

УДК 66.022.63:502.36

Д.В. Рудаков, д-р техн. наук, проф.,
А.Д. Ляховко

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина,
e-mail: dmi3rud@mail.ru; skybrash2008@yandex.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

D.V. Rudakov, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
A.D. Lyakhovko

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine,
e-mail: dmi3rud@mail.ru, skybrash2008@yandex.ru

PREDICTION OF ENVIRONMENTAL IMPACT OF MODERNIZATION OF GAS TREATMENT EQUIPMENT AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Цель. Дать количественную оценку экологического эффекта применения аппаратов Электроциклон для снижения уровня загрязнения атмосферы в промышленных городах за счет уменьшения содержания мелких частиц в выбросах пыли металлургических предприятий.

Методика. Основана на моделировании рассеивания твердых частиц в воздушной среде, описываемом трехмерным уравнением переноса, и диффузии примеси в приземном слое атмосферы над неоднородной поверхностью. В математической модели, основанной на принципе смены стационарных состояний, используются распределенные параметры скорости ветра и повторяемости его направлений.

Результаты. Построена модель для расчета среднегодовых приземных концентраций твердых частиц в воздухе на территории вокруг источников стационарных выбросов пыли при распределенных параметрах скорости ветра. Прогноз на основе численного моделирования показал существенное снижение концентрации пыли вокруг металлургического комбината им. Дзержинского в г. Днепропетровск в результате снижения доли мелких частиц в пылевых выбросах за счет применения аппарата Электроциклон.

Научная новизна. Состоит в разработке и практической демонстрации подхода к прогнозированию экологического эффекта снижения техногенного воздействия на состояние воздушной среды, что достигается за счет дополнительной очистки пыли, существенно изменяющей ее дисперсный состав. Разработанная модель, адекватно учитывающая метеорологические условия рассеивания частиц, условия выброса и параметры розы ветров, может рассматриваться как инструмент экологического картирования промышленных регионов.

Практическая значимость. Состоит в обосновании экологического и социального эффекта технологических мероприятий по модернизации газоочистного оборудования на Днепропетровском металлургическом комбинате им. Дзержинского. Сокращение объемов выбросов пыли и снижение доли мелких частиц позволит уменьшить запыленность воздуха на прилегающей территории, тем самым улучшить условия жизни местного населения. На основе предложенного подхода становится возможным обоснованно определять контуры санитарно-защитных зон вокруг предприятий – загрязнителей атмосферы, с адекватным учетом местных условий.

Ключевые слова: *загрязнение воздуха, твердые частицы, выбросы пыли, очистка выбросов, атмосферная диффузия, моделирование*

Постановка проблемы. Выбросы вредных веществ и пыли предприятиями, использующими устаревшее очистное оборудование, являются одними из основных источников загрязнения воздуха в промышленных городах. Это обуславливает высокую техногенную нагрузку на окружающую среду и является одной из основных причин повышения заболеваемости проживающего там населения.

Металлургический комплекс Украины является базовой отраслью национальной экономики, которая обеспечивает более 25% промышленного производ-

ства и дает около 40% валютных поступлений. Основные металлургические заводы сосредоточены в Донецкой, Днепропетровской, Луганской и Запорожской областях. Как правило, металлургические комбинаты являются градообразующими предприятиями, составляющими ядро региональной экономики [1]. В то же время, эти объекты дают более трети общеукраинских выбросов вредных веществ в атмосферу. Газообразные выбросы в ряде промышленных городов Днепропетровской, Донецкой и Запорожской областей превышают 100 тысяч тонн в год, что серьезно ухудшает условия жизни на этих территориях [2].

Анализ последних исследований. Среди основных видов производств на предприятиях черной металлургии наибольший удельный выход отходящих газов и твердых частиц приходится на агломерационное и доменное производство [3]. При этом наибольшую опасность представляют мелкие твердые частицы размером менее 10 мкм. Они длительное время могут находиться во взвешенном состоянии, мигрировать с воздушными потоками на большие расстояния и легко проникать в органы дыхания человека, что, в конце концов, приводит к ряду опасных заболеваний [4]. Кроме того, эти частицы рассеивают и поглощают солнечное излучение, что оказывает существенное влияние на местный климат. Естественным путем эти частицы могут быть удалены из воздуха, в основном, с осадками (дождь и снегопад).

