

УДК 532.5 (075.8)

А. А. ЛАПШИН, канд. техн. наук, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИИ В МЕСТАХ ДОБЫЧИ И ХРАНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ**

В статье приведен анализ экологической ситуации в районах добычи и переработки железных руд в Криворожском железорудном бассейне. Основным источником пылевыделения является эрозия почв на отвалах карьеров и в штабелях руды на открытых складах. Приведены теоретические зависимости для определения условий сдувания пылевых частиц и интенсивности пылевыделения.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Разработка рудных месторождений и переработка добытого сырья сопровождается загрязнением окружающей среды пылью не только на промплощадках горных предприятий, а и на территориях жилых массивов.

**Анализ исследований и публикаций** Как свидетельствуют исследования, проведенные по определению загрязнений воздуха в пределах санитарных зон шахт и карьеров Кривбасса, концентрации пыли при наличии ветра больше 4 м/с превышают допустимые величины [1]. Высокое загрязнение пылью происходит вблизи отвалов вскрышных пород, а также в местах хранения горной массы на открытых складах. Основной причиной загрязнения атмосферы пылью является ветровая эрозия, при которой происходит сдувание пыли с открытых поверхностей горной массы и перенос ее в атмосферу.

**Изложение материала и результаты исследований.** Наблюдения свидетельствуют, что интенсивность сдувания пыли зависит от физико-химических свойств рудной массы, определяемых крупностью, влажностью и слипаемостью частиц, а также от скорости ветра над поверхностью штабелей. В табл. 1 представлены параметры открытых рудных складов предприятий Кривбасса[2].

Как видно из табл. 1, площадь штабелей достигает 20,0 тыс. м<sup>2</sup>, содержание пылевых фракций в среднем составляет 8-10 %, а влажность горной массы 2,5-3,5 %, что отвечает условиям сдувания пыли и загрязнения атмосферы. Воздействие ветра на поверхность открытых штабелей приводит к срыву пылевых частиц, подъему их от поверхности и распространению в атмосфере промплощадок и за их пределами. При этом сдуванию препятствуют аутогезионные силы, формирование физико-химическими свойствами частиц и масса частиц. Условие отрыва частиц с поверхности штабелей может быть записано в таком виде

$$F_{л} + F_{п} \geq \eta \cdot (F_{аут} + P), \quad (1)$$

где  $F_{л}$  - лобовое давление, развиваемое ветром, Н/м<sup>2</sup>;  $F_{п}$  - подъемная сила при отрыве частиц, г/м<sup>2</sup>;  $\eta$  - коэффициент трения;  $F_{аут}$  - аутогезионные силы, Н/м<sup>2</sup>;  $P$  - давление частиц, Н/м<sup>2</sup>.

Если учесть, что для условий пылевых частиц  $F_{л} \gg F_{п}$ , а  $F_{аут} \gg P$ , тогда условие отрыва можно записать так

$$F_{л} \geq \eta \cdot F_{аут} \quad (2)$$

Лобовое давление при обдуве частиц определяется по формуле

$$F_{л} = C_{л} \cdot \rho \cdot S_{м} \cdot U^2 / 2, \quad (3)$$

где  $C_{л}$  - коэффициент лобового сопротивления частиц;  $S_{м}$  - миделево сечение частиц, м.

Таблица 1

Параметры открытых складов и свойств руд сохраняемых в штабелях

| Предприятия         | Параметры открытых складов |                 |                               | Площадь поверхности штабеля, м <sup>2</sup> | Количество пылефракций, % | Влажность руды, поступающей на склад, % |
|---------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|---|---------------------------|---|
|                     | высота сыпания, м          | длина склада, м | ширина штабеля в основании, м |   |                           |   |
| СевГОК              | 15                         | 120             | 45                            | 7000  | 8,8                       | 2,7                                     |
| ЦГОК                | 17                         | 110             | 43                            | 6500  | 7,4                       | 2,4                                     |
| ш. Первомайская     | 12                         | 310             | 40                            | 18000                                       | 7,6                       | 2,6                                     |
| ш. им. Ленина       | 16                         | 320             | 44                            | 16000                                       | 10,3                      | 3,2                                     |
| ш. им. Орджоникидзе | 20                         | 85              | 45                            | 5600  | 6,4                       | 2,9                                     |
| ш. Гвардейская      | 18                         | 300             | 50                            | 15000                                       | 11,4                      | 3,6                                     |

|                      |    |     |    |       |      |     |
|----------------------|----|-----|----|-------|------|-----|
| ш. Юбилейная         | 15 | 192 | 30 | 70    | 9,4  | 3,3 |
| ш. им. Фрунзе        | 16 | 275 | 38 | 23000 | 10,3 | 3,8 |
| ш. Октябрьская       | 20 | 130 | 48 | 7500  | 8,6  | 4,0 |
| ш. Родина            | 16 | 350 | 45 | 12000 | 11,4 | 3,9 |
| ш. Гигант            | 20 | 280 | 50 | 12000 | 11,6 | 3,5 |
| ш. № 2<br>им. Артема | -  | -   | -  | 2000  | 9,3  | 4,4 |

