

Зависимость удельной сдуваемости зерновой пыли от скорости потока воздуха

В.С. Симаков¹, В.И. Кондратьева², Е.А. Постникова¹, Н.С. Бакин¹, В.А. Багров¹

¹Волгоградский государственный технический университет

²Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии

Аннотация: В данной статье приводится исследование зависимости сдуваемости мелкодисперсной зерновой пыли от скорости потока воздуха, а также других факторов, влияющих на нее. Данное исследование имеет значение для сводного расчета рассеивания выбросов вредных веществ из неорганизованных источников предприятий в атмосферный городской воздух, а также для подбора пылеподавляющих мероприятий и лучшего понимания процессов распространения пыли.

Ключевые слова: зерновая пыль, дисперсный состав, аэродинамические характеристики, удельная сдуваемость, распространение пыли, атмосферный воздух

Открытое хранение зерна, особенно такого пыльного, как пшеница, является распространенной практикой по всему миру. Однако при таком способе хранения возникают серьезные проблемы, связанные с образованием пыли и загрязнением воздуха.

В частности, при сильном ветре зерно с открытых складов может сдуваться, создавая облако пыли, которое может распространяться на большой территории. Оказавшись в воздушной среде, мелкодисперсная пыль представляет собой значительную угрозу для окружающей среды и здоровья, способствуя загрязнению воздуха и воздействуя на людей, животных и экосистемы в окрестностях.

В промышленности строительных материалов удельные и валовые выбросы вредных веществ (в частности, пыли) в атмосферу от складов пылящих материалов рассчитываются по методике расчета выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов, разработанной ЗАО «НИПИОТСТРОМ».

Согласно приведенной методике для определения годового валового выброса вредных веществ, выделяемых в воздух при хранении вещества, необходимо иметь информацию о типе хранилища, количестве влаги в материале и его степени крупности, а также площади пылящей поверхности и, разумеется, удельной скорости выдувания пыли, которая и была измерена в данной исследовательской работе. Удельная сдуваемость подчиняется степенному закону, что было доказано в [1].

$$q = a \cdot v^b \quad (1)$$

Здесь, q – удельная сдуваемость мелкодисперсной пыли, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, v – скорость потока воздуха, м/с, a и b – эмпирические коэффициенты, которые зависят от материала. Количество пыли в процессе зависит от организации процесса, и может меняться в зависимости от размера фракции используемого сырья.

Обзор литературы

В исследовании [2] приводится подобный расчет согласно которому утилизация шлака позволяет сократить выбросы взвешенных веществ в атмосферу до 6 ПДК. Для проведения такого расчета требуется знать объемы производства шлака, площадь пыления и, разумеется, коэффициенты удельной сдуваемости пыли и среднегодовую скорость ветра.

В статье [3] предлагается единая система расчета выбросов пыли при перевалке угля в порту, сочетающая в себе перегрузку, транспортировку и хранение пылящих грузов. Предлагается разработать специализированную программу для упрощения расчетов и повышения точности, которая будет иметь встроенную базу данных с общепринятыми коэффициентами, позволяя пользователям выбирать их на основе введенных значений. Выбранные коэффициенты должны зависеть как от введенных значений, так и от «постоянных» величин.

Анализируя предыдущие методы, использовавшиеся в этой области, исследователи обнаружили, что они не учитывают, как близлежащие источники пыли влияют друг на друга, и как меняется скорость частиц в зависимости от количества пыли в воздухе и угла наклона поверхности, с которой происходит выброс пыли, по сравнению с направлением ветра [4]. Новый метод расчета выбросов пыли в атмосферу решает эти проблемы, объединяя существующие технологии.

Предлагаемая методика, изложенная в публикации [5], позволяет оценить уровень выбросов пыли на любом расстоянии от источника и решает обратную задачу — определить, на каком расстоянии могут находиться выбросы без ущерба для атмосферы и почвенного покрова на данной территории. Метод учитывает влияние преобладающих направлений ветра на выбросы пыли, что позволяет определить безопасные расстояния выбросов. При расчете по данной методике массы выброса пыли в год требуется знать значение удельной сдуваемости с поверхности отвала, площадь пылящего участка и количество пылящих дней в году, выраженное в секундах.

В исследовании [6] рассматривается сдувание проезжающими автомобилями пыли, которая находится на проезжей части с целью выявления класса опасности улицы Терешковой. Для определения количества пыли, которое сдувается автомобилем, авторы использовали площадь проекции автомобиля, данные о сдуваемости пыли при среднегодовой скорости и интенсивность движения автомобилей. Данная формула применялась и в исследовании [7] для определения массы пыли по ее сдуваемости с полотна дороги.