Проблема пылевого загрязнения воздуха актуальна для крупных промышленных городов и густонаселенных районов во всем мире, поэтому сокращение объемов выбросов мелких частиц в отходящих газах может значительно минимизировать последствия загрязнения воздуха в глобальном масштабе.

По директивам ЕС, с 1 января 2010 года ориентировочные значения концентрации в воздухе твердых частиц менее 10 мкм не должны превышать 20 мг/м³ в течение года, и 50 мг/м³ в день. Существенные ограничения на содержание вредных примесей в воздухе, согласованные с европейским законодательством, вводятся и в Украине.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Для обеспечения этих требований, необходимо предпринять ряд серьезных профилактических мер, которые могут включать:

- изменение технологий и замену старого оборудования;
- увеличение высоты выбросов для снижения приземных концентраций за счет более интенсивной диффузии;
- модернизация пылеулавливающего оборудования и повышение его эффективности.

Последний способ представляется наиболее реалистичным в условиях Украины. В настоящее время запыленные газы, выбрасываемые местными металлургическими предприятиями, эффективно очищаются, в основном, от крупных частиц. Мелкие частицы выбрасываются в атмосферу и рассеиваются далеко от места выброса из-за медленного гравитационного осаждения. В то же время, коренная модернизация существующего пылеулавливающего оборудования металлургических производств, с заменой их на высокоэффективные агрегаты, в современных экономических условиях является пока отдаленной перспективой.

В качестве альтернативы дорогостоящим пылеуловителям предлагается использовать аппараты типа Электроциклон, который представляет собой модернизированный стандартный циклон ЦН с добавлением элементов электрофильтра [5]. Техничко-

экономическая эффективность предлагаемого Электроциклона и применяющихся традиционных пылеулавливающих аппаратов приведена в табл. 1 [6]. Электроциклон имеет высокие технико-экономические показатели по сравнению с применяемыми циклонами и электрофильтрами, и поэтому может быть рекомендован для очистки запыленных выбросов металлургических производств.

Таблица 1

Технико-экономическая эффективность газоочистного оборудования

Оборудование	Степень очистки, в среднем, %	Удельные капитальные затраты на 1000 м ³ газа, грн.*	Стоимость очистки, грн./м ³ час*
циклон	96,99	4,25	2,75
электрофильтр	99,45	12,5	8,25
электроциклон	97,94	5,75	6,75

* – по ценам 2012 г.

Следует учитывать, что внедрение электроциклонов на предприятиях должно быть обосновано не только степенью очистки, но и экологическим эффектом от снижения запыленности воздуха в результате рассеяния выбросов.

Экологический эффект от снижения содержания пыли в отходящих газах зависит от многих факторов, в том числе от: высоты дымовых труб, их расположения, рельефа поверхности земли и ее неоднородности, адсорбции на ней газов и пылевых частиц, изменчивости метеорологических условий в течение длительных периодов времени (месяц, год), которые изменяют скорость осаждения частиц.

Целью данной работы является количественная оценка экологического эффекта применения аппаратов Электроциклон для снижения уровня загрязнения атмосферы в промышленных городах за счет уменьшения содержания мелких частиц в выбросах пыли металлургических предприятий.

Изложение основного материала. Влияние модернизации пылеулавливающего оборудования на снижение концентрации частиц пыли в воздухе изучено на примере ПАО „ДМК им. Дзержинского“, расположенного в г. Днепропетровск. Он известен как один из городов в Украине с наиболее высоким загрязнением воздушной среды. Суммарные выбросы пыли комбинатом в атмосферу в 2011 г. составили 17,936 тыс. тонн, что составляет 66,5% общегородских. При этом на долю аглофабрики приходится значительная часть – более 60% выбросов пыли всего комбината [7]. Источниками выбросов аглофабрики „ДМК им. Дзержинского“, расположенного на правом берегу р. Днепр, являются две трубы высотой около 100 м (рис. 1).

