

лина Л.Ф. – Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. – 43 с.

Dolina L.F. Sewage water of coal mining enterprises and methods of its treatment / Dolina L.F. – Dnepropetrovsk: Molodezhnaya ekologicheskaya liga Pridneprovya, 2000. – 43 p.

10. Пат. на корисну модель № 55988 Україна, МПК⁸ В 01 D 21/02. Пристрій для очистки скидів від завислих речовин / Колесник В.Є., Кулікова Д.В.; Заявл. 12.10.2010; Опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 4 с.

Patent for utility model No.55988 Ukraine, МПК⁸ В 01 D 21/02. Device for sewage water treatment from suspended matter / Kolesnik V.E., Kulikova D.V.; Submitted on 12.10.2010; Published on 27.12.2010; Bulletin. No.24. – 4 p.

11. Демура М.В. Проектирование тонкослойных отстойников / Демура М.В. – К.: Будівельник, 1981. – 52 с.

Demura M.V. Designing of thin-layer sewage tank / Demura M.V. – K.: Budivelnik, 1981. – 52 p.

Рассмотрена проблема загрязнения шахтных вод взвешенными веществами. Представлена характеристика

состава механических примесей в шахтной воде. Приведены главные недостатки в работе традиционных горизонтальных отстойников, которые применяются на предприятиях угольной промышленности Украины. Предложена усовершенствованная конструкция горизонтального отстойника.

Ключевые слова: шахтные воды, взвешенные вещества, механическая очистка сточных вод, горизонтальный отстойник

The problem of mine waters pollution caused by suspended solids is considered. The characteristics of suspended solids are presented. The main disadvantages of traditional horizontal sedimentation tanks used at the coal mines in Ukraine are analyzed. Improved construction of horizontal sedimentation tank is offered.

Keywords: mine waters suspended solids, mechanical treatment of waste water, horizontal sedimentation tank

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Т.І. Долговою. Дата надходження рукопису 05.04.11

УДК 622.2:504

**В.Е. Колесник, д-р. техн. наук, проф.,
Ю.В. Бучавый, А.А. Юрченко**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: kolesnikve@yahoo.com

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРАХ

**V.Ye. Kolesnik, Dr. Sci. (Tech.),
Yu.V. Buchavyi, A.A. Yurchenko**

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kolesnikve@yahoo.com

METHODS OF ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL THREAT FROM DUST EMISSION DURING MASS EXPLOSION IN IRON-ORE OPENCAST MINE

Выполнен сравнительный анализ известных методик оценки выбросов пыли при проведении взрывных работ на горных предприятиях. Проанализированы математические модели, которые могут быть использованы для расчета приземной концентрации пыли после залповых выбросов. Предложены способы оценки эффективности мероприятий по снижению выбросов пыли после массовых взрывов в карьерах и уровней экологической опасности этих выбросов по пылевому фактору.

Ключевые слова: экологическая опасность, железорудные карьеры, массовые взрывы, залповые выбросы, загрязнение атмосферы, математическая модель рассеивания пыли

Актуальность работы. В технологической цепи добычи железной руды открытым способом и ее последующей переработки до получения железорудного концентрата и окатышей значительную опасность для окружающей среды и, в первую очередь, атмосферы представляют залповые газопылевые выбросы после массовых взрывов в карьерах. Масса заряда взрывчатого вещества (ВВ) при массовых взрывах превышает 100 т и обычно составляет 500–800 т.

Для оценки опасности карьера по пылевому фактору, в частности при разработке оценки воздействия на

окружающую среду (ОВОС), его рассматривают как единый стационарный источник равномерно распределенных по площади выбросов от автотранспортных, выемочно-погрузочных, буровых и взрывных работ, а приземные концентрации от его воздействия рассчитывают по стандартизированной методике ОНД-86 [1]. Вычисленные значения сравнивают с ПДК выбрасываемых веществ, а полученные соотношения служат численной мерой потенциальной опасности карьеров по пылевому фактору. Отдельно вычисляют залповый выброс карьера как сумму величины выброса при взрывных работах и средних значений выбросов от всех других источников в карьере.

Величина залпового выброса после массового взрыва многократно превосходит средние выбросы от других источников. Однако образующееся при этом газопылевое облако рассеивается в атмосфере в течение 10–15 мин. Причем, массовые взрывы производятся обычно один-два раза в месяц, т.е. относительно редко, что в определенной мере нивелирует их опасность, в сравнении с постоянно действующими источниками. Экологическая опасность массовых взрывов заключена в высокой интенсивности залпа, при котором концентрация газов и пыли в воздухе в сотни раз превышает ПДК этих веществ. При этом основная масса пыли оседает на расстоянии, примерно, до 1,5 км от эпицентра взрыва, т.е. оседает как в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) карьера, так и частично за ее пределами. Определенная же часть пыли, особенно при неблагоприятных условиях, например высокой скорости ветра, может выноситься на расстояние до 10 км [2], представляя опасность для здоровья населения близко расположенных жилых массивов.