Особого обсуждения заслуживают входящие в формулу (3) коэффициент лобового сопротивления и скорость ветра. Как известно, коэффициент лобового сопротивления зависит от числа Рейнольдса, которое в свою очередь зависит от скорости воздушного потока. Следовательно, сдувание ветром пыли связано со структурой пограничного слоя и распределением скорости в этом слое. Однако, необходимо отметить, что пограничный слой, достаточно изученный в замкнутых системах, будет отличаться своими особенностями в неограниченных пространствах.

*Во-первых*, шероховатость поверхности промплощадок отличается непостоянством. Например, складирование горной массы самосвалами и думпкарами приводит к образованию рельефа с выступами более 1 м.

*Во-вторых*, наличие такого рельефа приводит к возмущению потока в самом пограничном слое, развитию турбулентности и увеличению лобового давления ветра. Учитывая особенности рельефа и соблюдая закономерности структуры пограничного слоя будем полагать, что в диапазоне чисел Рейнольдса для расчета коэффициента лобового сопротивления применимы формулы [3].

Скорость ветра в пограничном слое целесообразно определять по формуле [4]

$$U_z = U_1 \cdot (\lg Z/Z_0) / \lg Z_1/Z_0, \quad (4)$$

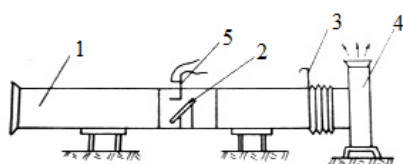
где  $U_1$  - скорость ветра на высоте  $Z_1$ , м/с;  $Z=0,1$  м - условная толщина пограничного слоя;  $Z_0 = 0,01$  м - шероховатость поверхности штабеля;  $Z_1=1,5$  м - высота замера скорости ветра.

Так, при  $U=5$  м/с и других заданных выше параметров, а также с учетом (4), а также принимая, что  $R_e = V \cdot d/\nu$  и  $S_M = \pi \cdot d^2$  лобовое давление при обдуве частиц можем записать для турбулентного режима

$$F_L = 0,06 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d^2 \cdot (U \cdot (\ln Z/Z_0 / \ln Z_1/Z_0)), \quad (5)$$

Перечисленные формулы позволяют получить зависимость для расчета сил аутогезии, которые удержали бы частицу от срыва с поверхности штабеля. Коэффициент трения согласно экспериментальных данных равен [5], а для расчетов принимаем  $\eta=0,43-0,90$ , тогда величина аутогезионной силы сцепления частиц, которая противодействует сдуванию при турбулентном потоке будет равна

$$F_{\text{аут}} = 0,3 \cdot \rho \cdot d^2 \cdot (U \cdot (\ln Z/Z_0 / \ln Z_1/Z_0)), \quad (6)$$



**Рис. 1.** Схема аэродинамической установки: 1 - аэродинамический канал; 2 - кювета с рудой; 3 - шибер; 4 - вентилятор; 5 - пневмометрическая трубка

Для определения критических скоростей, при которых происходит сдувание пыли с поверхности горной массы различной влажности, а также для установления интенсивности сдувания были проведены экспериментальные исследования на аэродинамической модели [6], (рис. 1).

Результаты лабораторных опытов обрабатывались на ЭВМ. В результате корреляционно-регрессионного анализа получен ряд уравнений, за основу принято уравнение гиперболической зависимости, т. к. коэффициент корреляции данной кривой самый высокий. Полученные коэффициенты регрессий и корреляции приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты регрессии гиперболической зависимости

| Вид кривой          | Влажность руды, % | Коэффициент корреляции | Коэффициенты регрессии |        |          |
|---------------------|-------------------|------------------------|------------------------|--------|----------|
|                     |                   |                        | A                      | B      | C        |
| $Y = AX^2 + BC + C$ | сухая             | 0,79                   | 0,4204                 | 6,9227 | -20      |
| $Y = AX^2 + BC + C$ | 1,0-2,0           | 0,98                   | 0,4030                 | 2,630  | -11,2    |
| $Y = AX^2 + BC + C$ | 2,0-3,0           | 0,94                   | 0,3510                 | 0,2729 | -2,6931  |
| $Y = AX^2 + BC + C$ | 3,0-4,0           | 0,995                  | 0,2420                 | 0,9330 | -6,7273  |
| $Y = AX^2 + BC + C$ | 4,0-5,0           | 0,975                  | -0,0225                | 5,0183 | -21,6289 |

|                     |         |      |         |        |         |
|---------------------|---------|------|---------|--------|---------|
| $Y = AX^2 + BC + C$ | 5,0-6,0 | 0,73 | -0,0075 | 1,0850 | -8,0560 |
|---------------------|---------|------|---------|--------|---------|

По результатам исследований построены графики зависимости интенсивности сдувания пыли с поверхности руды различной влажности от скорости воздушного потока (рис. 2).