Из-за большой высоты труб и их расположения фактически в центре города, исходящие газы и пыль распространяются на большие расстояния и осаждаются на территориях крупных жилых районов. Годовое доминирование северных ветров (46% всех направлений ветра), приводят к увеличению концентрации твердых частиц в старых южных районах, где живет большинство жителей города. Значительная доля твердых частиц оседает там из-за географического расположения, поскольку эти районы находятся на уровне выше точек выбросов.

Для расчета приземной концентрации использовалась трехмерная модель рассеивания твердых частиц в атмосфере на основе уравнения конвективного переноса, использованная в работах М.С. Берлянда. Как правило, уровень загрязнения воздуха оценивается, исходя из мгновенно измеряемых концентраций или прогнозируемых для загрязненных районов при установившейся скорости и направлении ветра. Такой подход приемлем для мониторинга в режиме реального времени, но не подходит для оценки длительного воздействия газообразных выбросов.



Рис. 1. Выбросы пыли и газа из труб аглофабрики „ДМК им. Дзержинского“ (снимок со спутника)

Ввиду высокой изменчивости ветра, использовать мгновенные концентрации в качестве характеристик загрязнения воздуха не представляется возможным. Поэтому целесообразно выполнять расчеты усредненных концентраций за длительные промежутки времени, например, месяц или год, используя принцип мгновенной смены стационарных состояний атмосферы с установившимися распределениями концентраций, предложенный Г.И. Марчуком. Такой вероятностный подход адекватно учитывает все метеорологические условия на протяжении рассматриваемого периода, и поэтому соответствует временному масштабу экологического картирования. В результате усредненные по времени концентрации взвешенных частиц рассматриваются в качестве интегрального показателя риска для людей, живущих на загрязненных территориях.

Обозначим через $\omega(\theta)$ и $f(u)$ плотности распределения частоты, направления и скорости ветра в течение длительного интервала времени T (месяц, год), θ – угол; измеренный по часовой стрелке от восточ-

ного направления; u – скорость ветра в диапазоне от нуля до максимального значения u_{max} .

Тогда усредненная концентрация пыли в течение интервала времени T , может быть рассчитана по формуле

$$C_T(x, y, z) = \int_0^{u_{max}} \int_0^{2\pi} C_s(x'(\theta), y'(\theta), z) \omega(\theta) d\theta f(u) du, \quad (1)$$

где C_s – концентрация, определяемая путем решения трехмерного уравнения стационарной конвективной диффузии для восточного направления ветра над неоднородной поверхностью с учетом осаждения и адсорбции частиц; x' и y' – координаты, преобразованные по осям вращения Ox и Oy на угол θ .

Принимается, что рельеф и свойства поверхности земли изменяются вдоль направлений, начинающихся от места выброса, что позволяет использовать одномерную модель вдоль каждого направления, и тем самым упростить расчеты. Исходное дискретное рас-

пределение скорости ветра заменяется непрерывным, при этом изменяются параметры атмосферной диффузии.

Уравнение (1) интегрируется для коэффициентов диффузии, осаждения частиц и скорости ветра как распределенных параметров. Они зависят от характеристик климата, неоднородностей рельефа, адсорбции на поверхности земли, неровностей поверхности, высоты выбросов и температуры газов. На основании уравнения (1) обеспечивается быстрый и удобный расчет усредненных по времени приземных концентраций пыли в течение длительного периода времени. Это важно для детального анализа возможных экологических последствий после принятия превентивных мер, например, путем изменения структуры выбросов твердых частиц после модернизации газоочистного оборудования.