Необходимо также отметить, что по принятым в отрасли методикам рассчитывают общую массу выбрасываемой в атмосферу пыли с размерами частиц менее 50 мкм, способных витать в воздухе достаточно продолжительное время. При этом за пределы СЗЗ, как правило, выносятся лишь тонкодисперсная (респираторная) пыль с размерами частиц менее 10 мкм, которая способна проникать в дыхательные пути. Поэтому важно рассчитывать дополнительно именно массу этой пыли. Причем наибольшую опасность для здоровья человека представляют пылинки размером около 2–2,5 мкм и менее, которые при проникновении в альвеолы легких, задерживаются там.

Постановка задачи. Принимая во внимание изложенное, авторами ставилась задача анализа известных методов определения интенсивности выброса в атмосферу пыли при взрывных работах в карьерах, а кроме того, задача оценки эффективности мероприятий по снижению выбросов пыли при массовых взрывах в карьерах с последующим определением их экологической опасности.

Основные результаты. Для определения массы единовременного выброса пыли в атмосферу при проведении взрывных работ в карьерах обычно используют методические пособия по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов [3] или при взрывных работах в угольных разрезах [4].

Согласно [3], для расчета единовременных выбросов пыли (в тоннах) при взрывных работах используют уравнение

$$Q = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot D \cdot 10^6, \quad (1)$$

где a_1 – количество материала, поднимаемого в воздух при взрыве 1 кг ВВ (обычно составляет 4–5 т/кг); a_2 – доля переходящей в аэрозоль витающей пыли с размером частиц в пределах 0–50 мкм по отношению к взорванной горной массе (в среднем $a_2 = 2 \times 10^{-5}$); a_3 – коэффициент, который учитывает скорость ветра в зоне взрыва; a_4 – коэффициент, учитывающий влияние

обводнения скважин и предварительного увлажнения забоя (при орошении зоны оседания пыли водой 10 л/м² $a_4 = 0,7$; обводнении скважин до высоты столба воды в них 10–14 м $a_4 = 0,7$); D – величина заряда ВВ, кг.

Особенностью модели в виде уравнения (1) является то, что она позволяет с помощью коэффициента $a_3 = k_3$, представленного зависимостью на рис. 1, учитывать скорость ветра в момент взрыва. Так, средняя скорость ветра на территории Кривбасса составляет около 5 м/с, хотя в течение одного месяца в году она достигает 15 м/с и выше.

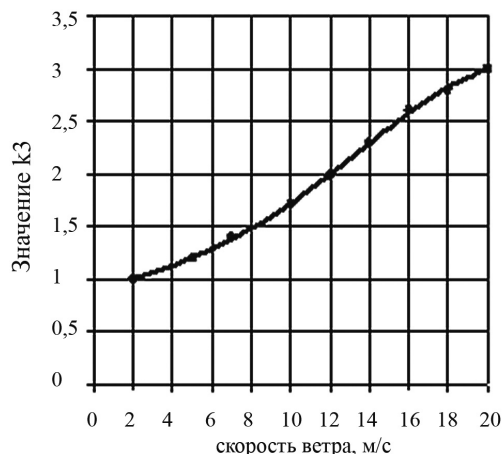


Рис. 1. Зависимость величины k_3 от скорости ветра в зоне взрыва

Согласно (1), интенсивность пылевого выброса от изменения скорости ветра с 5 до 15 м/с, судя по представленному графику, увеличится, при прочих одинаковых условиях, примерно в 2 раза. Таким образом, ориентировочно, 8,3% массовых взрывов в карьерах за год или столько же процентов дней в году будут сопровождаться интенсивностью пылевого выброса, как минимум, в два раза большей, чем для средней скорости ветра.

Практически аналогичная зависимость для расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при взрывных работах представлена в [4]. Так суммарная масса веществ (твердые частицы и газы), выбрасываемых с пылегазовым облаком при производстве одного взрыва, определяется по формуле

$$M = K \cdot q \cdot A (1 - \eta), \quad (2)$$

где K – безразмерный коэффициент, который учитывает гравитационное оседание вредных веществ в пределах разреза, который для твердых частиц принимается равным 0,16 (для газов 1,0); q – удельное выделение вредных веществ при взрыве 1 т. ВВ, т/т; A – количество взорванного ВВ, т; η – эффективность средств пылеподавления, доля единицы (при гидрозабойке скважин $\eta = 0,6$ для твердых частиц и $\eta = 0,85$ для газов; при гидрогелевой забойке – соответственно 0,50 и 0,85; для обводненных скважин $\eta = 0,5$ для твердых частиц).

Модель (2) выглядит несколько более эффективной с точки зрения учета используемых средств пылеподав-

ления, но она, в отличие от (1), не учитывает скорость ветра. Примечательно, что удельное выделение вредных веществ q , в частности пыли, в зависимости от вида применяемого ВВ, может изменяться в довольно широких пределах, примерно от 0,001 до 0,1 т./т., как и произведение переменных a_1 и a_2 в уравнении (1), которое тоже характеризует пылевыведение.