В статье [8] предлагается использовать ветро-пылезащитные экраны на открытых складах угольных терминалов как эффективную меру пылеподавления. Так как сдуваемость может быть представлена степенной

зависимостью, то уменьшение скорости ветра на 20% может привести к снижению пыления в 2 раза.

Статья [9] посвящена снижению выбросов пыли с открытых складов гранулированных материалов. Обычно используются сплошные ограждения, но они имеют свои ограничения. В данном исследовании предлагается соединить ограждения с динамическими ветроотклоняющими устройствами, чтобы повысить их эффективность. С помощью компьютерного гидродинамического моделирования инженеры изучили различные комбинации высоты ограждения и формы ветроотклонителя, чтобы минимизировать напряжение сдвига на сваях и тем самым снизить выбросы пыли на 21,79 % по сравнению с обычным ограждением.

В исследовании [10] рассматривается компьютерная имитационная модель, рассчитывающая движение мелких частиц, таких как пыль, когда их разносит ветер. В ней применяется особый способ вычислений, называемый «методом Монте-Карло», который работает путем случайного распределения вероятности того, что каждая крошечная группа частиц (агрегатов) будет поднята в воздух. Модель рассматривает два типа минералов — сульфид свинца (PbS) и сульфид цинка (ZnS), которые часто хранятся на улице в больших кучах на заводах. Результаты, полученные с помощью модели, совпадают с данными научных работ о том, как эти материалы сдуваются потоком воздуха.

Мы же в своей работе опираемся прежде всего на методологию изложенную в [11], где экспериментально определялись эмпирические коэффициенты степенной зависимости (1) для сдувания гипсового сырья с различными значениями содержания пылевых фракций ($\text{кг}/\text{м}^3$). Данные для расчета выбросов пыли при хранении отходов гипсового производства отсутствовали в методике, разработанной ЗАО «НИПИОТСТРОМ», кроме того, формула (1), как выявляет автор, не учитывает удельное содержание

пылевой фракции ($\text{кг}/\text{м}^3$) и предлагает свою математическую модель $q(V, M_{\text{уд}})$.

Методика проведения эксперимента

Целью нашего исследования являлось выявление особенностей сдуваемости зерновой пыли для улучшения прогнозирования процесса выброса в атмосферный городской воздух пыли, которая содержится в сырье на открытых складах. В данном исследовании мы изучали сдуваемость зерновой пыли, а не сырья, так как, во-первых, пыль может занимать часть склада, а во-вторых, изучение пыли отдельно может позволить нам более полно понять выдувание из сырьевых образцов.

Исследование проводилось в аэродинамической трубе, в которой создавался устойчивый, прямолинейный поток воздуха (рис.1). Данная установка позволяет моделировать различные ветровые нагрузки, которые встречаются в различных типах местности согласно СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».



Рис. 1. – Экспериментальная установка для сдувания пыли с регулируемым вентилятором.

Для создания контролируемого воздушного потока использовался вытяжной вентилятор с регулятором мощности для управления скоростью и стабилизатор для поддержания постоянной силы тока. Для измерения фактической скорости использовался дифференциальный цифровой манометр ДМЦ-01.

Экспериментальная аэродинамическая труба оснащена напечатанной на 3D-принтере муфтой, в которой имеется отверстие под пластину с известной длиной и шириной 3x3 см. Для более равномерного потока воздуха в начале трубы установлен рассекающий воздушного потока с ячейками 2x2 см, длина трубы составляет 4 м, а диаметр 200 мм. Внутри муфты также имеется заслонка, предназначенная для того, чтобы более точно определять сдуваемость на небольших промежутках времени, то есть, чтобы начинать эксперимент после того, как ламинарный поток уже установился.

Далее, мы наносили 38-40 мг образца зерновой пыли тонким слоем на пластину площадью 9 см² путем оседания частиц под силой тяжести при помощи специально изготовленной для эксперимента трубки длиной 50 см и кисточки. Зерновая пыль была предварительно просеяна с помощью лабораторного сита с ячейками 125 мкм, так как такие частицы при условиях ветреной погоды могут неопределенно долго находиться во взвешенном состоянии и перемещаться на большие расстояния.