Сравнение распределений частиц (рис. 2) показывает сходство пыли, образующейся при агломерационном процессе и выбрасываемой из труб. Частицы пыли размером менее 40 мкм выбрасываются в относительно небольших количествах (14%), большинство их имеют средние размеры (78% частиц диаметром менее 100 мкм). Используемые в настоящее время пылеуловители эффективно улавливают частицы размером более 40 мкм. При оснащении завода электроциклонами возрастет эффективность улавливания более мелких частиц.

Модель использует годовое усредненное распределение местных направлений и частот скорости ветра, а также дополнительную высоту выбросов из трубы из-за их начальной скорости и превышения их температуры над температурой окружающего воздуха.

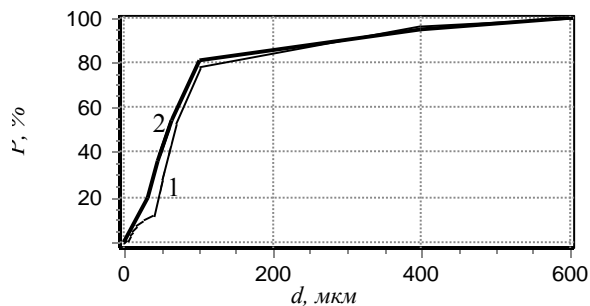


Рис. 2. Распределение частиц пыли по диаметру d , образующихся в агломерационном процессе (1) и выбрасываемых через трубы (2)

Общая масса выбрасываемых твердых частиц при расчете была разделена на фракции после их очистки в циклонах. Скорости осаждения определялись по формуле Стокса для каждой фракции в зависимости от среднего размера и плотности частиц. Результаты прогноза среднегодовых приземных концентраций наиболее подвижных легких частиц размером менее 50 мкм показаны на рис. 3.

По результатам мониторинга в г. Днепропетровск, концентрации твердых частиц часто близки к сани-