Более поздняя версия методики [4] содержит дополнительно расчет параметров пылегазового облака, образующегося при взрывных работах [5]. Расчет параметров производится на момент максимального развития пылегазового облака при сохранении достаточно четких его очертаний.

Объем пылегазового облака (V_0) рассчитывается по эмпирической формуле

$$V_0 = 44000A^{1,08}, \quad (3)$$

где A – количество взорванного взрывчатого вещества, т.

Возможен расчет V_0 по упрощенным формулам:

– при $A \leq 3$ т $V_0 = 47890 (A - 0,062)$;

– при $3 \text{ т} < A \leq 30$ т $V_0 = 57580 \cdot (A - 0,62)$;

– при $A > 30$ т $V_0 = 69220 \cdot (A - 6,2)$.

По этой же методике можно вычислить температуру газов в облаке (T_0) по формуле

$$T_0 = T_b + \Delta T, \quad (4)$$

где T_b – температура окружающего воздуха, °С; ΔT – перегрев пылегазового облака относительно окружающего воздуха, °С, зависящий от применяемого ВВ и массы его заряда.

Полученное значение T_0 позволяет оценить высоту подъема облака при различных состояниях атмосферы: неустойчивой, безразличной и устойчивой, в зависимости от температуры окружающего воздуха. В частности, для горячих дымовых газов, выбрасываемых из высоких труб, используют двухкомпонентные эмпирические формулы, в которых одна компонента обусловлена динамикой выбрасываемого в открытую атмосферу газа, а другая – эмиссией тепла. В качестве примера может служить формула Карсона-Мозеса [6], для определения приращения высоты подъема газовой струи относительно устья дымовой трубы в зависимости от режимов стратификации атмосферы

$$\begin{aligned} \Delta h &= 3,47 \frac{V_s d}{u} + 5,15 \frac{(Q_h)^{0,5}}{u} - \text{неустойчивый}; \\ \Delta h &= 0,35 \frac{V_s d}{u} + 2,64 \frac{(Q_h)^{0,5}}{u} - \text{безразличный}; \\ \Delta h &= -1,04 \frac{V_s d}{u} + 2,24 \frac{(Q_h)^{0,5}}{u} - \text{устойчивый}, \end{aligned} \quad (5)$$

где V_s – скорость газа на выходе из источника, м/с; d – диаметр устья источника, м; $Q_h = mC_p(T_0 - T_a)$, – скорость эмиссии тепла из источника (здесь T_a – температура окружающего воздуха; m , C_p – массовая скорость истечения потока воздуха и его теплоемкость).

Аналогичный подход возможен и при определении высоты облака, образующегося практически сразу после массового взрыва. Причем динамическая и

тепловая компоненты высоты подъема облака будут определяться технологией подготовки и проведения взрывных работ, массой и типом применяемого ВВ. Дальнейшая оценка концентрации загрязняющих веществ в результате переноса и диффузии пылегазового облака возможна с использованием соответствующих математических моделей.

Поскольку упоминавшаяся выше методика ОНД-86 ориентирована на непрерывные источники пылевыведения, для оценки загрязнения атмосферы залповыми выбросами разработан ряд математических моделей [7–8]. Среди них есть как простые (двухмерные экспресс-модели рассеяния примесей с гауссовым распределением их концентраций), так и сложные трехмерные модели переноса-диффузии дисперсной фазы в приземном слое, учитывающие неоднородность подстилающей поверхности. Наиболее полные и совершенные модели требуют наличия дополнительной информации, которую зачастую невозможно собрать или получить экспериментально.

Кроме того, перенос и рассеяние твердых частиц в воздухе, в отличие от газообразных загрязнителей, сильно зависит от действия силы тяжести. Оно проявляется в том, что осевая линия выброса по мере переноса загрязнителя по ветру отклоняется вниз, в сравнении с горизонтальной осью шлейфа газообразной эмиссии, если конечно не учитывать температурную стратификацию атмосферы. Поэтому важную роль в переносе частиц играет высота источника или эффективная высота выброса.

Выбор конкретной модели обуславливается требованиями к моделированию, характеру оценок загрязнения, специфики распространения примесей в различных метеорологических условиях, в основном от скорости ветра и стратификации атмосферы. При залповом выбросе важно учитывать динамические показатели выброса, влияющие на высоту пылегазового облака и массу частиц в нем.

При создании наиболее общей математической модели переноса и рассеивания частиц пыли залповый выброс можно заменить системой точечных импульсных источников с разными координатами и даже с различным дисперсным составом частиц пыли в разных объемах облака, которые условно принимают точечными. Для этого формально используется импульсная функция Дирака (дельта-функция), чем обеспечивается относительная простота и универсальность задания разнообразных по физическому содержанию типов выбросов и их включение в компьютерную вычислительную модель. Причем в ходе численных расчетов абстрактная по физическому содержанию дельта-функция заменяется распределенным выбросом в рамках пространственного и временного масштабов дискретизации.