Целью эксперимента было получить зависимость сдуваемости от скорости потока воздуха. Очевидно, что количество времени, требуемое для сдувания пыли, существенно отличается при различной скорости потока, поэтому вес навески всегда был постоянным и равнялся 40 мг, а время воздействия воздухом изменялось, например, при небольших скоростях 3–3,5 м/с мы воздействовали 20 с, а при скоростях порядка 4,5–5 м/с — 4 с. Все полученные результаты пересчитывались к виду $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Для определения эмпирических коэффициентов a и b в аэродинамической трубе сдувалась пыль с пластины с известной площадью, скоростью и в течение коротких известных промежутков времени в трубе, при условии установившегося потока воздуха и заслонкой, находящейся перед сдуваемым образцом.

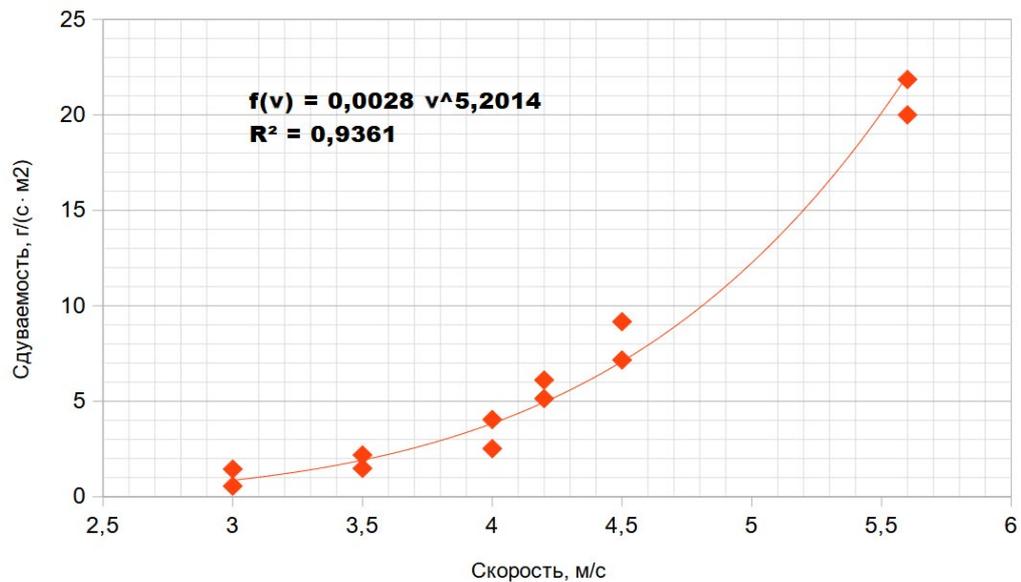


Рис. 2. – Экспериментальная кривая зависимости удельной сдуваемости от скорости потока воздуха (при 4,4 мг/см²).

Данные были обработаны с помощью Libreoffice Calc для получения аппроксимирующей кривой и уравнения степенной регрессии с коэффициентом детерминации $R^2=0,93$. В результате для уравнения (1) были получены эмпирические коэффициенты $a = 0,0028$ и $b = 5,2014$, применимые при сдувании мелкодисперсной пыли.

Выводы

1. При равномерном по скорости потоке воздуха мелкодисперсная зерновая пыль сдувается равномерно с единицы площади.
2. Построен график зависимости сдуваемости от скорости потока воздуха мелкодисперсной зерновой пыли при условии естественного оседания пыли на поверхность и плотности 4,4 мг/см², получены эмпирические коэффициенты для данного эксперимента.
3. Установлено, что скорость сдувания зерновой пыли может изменяться при естественном самоуплотнении пыли, которое в том числе может происходить во время сдувания.

Литература

1. Лобода, А.И., Тыщук В.Ю. Влияние отвалов на запыленность атмосферы и способы ее нормализации // Техника безопасности в горнорудной промышленности: отрасл. темат. сб. / Минчермет СССР, ВНИИБТ. – Москва: Недра, 1986. – С. 47-51.
2. Хоботова Э. Б., Калмыкова Ю. С. Сокращение уровня экологической опасности при утилизации шлака // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету. – 2017. – №. 76. – С. 46-50.
3. Коннов, Г.В., Новиков В.К. Методика расчета выбросов угольной пыли при перевалке угля в порту // Будущее машиностроения России : Сборник докладов Десятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием), Москва, 25–28 сентября 2017 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2017. – С. 358-362. – EDN DNUWID.
4. Жихарев, А.В. Определение санитарно-защитной зоны от группы площадных источников выброса // Молодежь и научно-технический прогресс : IX международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 томах, Губкин, 14 апреля 2016 года. Том 3. – Губкин: Общество с ограниченной ответственностью "Ассистент плюс", 2016. – С. 221-224. – EDN XCZCPR.
5. Чечнева, Е.С. Метод оценки изменения опасности пылевыведения для атмосферы и почвенного покрова территории с удалением от источника выброса // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2013. – № 4. – С. 131-142. – EDN QAZMBZ.
6. Архипов, А.Д., Богомолова А.А. Оценка влияния выбросов от автомобильного транспорта на качество атмосферного воздуха улиц города

Оренбурга на примере улицы Терешковой // Синергия Наук. – 2018. – № 22. – С. 702-710. – EDN YWZUNT.