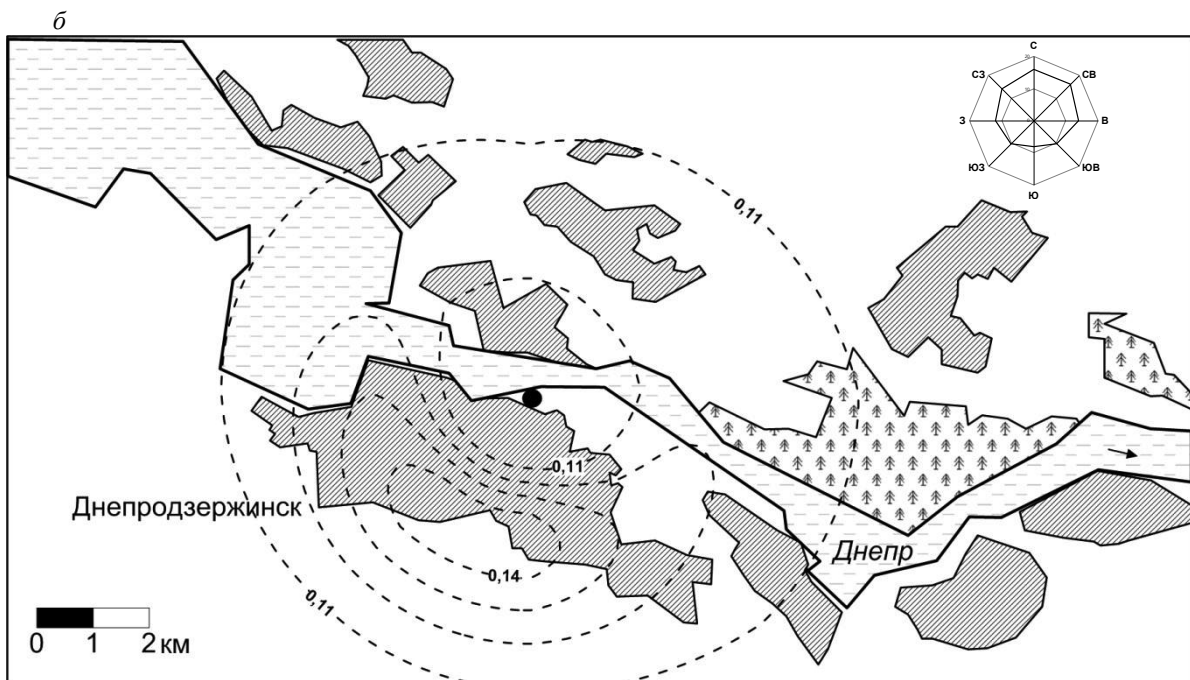
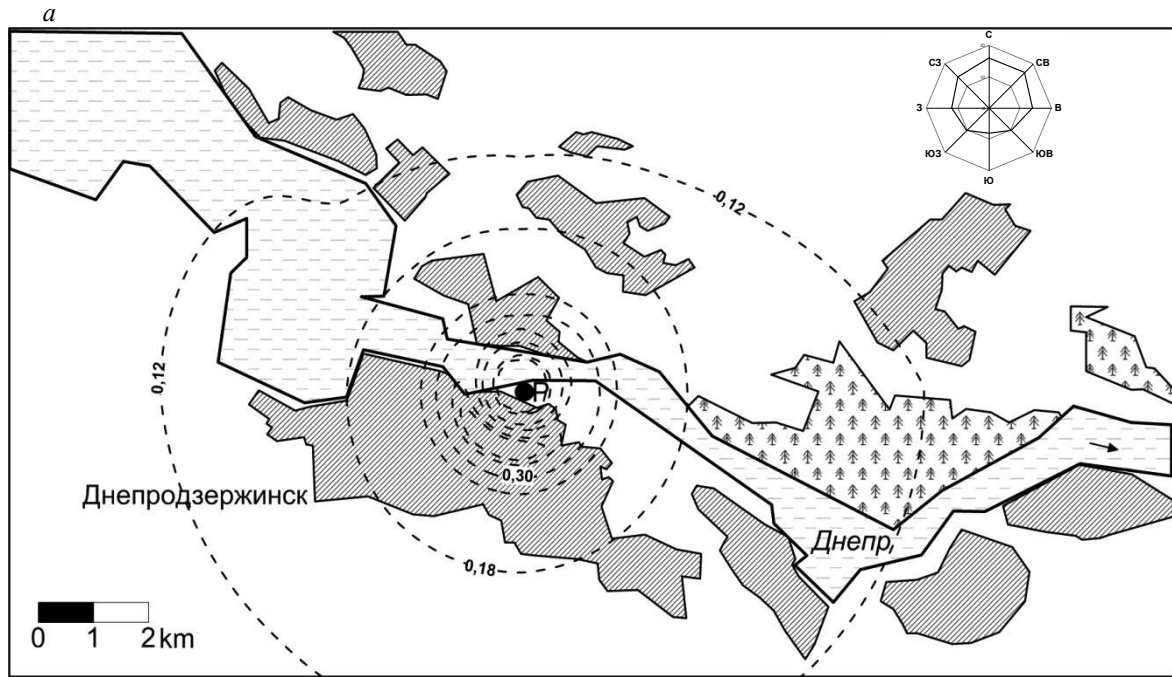
тарным нормам, а нередко и превосходят их. Наиболее высокие концентрации наблюдаются в 2–3 км от завода, в пригородах они уменьшаются. Рассчитанные концентрации согласуются с данными мониторинга в пунктах измерений. Наиболее тяжелые частицы оседают вблизи завода, легкие фракции пыли формируют зоны повышенной концентрации на расстоянии более 3 км. Улавливание мелких частиц ($d < 10$ мкм) выбрасываемой пыли позволит значительно сократить площадь территории, где годовые усредненные концентрации пыли могут превышать санитарные нормы. Снижение доли мелких фракций позволит снизить концентрации пыли в воздухе на площади около 100 км².