С учетом дельта-функции, которая используется для описания источника выброса, математическая модель переноса и рассеяния „тяжелых“ аэрозолей (плотность их вещества существенно выше плотности воздуха) описывается дифференциальным уравнением [7]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s) \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \text{div}(\mu \nabla \varphi) + \sum_{i=1}^N q_{i(t)} \delta(r - r_i(t)) \quad (6)$$

где φ – концентрация аэрозолей в воздухе, мг/м³; u, v, w – компоненты вектора скорости воздушной среды в декартовой системе координат X, Y, Z , (плоскость XOY соответствует поверхности Земли), м/с; w_s – скорость гравитационного оседания аэрозолей в воздухе (скорость витания), м/с; σ – коэффициент взаимодействия аэрозолей с атмосферой (распад, химическое разложение, разрушение или коагуляция) с течением времени, с⁻¹; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициент турбулентной диффузии и его компоненты, м²/с; $q_{i(t)}$ – импульсный выброс i -го точечного источника загрязнения при общем их количестве N , мг (г, кг); $(x_i, y_i, z_i)_i$ – координаты точечных источников загрязнения, м; $\delta(r - r_{i(t)})$ – дельта-функция Дирака в рамках пространственного масштаба, м³ с⁻¹; t – время, с.

Модель (6) применяют при расчетах рассеивания как импульсных (залповых), так и непрерывно действующих источников. В последнем случае непрерывный источник заменяют последовательностью импульсных источников, распределенных во времени. При взрывных работах имеем дело с импульсным выбросом, который характеризуется коротким временем залпа.

Трехмерную пространственную модель (6) обычно используют для расчета грубодисперсных аэрозолей, поскольку оседание крупных частиц пыли происходит преимущественно вблизи их источников. Если частицы имеют размер менее 10 мкм (тонкая или респираторная пыль), то скорость их оседания настолько мала, что они движутся, по существу, так же, как и газ, в котором они взвешены. Поэтому тонкодисперсная пыль и газообразные выбросы распространяются на значительные расстояния и для прогноза их рассеивания можно использовать двухмерную модель.

Дополнительной задачей моделирования является определение количества аэрозолей, осевших на

земной поверхности за рассматриваемый промежуток времени T , для определения которого обычно применяют формулу

$$G = \int_0^T dt \iint_{S, z=0} (w_s + \mu \alpha) \varphi(x, y, z = 0, t) ds \quad (7)$$

где S – рассматриваемый участок поверхности региона, м²; α – показатель оседания, м⁻¹.

Процедура вычислений интегралов в моделях (6) и (7) требует значительных машинных ресурсов и времени даже с учетом решения дифференциального уравнения (6) с постоянными значениями параметров и коэффициентов (скорость ветра и скорость оседания дисперсной фазы, а также коэффициенты турбулентной диффузии и взаимодействия аэрозолей с атмосферой).

Причем затраты машинного времени на интегрирование представленных выше уравнений в прогрессии возрастают с уменьшением шагов интегрирования в пространстве и во времени. Поэтому для оперативного решения дифференциальных уравнений переноса примесей в воздухе в условиях любого предприятия, в том числе и карьеров, с использованием обычного ПК, требуются алгоритмы, эффективные по времени решения. В общем случае, интенсивность одного мгновенного точечного выброса аэрозольной субстанции, мг/м³с, задается импульсной функцией в виде $q \cdot \delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0) \delta(t - t_0)$, где q – количество выбрасываемой пыли. При решении задачи полагают, что частицы оседают в воздухе, не взаимодействуя с атмосферой, и не влияют на перемещение воздушных масс. Аналитическое решение задачи строят для дифференциального уравнения с постоянными параметрами и коэффициентами (u, v, w, μ, σ). При этом распределение концентрации в пространстве (x, y, z) при мгновенном (залповом) точечном выбросе загрязнения мощностью $q dt$, в точке (x_0, y_0, z_0) в момент времени $t = \tau$ можно вычислить по упрощенной формуле (без расщепления источника на зеркально расположенные относительно земной поверхности) [7]

$$\varphi_\tau(x, y, t, x_0, y_0, \tau, q) = \frac{q \theta(t - \tau)}{(2\sqrt{\pi \mu(t - \tau)})^3} \exp(-\sigma(t - \tau)) \times \exp\left(-\frac{(x - x_0 - u(t - \tau))^2 + (y - y_0 - v(t - \tau))^2 + (z - z_0 - w(t - \tau))^2}{4\mu(t - \tau)}\right) \quad (8)$$

где $\theta(\tau) = \begin{cases} 0, \tau < 0 \\ 1, \tau > 0 \end{cases}$ – идеальная ступенчатая функция Хевисайда.

