантов – без дополнительных бортов на полувагоне и с дополнительными бортами на полувагоне.

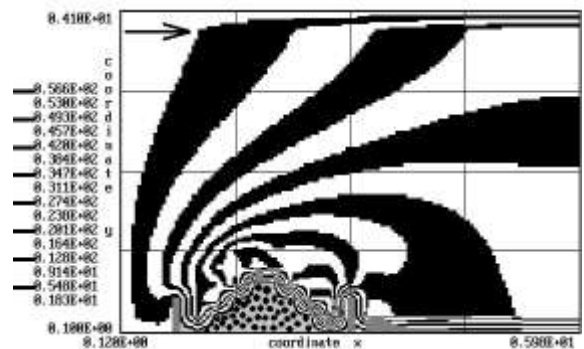


Рис. 4. Зона загрязнения возле полувагона при отсутствии дополнительных бортов

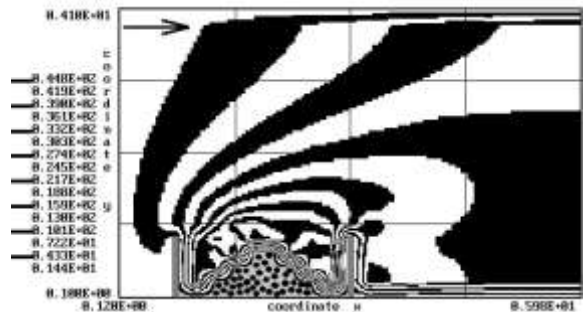


Рис.5. Зона загрязнения возле полувагона при наличии дополнительных бортов

Как видно из представленных рисунков, установка дополнительных бортов приводит к изменению интенсивности и формы зоны загрязнения.

Для количественной оценки влияния установки дополнительных бортов на интенсивность уноса пыли, при проведении вычислительного эксперимента, рассчитывалась масса пыли, уносимая из полувагона. В безразмерном виде эта масса для первого варианта (нет дополнительных

бортов) составила $M_{dust}=15,53$. Для второго варианта задачи (есть дополнительные борта) значение уносимой массы пыли составило $M_{dust}=11,62$. То есть, за счет установки дополнительных бортов на полувагон вынос угольной пыли уменьшился примерно в 1,3 раза. Таким образом, установка дополнительных бортов позволяет уменьшить потерю груза и интенсивность загрязнения окружающей среды при транспортировке угля.

Выводы. Рассмотрены эффективные 2D математические модели для количественной оценки уноса угольной пыли из полувагона при использовании метода защиты типа «дополнительный борт». Данные модели позволяют рассчитать 2D аэродинамику ветрового потока и процесс массопереноса 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. – 273 с.
5. Бруязцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруязцкий. – 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. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
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. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
10. Уорк К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер. – М.: Мир, 1980. – 539 с.
11. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К: 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 005.932 (477)

Новобранов В.М., Жилякова Г.С.

Харківський національний технічний університет будівництва та архітектури

ПРОБЛЕМИ ЛОГІСТИКИ ПРИ ОРІЄНТАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ НА ЄВРОПЕЙСЬКИЙ РИНОК

Проблема інтеграції України до Європейського ринку є актуальною і ще довгий час буде такою залишатися. Тому все,

що пов'язано з її дослідженням також у найближчій перспективі буде і повинно бути потрібним. Коло питань, які при