Моделирование среднегодовых приземных концентраций твердых частиц позволяет обоснованно устанавливать размер санитарно-защитных зон предприятий. Используемые в настоящее время размеры этих зон часто не отражают местные климатические условия, применяемые технологии и особенности местности. Проведенные исследования подтвердили необходимость должного учета таких параметров как высота выброса, состав пыли, изменчивость ветра, неоднородность рельефа для определения безопасных расстояний от мест выбросов до жилых районов. Разработанная методика может быть предложена в качестве инструмента прогноза более точной количественной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах и долговременных воздействий профилактических мер.

Выводы и перспективы развития направления. Применяемое сейчас на металлургических предприятиях газоочистное оборудование не может эффективно предотвратить загрязнение воздуха во многих промышленных городах Украины. В ряде случаев, как, например, в г. Днепропетровск, экологическая обстановка усугубляется расположением основных источников выбросов в центре города, что приводит к загрязнению воздуха в жилых районах.

Значительное сокращение выбросов наиболее опасных мелких частиц может быть достигнуто за счет применения электростатических циклонов, особенно эффективных для очистки выбросов пыли агломерационного производства. Экологический эффект применения электроциклона зависит как от свойств очищаемых выбросов (распределение частиц по размерам, их токсичность), так и локальных факторов (местоположение завода, метеоусловия, адсорбция и осаждение частиц), которые должны быть комплексно учтены при моделировании атмосферной диффузии частиц.

Достоверные оценки могут быть получены путем моделирования рассеяния пыли с учетом принципа смены стационарных состояний за период прогноза. В результате более глубокой очистки пыли, выбрасываемой „ДМК им. Дзержинского“, может быть достигнут экологический эффект значительного уменьшения концентрации частиц пыли над жилыми районами г. Днепропетровск.



• - место выброса газов и пыли жилае районы зеленые насаждения реки
 --- 0.11 --- изолинии концентрации пыли, мг/м³

Рис. 3. Прогноз среднегодовых приземных концентраций твердых частиц в воздухе над г. Днепродзержинск, выбрасываемых трубами металлургического комбината: а – при нынешнем уровне очистки; б – при дополнительной очистке всех выбросов электроциклонами

Список литературы / References

1. Шакура О.А. Анализ инновационного развития металлургической промышленности в Украине / Шакура О.А. // Економіка і організація управління. Збірник наукових праць ДонНУ. – Донецьк, 2008. – № 4. – 145 с.

Shakura, O.A. (2008), "Analysis of innovative development of metallurgical industry in Ukraine", *Ekonomika i orhanizatsia upravlinnia*, no. 4, DonNU, Donetsk, pp. 145.

2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Дніпропетровській області

за 2011 рік / Державне управління ОНПС у Дніпропетр. обл. – Дніпропетровськ, 2012. – 193 с.

Regional report on the state of the environment in Dnipropetrovsk area in 2011 (2012), State Administration of ONPS in Dnipropetrovsk region, Dnipropetrovsk, Ukraine.

3. Андоньев С.М. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии: монография / Андоньев С.М., Зайцев Ю.С., Филиппе О.В.; общ. ред. О.В. Филиппев – Харьков: ОАО „ЕМЗ“, 1998. – 246 с.

Andoniev, S.M., Zaytsev, Yu.S., and Filipiev, O.V. (1998), *Pylegazovye vybrosy predpriyatiy chernoy metallurgii* [Dust and Gas Emissions of Ferrous Metallurgy Enterprises] Kharkiv, ОАО EMZ, Ukraine.

4. Pope, C.A. III, Ezzati, M., and Dockery, D.W. (2009), Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States, *New England J. Of Medicine*, 360, pp. 376-386.

5. Пат. 77681 Україна, МПК В03 С 3/15. Электроциклон / Заявники Ляховко О.Д., Рудаков Д.В., Власник ДВНЗ Національний гірничий університет. № 201209233; заяв. 27.07.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. №4.

Patent 77681 Ukraine, МПК В03 С 3/15 Electrical dust cleaner / Declared by Liakhovko, O.D., Rudakov, D.V. Owner National Mining University. №201209233; declared on July 27, 2012; published February 25, 2013, Bulletin no. 4.