Представленное решение опробовано нами в программном пакете “Scilab”, который доступен и свободно распространяется. Графика указанного пакета позволяет наблюдать за изменениями концентрации пыли в задаваемые моменты времени. Решение (8) дает несколько заниженные относительно фактических значений концентрации пыли у земной поверхности, поэтому может быть использовано преимущественно для выявления характера переноса и рассеивания

пыли после массовых взрывов. Вместе с тем, его можно использовать для получения относительных изменений концентрации до и после применения предлагаемых способов или мероприятий по уменьшению пылевых выбросов при массовых взрывах, когда требования к точности определения концентраций пыли могут быть снижены, поскольку важны относительные величины, рассчитанные по одной и той же методике. Получаемые относительные вели-

чины позволят оперативно оценивать изменения как эффективности предложенных мероприятий по снижению залповых пылевых выбросов, так и уровня экологической опасности массовых взрывов по пылевому фактору при разной технологии взрывных работ и разных средствах пылеподавления, не прибегая к высокоточным расчетам концентраций.

Оперирование с относительными значениями концентрации частиц пыли в приземном слое после залпового выброса для оперативного прогноза экологической опасности массовых взрывов в карьерах позволяет использовать еще более простые математические модели. Так, в [8] предложена нестационарная трехмерная модель переноса и оседания достаточно тяжелых аэрозолей, учитывающая дисперсный состав пыли, высоту подъема пылегазового облака в момент его зарождения, а также скорость оседания частиц в зависимости от их массы.

В этой математической модели предложено после взрыва формально сосредоточить всю массу выброшенной пыли в облаке единичного объема (1 м³), расположенном на высоте первоначального его подъема $h = z_0$. С этого момента времени динамика концентрации пыли описывается математической моделью в виде дифференциального уравнения

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial \phi}{\partial x} - u\phi) + \frac{\partial \phi}{\partial y} (D_y \frac{\partial \phi}{\partial y} - v\phi) + \frac{\partial \phi}{\partial z} (D_z \frac{\partial \phi}{\partial z} - (w - w_i)\phi) - \sigma\phi + q_0 \quad (9)$$

Здесь вектор коэффициента турбулентной диффузии $\mu = (\mu_x; \mu_y; \mu_z)$ заменен на аналогичный вектор $D = (D_x; D_y; D_z)$, м²/с.

Модель (9) аналогична модели (6), но не содержит абстрактной дельта-функции в описании источника пыли, что упрощает интегралы решения. Согласно этой модели распределение концентраций смеси над земной поверхностью после выброса пыли массой M_0 в точке с координатами (0,0,h) может быть представлено решением, которое реализуется в стандартном пакете Mathcad

$$\phi(X, Y, Z, t) = M \cdot \phi_x(X, t) \cdot \phi_y(Y, t) \cdot \phi_z(Z, t), \quad (10)$$

где

$$\phi_x(X, t) = \left(\frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot D_x \cdot t}} \right) e^{-\left[\frac{\left(X - u \cdot \sin\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) t \right)^2}{4 \cdot D_x \cdot t} \right]};$$

$$\phi_y(Y, t) = \left(\frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot D_y \cdot t}} \right) e^{-\left[\frac{\left(Y - u \cdot \cos\left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180}\right) t \right)^2}{4 \cdot D_y \cdot t} \right]};$$

$$\phi_z(Z, t) = \left(\frac{1}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot D_z \cdot t}} \right) \cdot e^{\left[\frac{-w(Z-H)}{2D_z} \right]} \times \left[e^{\left[\frac{-(Z-H)^2}{4 \cdot D_z \cdot t} \right]} + e^{\left[\frac{-(Z+H)^2}{4 \cdot D_z \cdot t} \right]} - \left[-\alpha \cdot \sqrt{\pi \cdot D_z \cdot t} \cdot e^{\left[\frac{-(Z+H)^2}{4 \cdot D_z \cdot t} \right]} \cdot \Phi(\xi) \right] \right]$$

Здесь u – скорость ветра по оси x

$$\Phi(\xi) = e^{\xi^2} \operatorname{erfc}(\xi); \quad \alpha = \frac{w_i}{2D_z},$$

где w_i – скорость оседания частиц пыли каждой фракции.

Для значений $\Phi(\xi) > 5$ необходимо воспользоваться приближением: $\Phi(\xi) = \frac{1 - 0,5\xi^2}{\sqrt{\pi}\xi}$, полученным на основе асимптотического разложения функции $\operatorname{erfc}(\xi)$ при больших значениях аргумента.

Приведенное решение предполагает, что пыль не поддается физико-химическим преобразованиям, скорость ее взаимодействия с воздухом равна нулю и имеет в пакете Mathcad вид, показанный на рис. 2.