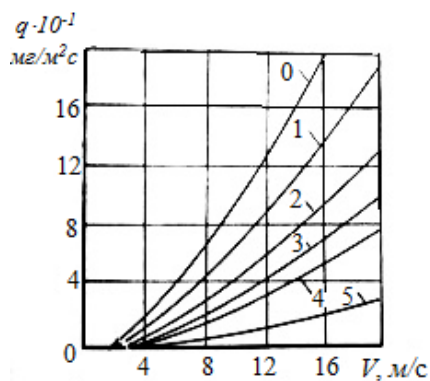


Рис. 2. Графики зависимости интенсивности сдувания пыли от скорости воздушного потока: 0, 1, 2, 3, 4, 5 соответственно сухая, 1 – 2 %, 2 – 3 %, 3 – 4 %, 4 – 5 %, 5 – 6 % влажности

Из графиков явствует, что интенсивность сдувания функционально зависит от скорости воздуха и влажности руды, что можно выразить зависимостью вида

$$q_i = 1,5 \cdot K_B e^{-0,25 \cdot \varphi}, \quad (7)$$

Загрузка складов, постоянное обнажение новых поверхностей отгрузки руды со складов, быстрое высыхание поверхностного слоя в теплое время года и большие скорости ветров способствуют не только пылевыведению при сдувании, но и интенсификации процесса во времени. Это имеет большое значение при решении вопроса о принятии мер по предупреждению сдувания. Для установления фактора продолжительности воздействия ветра на количество сдуваемой пыли были проведены исследования на рудах Криворожского бассейна влажностью  $\varphi = 1,5-2,0$  %, отобранных с поверхностей штабелей. Результаты опытов были обработаны на ЭВМ.

По результатам опытов построены графики зависимости количества унесенной пыли от времени воздействия ветра (рис. 3). Из графиков видно, что наибольшее количество пыли сдувается ветром в первые 15-30 минут обдува. Это позволяет рекомендовать принимать защитные противозерозийные меры сразу после окончания загрузки или еще лучше в период загрузки складов.

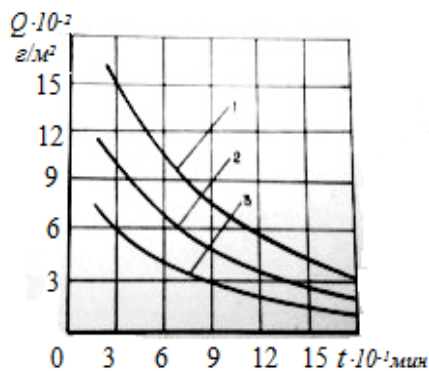


Рис. 3. Графики зависимости количества унесенной пыли от времени воздействия ветра: 1 -  $V = 15$  м/с; 2 -  $V = 10$  м/с; 3 -  $V = 5$  м/с

Визуальные наблюдения в модели и результаты опытов показали, что для руд с различной влажностью существуют две скорости сдувания пыли  $V_n$  и  $V_{кр}$ , соответствующие начальной и критической стадиям сдувания. При  $V_n$  начинается срыв отдельных пылинок, а при  $V_{кр}$  происходит массовый унос поверхностного слоя. Значения для руд различной влажности приведены в табл. 3, на которые следует ориентироваться при расчетах аутогезионных сил, препятствующих сдуванию пыли с поверхности штабелей. В связи с тем, что средние скорости ветров на территории Кривбасса превышают начальную скорость сдувания пыли и близки к критическим скоростям массового уноса, что свидетельствует о повсеместном пылевыведении.

Используя результаты экспериментальных данных, можно определить суммарное количество пыли, сдуваемое с поверхности штабелей в течение определенного времени.

$$Q_c = 0,3 \cdot q_i \cdot S_M \cdot K_H \cdot t, \quad (8)$$

где  $q_i$  - удельная сдуваемость пыли с поверхности  $i$ -го штабеля, мг/м<sup>2</sup>·с;  $S_M$  - максимальная площадь поверхности штабеля, м<sup>2</sup>;  $K_H = 0,18$  - коэффициент нестационарности с учетом климатических условий [7].