6. Никифоров А.Ю. Стоимость подавления отходов / А.Ю. Никифоров, А.Н. Тростин. – Иваново: ГОУВПО Ивановский государственный химико-технологический университет, 2007. – 56 с.

Nikiforov, A.Yu. and Trostin, A.N. (2007), *Stoimost podavleniya otkhodov* [Costs of Wastes Treatment] Ivanovo. GOUVPO Ivanovo State Chemical and Technical University, Russia.

7. Охрана окружающей среды в агломерационном производстве / Елисеев А.К., Мартыненко В.А., Каракаш А.И., Колесников В.И. – М.: Металлургия, 1994. – 176 с.

Yeliseev, A.K., Martynenko, V.A., Karakash, A.I. and Kolesnikov V.I. (1994) *Okhrana okruzhayushchey sredy v aglomeratsyonnom proizvodstve* [Environment Protection in Agglomeration Production], Moscow, Metallurgy, Russia.

Мета. Дати кількісну оцінку екологічного ефекту застосування апаратів Електроциклон для зниження рівня забруднення атмосфери у промислових містах за рахунок зменшення вмісту дрібних частинок у викидах пилу металургійних підприємств.

Методика. Заснована на моделюванні розсіювання твердих частинок у повітряному середовищі, що описується тривимірним рівнянням перенесення та дифузії домішки у приземному шарі атмосфери над неоднорідною поверхнею. У математичній моделі, заснованій на принципі зміни стаціонарних станів, використовуються розподілені параметри швидкості вітру та повторюваності його напрямків.

Результати. Побудовано модель для розрахунку середньорічних приземних концентрацій твердих час-

тинок у повітрі на території навколо джерел стаціонарних викидів пилу при розподілених параметрах швидкості вітру. Прогноз на основі чисельного моделювання показав істотне зниження концентрації пилу навколо металургійного комбінату ім. Дзержинського в м. Дніпродзержинськ у результаті зниження частки дрібних фракцій у пилових викидах за рахунок застосування апарату Електроциклон.

Наукова новизна. Полягає в розробці й практичній демонстрації підходу до прогнозування екологічного ефекту зниження техногенного впливу на стан повітряного середовища, що досягається за рахунок додаткового очищення пилу, що істотно змінює його дисперсний склад. Розроблена модель, що адекватно враховує метеорологічні умови розсіювання частинок, умови викиду та параметри розетка вітрів, може розглядатись як інструмент екологічного картування промислових регіонів.

Практична значимість. Полягає в обґрунтуванні екологічного та соціального ефекту технологічних заходів з модернізації газоочисного обладнання на Дніпровському металургійному комбінаті ім. Дзержинського. Скорочення обсягів викидів пилу та зниження частки дрібних частинок дозволить зменшити запиленість повітря на прилеглий території, тим самим поліпшити умови життя місцевого населення. На основі запропонованого підходу стає можливим обґрунтовано визначати контури санітарно-захисних зон навколо підприємств – забруднювачів атмосфери, з адекватним урахуванням місцевих умов.

Ключові слова: забруднення повітря, тверді частинки, викиди пилу, очистка викидів, атмосферна дифузія, моделювання

Purpose. To make the quantitative assessment of the environmental effect of using the Electrical cyclone cleaners for reducing the air pollution level in industrial cities by means of shortening the fine particulate fractions in dust emissions of metallurgical enterprises.

Methodology. The research is based on modeling of particulate dispersion in air that is described by the 3D advection-diffusion equation in the boundary layer of the atmosphere over an inhomogeneous ground surface. The mathematical model based on the principle of changing stationary states uses the distributed parameters for wind velocity and frequency of its directions.

Findings. The model for calculating the annual average on-ground concentrations of particulates in air around the stationary sources of dust emissions has been developed for distributed wind velocity parameters. Prediction made by numerical modeling showed a significant decrease in dust concentrations in the area around the metallurgical plant named after Dzerzhinsky in the city of Dniprodzerzhinsk as a result of reducing the fine particulate share owing to use of the Electrical cyclone cleaners.