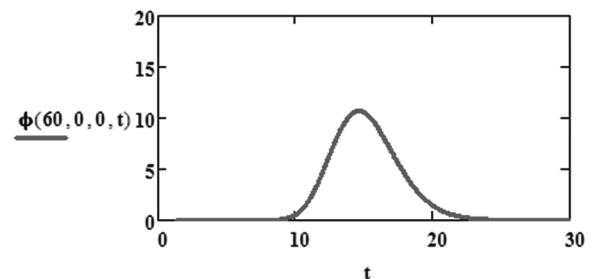


Рис. 2. Иллюстрация характера изменения концентрации пыли ϕ , (мг/м³) у земной поверхности на расстоянии 60 м от эпицентра залпового выброса в течение первых 30 с

Примечательно, что для разнородного дисперсного состава пыли, содержащей n фракций с соответствующим определенным средним размером частиц, результирующая концентрация может быть определена без интегрирования как суммарная концентрация, получаемая суперпозицией n отдельных решений.

$$\phi_z(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^n p_i \phi_i(x, y, z, t, w_i), \quad (11)$$

здесь p_i – часть пыли i -й фракции, в долях единицы.

Согласно этой модели, массу пыли Mt , которая осела за период времени t после залпового выброса на поверхности земли в точке с координатами (x, y) , в отличие от (7), можно определить путем взятия лишь одного интеграла по формуле

$$M_i(x, y, t) = \sum_{i=1}^n w_i p_i \int_0^t \varphi_i(x, y, 0, t, w_i) dt \quad (12)$$

Модель (10) опробовалась авторами для оценки динамики значений приземных концентраций пыли в результате рассеивания пылегазового облака на прилегающих территориях Анновского карьера Северного ГОКа, на котором при отработке верхних уступов восточного борта применяются буровзрывные работы. Результаты расчетов концентрации пыли на границе СЗЗ не противоречили экспериментальным данным о запыленности воздуха.

Последующим заключительным этапом расчетов является оценка эффективности предлагаемых мероприятий и средств по снижению выбросов при массовых взрывах в карьерах и соответствующего уровня снижения их экологической опасности.

Эффективность разрабатываемых мероприятий и технических средств, направленных на снижение пылевого выброса или его локализацию, а также соответствующие уровни снижения экологической опасности должны оцениваться по фактору распространения пыли в приземном слое атмосферы под действием ветра и соответствующим значениям содержания пыли в воздухе на высоте 2 м от земной поверхности. Однако, стандартная методика ОНД-86 не может быть использована для расчетов концентрации пыли при залповых выбросах. Она ориентирована на использование усредненных показателей источников и параметров окружающей среды. Кроме того, методика не учитывает полную совокупность факторов, от которых может зависеть эффективность разрабатываемых технических средств, и не предназначена для контроля или расчетов в оперативном режиме с непрерывно изменяющимися параметрами. Очевидно, что при оперативном прогнозе необходимо учитывать изменчивость разных параметров и показателей выброса. Поэтому упомянутые оценки мы предлагаем производить на основе предложенных выше математических моделей, основанных на оперативном решении дифференциальных уравнений рассеяния пыли в атмосфере.

Полученные на этих моделях поля концентрации пыли или ее оседания по своей сути не противоречат результатам расчетов по методике ОНД-86, в основе которой лежат результаты решения дифференциального уравнения рассеивания загрязнителей в атмосфере. Конечно, рассчитанные по предложенным моделям конкретные абсолютные числовые значения не могут считаться абсолютно достоверными, но кратности их изменения, т.е. относительные безразмерные величины, на наш взгляд допустимо использовать при упомянутых оценках. Так, для оценки эффективности мероприятий по снижению пылевых выбросов при массовых взрывах в карьерах можно получить следующие относительные показатели их эффективности:

– степень перемещения области максимальных приземных концентраций пыли к ее источнику или сужения этой области, что будет характеризовать локализацию выброса пыли на меньшей территории;

– характер изменения дисперсного состава выбрасываемой и рассеиваемой пыли за счет коагуляции и укрупнения ее частиц, что способствует интенсивному оседанию пыли ближе к источнику;

– кратность снижения эффективной высоты пылевого выброса, что скажется на значениях приземных концентраций на границе санитарно-защитной зоны шахты и площади локализации выброса.

Примечательно, что, согласно ОНД-86, для дымовых труб (горячий выброс) максимальная приземная концентрация загрязнителя в воздухе C_m (мг/м³) обратно пропорциональна квадрату высоты трубы, т.е.

оценивается величиной $C_m \approx K \frac{1}{H^2}$, а для выброса

холодной газозооной смеси примерная зависимость максимальной концентрации от высоты источника составит $C_m \approx K' \frac{1}{H^{4/3}}$, где K и K' – константы,

определяемые по формулам методики. Вычисляя по приведенным соотношениям кратность изменения C_m в определенной точке до и после применения мероприятий по снижению высоты выброса, можно оценить достигнутую эффективность этого мероприятия, а также степень уменьшения экологической опасности пылевого выброса, например, путем оценки уровня экологического риска для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха при средних показателях его запыленности.