7. Нгуен, Ф.Н., Мелькумов В.Н. Природоохранные мероприятия на придорожном пространстве автомобильных дорог Республики Вьетнам // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4(36). – С. 94-102. – EDN TAGLUN.

8. Московская И.В., Лазарева Л.П. Анализ эффективности применения ветро-пылезащитных экранов на открытых складах угольных терминалов // Евразийский Союз Ученых. 2015. №6-2 (15). – С 140-144.

9. Bouarour O. et al. 3D numerical simulation of airflow structure and dust emissions from an open storage pile behind a dynamic solid fence-deflector // Atmospheric Environment: X. – 2024. – V. 21. – P. 100-245.

10. Dentoni V. et al. Emission of fine dust from open storage of industrial materials exposed to wind erosion // Atmosphere. – 2022. – V. 13. – №. 2. – 320 p.

11. Азаров А.В. Методы и средства защиты населения от негативных воздействий источников выбросов гипсового производства в атмосферный воздух : дис. – Моск. гос. строит. ун-т, 2016. – 128 с.

References

1. Loboda, A.I., Tyshhuk V.Ju. Vlijanie otvalov na zapylennost' atmosfery i sposoby ee normalizacii [The influence of dumps on the dust content of the atmosphere and methods for its normalization]. Tehnika bezopasnosti v gornorudnoj promyshlennosti: otrasl. temat. sb. Minchermet SSSR, VNIIBT. Moskva. Nedra, 1986. pp. 47-51.

2. Hobotova Je.B., Kalmykova Ju S. Vesnik Harkovs'kogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2017. №. 76. pp. 46-50.

3. Konnov, G.V., Novikov V.K. Metodika rascheta vybrosov ugol'noj pyli pri perevalke uglja v portu [Methodology for calculating coal dust emissions during coal handling in a port]. Budushhee mashinostroeniya Rossii. Sbornik dokladov Desjatoj Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh i specialistov (s mezhdunarodnym uchastiem), Moskva, 25–28 sentjabrja 2017. Moskva. Moskovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet imeni N. Je. Baumana (nacional'nyj issledovatel'skij universitet), 2017. pp. 358-362. EDN DNUWID.

4. Zhiharev, A.V. Opredelenie sanitarno-zashhitnoj zony ot gruppy ploshhadnyh istočnikov vybroso [Determination of the sanitary protection zone from a group of area emission sources]. Molodezh' i nauchno-tehničeskij progress. IX mezhdunarodnaja nauchno-praktičeskaja konferencija studentov, aspirantov i molodyh uchenyh v 4 tomah, Gubkin, 14 aprelja 2016. Tom 3. Gubkin Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju «Assistent pljus», 2016. pp. 221-224. EDN XCZCPR.

5. Chechneva, E.S. Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2013. № 4. pp. 131-142. EDN QAZMBZ.

6. Arhipov, A.D., Bogomolova A.A. Sinergija Nauk. 2018. № 22. pp. 702-710. EDN YWZUNT.

7. Nguen, F.N., Mel'kumov V.N. Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 4(36). pp. 94-102. EDN TAGLUN.

8. Moskovaja I.V., Lazareva L.P. Evrazijskij Sojuz Uchenyh. 2015. №6-2 (15). pp. 140-144.

9. Bouarour O. et al. Atmospheric Environment: X. 2024. v. 21. pp. 100-245.

10. Dentoni V. et al. Emission of fine dust from open storage of industrial materials exposed to wind erosion. Atmosphere. 2022. v. 13. №. 2. 320 p.



11. Azarov A.V. Metody i sredstva zashhity naselenija ot negativnyh vozdeystvij istochnikov vybrosov gipsovogo proizvodstva v atmosfernyj vozduh [Methods and means of protecting the population from the negative impacts of sources of emissions of gypsum production into the atmosphere]. dis. Mosk. gos. stroit. un-t, 2016. 128 p.

Дата поступления: 2.11.2024

Дата публикации: 1.01.2025