Originality. Development and practical demonstration of an approach to predicting the environmental effect of a man-made impact on the air quality that is achieved by further cleaning the ejected dust, essentially

changing its particulate content. In this case, the model developed adequately takes into account the meteorological conditions of particle dispersion, emission conditions, and the parameters of the wind rose, and can be considered as a tool for environmental mapping of industrial regions.

Practical value. Justification of the environmental and social effects of technological measures aimed at modernizing the gas cleaning equipment at the Dneprovsky Metallurgical Plant named after Dzerzhinsky. Reducing dust emissions and declining the share of small parti-

cles in dust will allow reducing the air contamination in neighborhoods, thus improving the living conditions of local population. The proposed approach base enables proper definition of sanitary protection zones around the enterprises that contaminate atmosphere, accounting for local conditions.

Keywords: *air pollution, particulates, dust emission, cleaning the emissions, atmospheric diffusion modeling*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.Є. Колесніком. Дата надходження рукопису 07.08.13.

УДК 519.218

**В.Ф. Стоецкий¹,
В.И. Голинько¹, д-р техн. наук, проф.,
Л.В. Дранишников², д-р техн. наук, проф.**

1 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина, e-mail: golinko@nmu.org.ua
2 – Днепродзержинский государственный технический университет, г.Днепродзержинск, Украина

ОЦЕНКА РИСКА ПРИ АВАРИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

**V.F. Stoetsky¹,
V.I. Golinko¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
L.V. Dranishnikov², Dr. Sci. (Tech.), Professor**

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: golinko@nmu.org.ua
2 – Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine, e-mail: dr-leon@yandex.ru

RISK ASSESSMENT IN MAN-CAUSED ACCIDENTS

Цель. Разработка методики расчета для анализа и оценки риска аварий техногенного характера на опасных производственных объектах, в частности, при выбросе токсичных веществ.

Методика. При анализе и оценке риска возникновения аварий был применен вероятностный метод анализа безопасности с использованием „дерева отказов“.

Результаты. Рассмотрены разные методологические подходы к оценке риска. Показано, что используемые в настоящее время в Украине методики прогнозирования позволяют определить только границы зоны порогового поражения. Предложена методика, которая позволяет производить количественные оценки риска, в частности, индивидуального, территориального и социального рисков. Рекомендовано использовать полученные оценки при декларировании промышленной безопасности потенциально опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности и разработке рекомендаций по уменьшению риска.

Научная новизна. Состоит в научном обосновании методики расчета для анализа и оценки риска аварий техногенного характера на опасных производственных объектах, отличающейся от известных тем, что при определении индивидуального риска учитывается природа аварии, время нахождения работающих в опасной зоне и их местонахождение, что позволяет с большей достоверностью проводить анализ и оценку индивидуального, территориального и социального рисков при выбросе отравляющих веществ.

Практическая значимость. Результаты анализа и оценки риска аварий используются при обосновании технических решений по обеспечению безопасности работы промышленных предприятий.

Ключевые слова: *безопасность, риск, анализ, вероятностные методы исследования*

Постановка проблемы. В последней трети XX столетия человечество вступило в новую фазу своего развития – фазу риска. *Общество риска* – это постиндустриальная формация общества. По мере его развития появляется все больше отрицательных факторов, действие которых неравномерно затрагивает членов общества. Заметим, что в индустриальном обществе вырабатываются и распределяются, главным образом, положительные достижения, а в

обществе риска, которое „вращается“ в индустриальное, между членами общества накапливаются и распределяются отрицательные последствия развития последнего. Таким образом, проблема риска как „предтечи“ экстремальных ситуаций исподволь, но неотвратимо становится одной из неотъемлемых характеристик национальной безопасности.

Выделение нерешенной проблемы. Расчет и анализ риска является тем методическим инструментом, при помощи которого потенциальная опасность может быть оценена количественно. Концептуальная