Оценку потенциального экологического риска от воздействия загрязнителей на здоровье человека, согласно методическим указаниям МОЗ Украины [9], осуществляют путем сравнения фактических уровней экспозиции загрязнителя с безопасными (референтными) уровнями влияния и определением коэффициента опасности как отношения

$$HQ = AC / RfC, \quad (13)$$

где AC – средняя концентрация, мг/м³; RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м³.

Критерии для характеристики коэффициента опасности приведены в табл. 1 [9].

Таблица 1

Критерии не канцерогенного риска

Характеристика риска	Коэффициент опасности (HQ)
Риск возникновения вредных эффектов рассматривают как пренебрежимо малый	<1
Предельная величина, которая не требует срочных мероприятий, однако не может рассматриваться как довольно приемлемая	1
Вероятность развития вредных эффектов возрастает пропорционально увеличению HQ	> 1

Дополнительно по полученной кратности отклонения содержания загрязнителя от референтной концентрации, путем сопоставления, можно, например, по табл. 5 [10] определить фактическую степень эко-

логической опасности источника пыли, газа или другого загрязнителя для здоровья населения в выбран-

ных точках территории воздействия выброса этого загрязнителя.

Таблица 2

Классификация уровней экологической опасности по кратности превышения ПДК загрязнителя в атмосфере

Уровень загрязнения	Степень опасности	Кратность превышения ПДК
Допустимый	Безопасная	<1
Недопустимый	Слабо опасная	>1–2
Недопустимый	Умеренно опасная	>2–4,4
Недопустимый	Опасная	>4,4–8
Недопустимый	Очень опасная	>8

Потенциальный экологический риск от массовых взрывов в карьерах может быть оценен как риск загрязнения составляющих окружающей среды, в частности почвы, в зависимости от пылевой нагрузки, по формуле

$$R = \frac{1}{(1 - X)^\alpha},$$

где X – нормированная техногенная нагрузка ($0 \leq X \leq 1$); α – показатель восприимчивости объекта к данному виду нагрузки ($\alpha \geq 1$).

При воздействии пыли величина X представляет собой техногенную нагрузку на почву по пылевому фактору, а α – восприимчивость почвы к пылевой нагрузке.

Кроме того, возможна количественная оценка экологического риска по величине возможного ущерба от проявлений опасности, в частности воздействия пыли

$$R = P \cdot Z,$$

где P – вероятность экологической опасности; Z – величина возможного ущерба от проявлений этой опасности. Необходимые значения параметров такой модели можно оценить экспертным путем или по имеющимся аналогичным данным.

Выводы. Оценка массы или объема залповых выбросов пыли при массовых взрывах в железорудных карьерах возможна на основе известных методик, применяемых на горных предприятиях других отраслей промышленности. При этом важен учет скорости ветра при взрывных работах, интенсивности предварительного орошения поверхности в зоне забоя и обводненности скважин.

Принимая во внимание непродолжительность воздействия залповых выбросов после взрывов на окружающую среду, для оперативного расчета приземной концентрации рассеиваемой пыли рекомендованы упрощенные математические модели переноса загрязнителей на основе решения соответствующих дифференциальных уравнений.

Предложенные способы оценки эффективности мероприятий по снижению выбросов пыли после массовых взрывов в карьерах и уровней экологической опасности этих выбросов по пылевому фактору ориентированы на использование разных критериев, в частности: высота подъема газопылевого облака, а также относительные изменения приземной концентрации пыли и возможного ущерба от ее воздействия.

Список литературы / References

1. *Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий*: ОНД-86 / Госкомгидромет.– Офиц. изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.– 94 с.: ил. табл.– (Нормативный документ Госкомгидромета).
Method of calculation of hazard substances concentration in air from enterprises emission: OND-86 / Goskomgidromet.– Official. issue. – L.: Gidrometeoizdat, 1987.– 94 p.– (normative document Goskomgidrometa).
2. *Зберовский А.В.* Охрана атмосферы в экосистеме „карьер – окружающая среда – человек“ / Зберовский А.В. – Д.:РІО АП ДКТ, 1997.– 136 с.
Zberovskiy A.V. Atmosphere protection in ecosystem ‘opencast mine – environment– human being’ / Zberovskiy A.V. – D.:RІO AP DKT, 1997.– 136 p.
3. *Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов* / Минстройматериалов СССР (Утверждено 16 мая 1985 г.), НПО „Союзстромэкология“.– Новороссийск, 1989.– 18 с.– (Нормативный документ Минстройматериалов СССР).
Operating instructions on emission calculation from non-organized sources of building industry / Minstroy-materialov USSR (approved on May 16, 1985), NPO “Soyuzstromehkologiya”.– Novorossiysk, 1989.– 18 p.– (normative document Minstroy-materialov USSR).
4. *Отраслевые методические указания по определению количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при взрывных работах в угольных разрезах* / Минуглепром СССР ВНИИОСуголь.– Пермь, 1984.– 13 с.: ил. табл.– (Нормативный документ Минуглепром СССР)
Branch-wise operating instructions on calculation of hazard substances discharged in atmosphere from explosive operations at coal open-cast / Minugleprom USSR VNIIOСugol.– Perm, 1984.– 13 p.: illustrated. tables.– (normative document Minugleprom USSR)
5. *Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов* / Новороссийск: ЗАО „НИПИОТСТРОМ“, 2000.– 28 с. (Нормативный документ НПО „Стромэкология“).
Operating instructions on emission calculation from non-organized sources of building industry / Novorossiysk: ZAO “NIPIOTSTROM”, 2000.– 28 p. (normative document NPO “Stromehkologiya”).
6. *Уорк К.* Загрязнение воздуха. Источники и контроль / Уорк К., Уорнер С. – М.: Мир, 1980. – 539 с.