Значение  $q_i$  определяется по формуле (7). Исходя из опыта эксплуатации открытых складов и статистических данных по их загрузке, средняя площадь складываемого материала за год составляет около 30 % от максимально возможной. Так, например, для шахты «Гвардейская» средняя площадь складываемого материала за год составляет 4350 м. Тогда для открытого рудного склада ш. «Гвардейская» суммарный выброс пыли вследствие сдувания ветром, рассчитанный по формуле (8), составляет  $Q_c = 195,3$  т/год.

Таблица 3

| Начальная и критическая скорости сдувания пыли с поверхности руды |                                 |                                      |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|
| Влажность руды, $\varphi$ , %                                     | Начальная скорость, $V_n$ , м/с | Критическая скорость, $V_{кр}$ , м/с |
| сухая   | 2,2-2,5                         | 4,5-5,0                              |

|         |         |           |
|---------|---------|-----------|
| 1,0-2,0 | 3,0-3,3 | 6,0-6,3   |
| 2,0-3,0 | 3,5-4,0 | 6,5-7,0   |
| 3,0-4,0 | 4,1-4,3 | 7,5-7,7   |
| 4,0-5,0 | 4,5-5,5 | 8,0-9,0   |
| 5,0-6,0 | 7,5-8,0 | 10,0-12,0 |

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Технологические процессы переработки горной массы на промплощадках сопровождаются пылевыведением, основным источником которого является эрозия почв на отвалах карьеров и в штабелях руды на открытых складах. Запыленность атмосферы на промплощадках и за их пределами превышает предельно-допустимые величины. Интенсивность сдувания пыли с поверхностей штабелей зависит от физико-химических свойств горной массы, формирующих аутогезионные силы сцепления частиц и скорости ветра в приземном слое, превышение критических значений которого приводит к разрыву аутогезионных связей и дефляции частиц. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку мероприятий по улучшению экологической ситуации на горных предприятиях с использованием шахтных вод.

#### Список литературы

1. Лапшин А. Е. Оценка эффективности гидрообеспыливания технологических процессов на горных предприятиях/ Александр Егорович Лапшин. // Разраб. рудн. месторожд., 1996. – Вып. 59. – С. 106-110.
2. Лапшин А. Е. Исследование процесса сдувания пыли с поверхности руды на открытых складах шахт. / Лапшин А. Е., Слюсаренко В.Г., Гацкий А. К. // Разраб. рудн. месторожд., 1994. – Вып. 55. – С. 142-149.
3. Справочник по рудничной вентиляции/. – М.: Недра. – 1988. –С. 65 – 85.
4. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы./ Берлянд М. Е. – Л.: Гидрометеоздат, 1985 – С. 31-40.
5. Зимон А. Д. Адгезия пыли и порошков / Зимон А. Д. – М.: Химия, 1976.
6. А.с.: СССР №1214704 С 09 К 3/22, 1986. Пылесвязывающий состав универсин.
7. Методика расчета выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов / ВНИИВТГ. – Кривой Рог, 1964 – С. 27-33.

Рукопис подано до редакції 17.03.13

УДК 519.7.004.94

Н.А. ХАРАДЖЯН, канд. пед. наук, доц., КПІ ДВНЗ "Криворізький національний університет"

О.А. ХАРАДЖЯН, канд. техн. наук, доц.

Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій, Кривий Ріг

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ІНТЕРАКТИВНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ У СКМ SAGE

Розглядаються особливості побудови інтерфейсів системи комп'ютерної математики SAGE. Також наведено особливості реалізації інтерактивних інтерфейсів, які обумовлені структурою системи SAGE. Розглянуто реалізацію елементів інтерфейсів інтерактивних моделей для дослідження складних систем.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Протягом останніх десятиріч спостерігається тенденція до інтеграції багатьох сфер людської діяльності, відбувається синтез різних галузей науки. Зокрема, системи комп'ютерної математики (СКМ) впевнено займають місце в діяльності науковців, спрямованої на впровадження та застосування інформаційних технологій для розв'язання різноманітних задач.

Зростаюча складність досліджуваних процесів і явищ дала поштовх до формування поняття про складні динамічні системи, дослідження та аналіз яких в межах традиційної парадигми є надзвичайно ускладненими. Це зумовлено тим, що система має властивості, які не існують у її елементів, а також нестационарністю системи та наявністю великої кількості додаткових процесів. Моделі складних систем характеризуються великою розмірністю, їх аналіз базується на широкому використанні як методів аналізу так і методів моделювання.

У більшості випадків моделювання складних систем доцільно виконувати за допомогою систем комп'ютерної математики (СКМ). Більшість СКМ мають стандартний набір можливостей:

основні математичні об'єкти: поліноми, ряди, раціональні функції, вирази загального виду, вектори, матриці;

системи використовують цілі, раціональні, дійсні, комплексні числа;

є декілька режимів роботи, що доповнюють один одного: редагування, діагностика, діалог,