Uork K. Air pollution. Sources and control / Uork K., Uorner S. – М.: Mir, 1980. – 539 p.

7. *Беляев Н.Н.* Методы экспресс расчета уровня загрязнения атмосферы / Беляев Н.Н., Кореньюк Е.Д., Хрущ В.К. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 192 с.

Belyaev N.N. Express method of atmosphere pollution rate estimation / Belyaev N.N., Korenyuk E.D., Khrushch V.K. – Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie, 2002. – 192 p.

8. *Рудаков Д.В.* Математичні моделі в охороні навколишнього середовища: [Навчальний посібник] / Рудаков Д.В. – Д.: Вид-во Дніпропетровського університету, 2004. – 160 с.

Rudakov D.V. Mathematical models in environmental protection: [Tutorial] / Rudakov D.V. – D.: Vyd-vo Dnepropetrovskoho universytetu, 2004. – 160 p.

9. *Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: [Методичні рекомендації]* / МОЗ України (Затверджено за наказом МОЗ України від 13.04.2007р. №184).– Офіц. вид.– 2007. – 28 с.– (Нормативний документ МОЗ України).

Human health risk from air pollution assessment: [Operating instructions] / MOZ of Ukraine (approved by MOZ of Ukraine on April 13, 2007 No.184).– Official issue.– 2007. – 28 p.– (normative document MOZ of Ukraine).

10. *Матеріали з впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря* / [За ред. С. С. Куруленка] – К.: ДЕІ Мінприроди України, 2007.– 216 с.

Materials on introduction of new control mechanism over hazard substances emission in air / [edited by. S.S. Kurulenkaj] – К.: DEI Minpryrody Ukrainy, 2007.– 216 p.

Виконано порівняльний аналіз відомих методик оцінки викидів пилу при проведенні підричних робіт на гірських підприємствах. Проаналізовано математичні моделі, що можуть бути використані для розрахунку приземної концентрації пилу після залпових викидів. Запропоновано способи оцінки ефективності заходів щодо зниження викидів пилу після масових вибухів у кар'єрах і рівнів екологічної небезпеки цих викидів за пиловим фактором.

Ключові слова: екологічна небезпека, залізородні кар'єри, масові вибухи, залпові викиди, забруднення атмосфери, математична модель розсіювання пилу

Comparative analysis of known techniques of estimation of dust emissions during explosive works at mining enterprises is carried out. Mathematical models which can be used for calculation of ground concentration of dust after volley emissions are analyzed. Ways of estimation of efficiency of actions aimed emissions of dust decrease after mass explosions in open-cast mines and determination of levels of ecological danger of these emissions according to the dust factor are offered.

Keywords: ecological hazard, ore open pits, mass explosions, volley emission, atmosphere contamination, mathematical model of dust diffusion

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Т.І. Долговою. Дата надходження рукопису 04.03.11

УДК 574.24:573.871

**В.Н. Лапицкий, канд. техн. наук,
Ю.Л. Мамайкина**

Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: mamaikina@rambler.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ОБЗОР)

**V.N. Lapitskiy, Cand. Sci. (Tech.),
Yu.L. Mamaikina**

State Higher Educational Institution
“National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine,
e-mail: mamaikina@rambler.ru

ELECTROMAGNETIC FIELDS AS AN ECOLOGICAL FACTOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (REVIEW)

Рассмотрена проблема загрязнения окружающей среды электромагнитными полями разных диапазонов частот. Приведен обзор источников техногенного электромагнитного излучения и последствий его воздействия на организм человека. Выявлены трудности анализа пространственной структуры электромагнитных полей как на открытой местности, так и внутри помещений, не связанных с обслуживанием различных радиотехнических объектов.

Ключевые слова: экология, электромагнитное загрязнение, здоровье человека

Вступлення. В последние десятилетия бурное развитие получили различные технологии, прямо или

косвенно связанные с излучением электромагнитной энергии в окружающую среду. Освоение частотных диапазонов, развитие радиовещания, увеличение каналов телевизионного вещания, развитие систем под-