

УДК 622.457:519.6

**Беляев Н.Н.**, д-р техн. наук, профессор  
(ДНУЖТ им. академика В. Лазаряна)  
**Русакова Т.И.**, канд. техн. наук, доцент  
(ДНУ им. О. Гончара)

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА**

**Біляєв М.М.**, д-р техн. наук, професор  
(ДНУЗТ ім академіка В. Лазаряна),  
**Русакова Т.І.**, канд. техн. наук, доцент  
(ДНУ ім. О. Гончара)

## **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ВИКИДАМИ ГІРНИЧО – ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

**Biliaiev N.N.**, D. Sc. (Tech.), Professor  
(V. Lazzaryan DNURT),  
**Rusakova T.I.**, Ph. D. (Tech.), Associate Professor  
(O. Gonchar DNU)

## **INFORMATION SYSTEM FOR ASSESSING LEVEL OF AIR POLLUTION DUE TO THE EMISSIONS FROM THE ORE MINING-AND-PROCESSING ENTERPRISE**

**Аннотация.** Предмет исследования – процесс рассеивания выбросов и формирования зон загрязнения воздушной среды выбросами горно-обогатительного комбината и автомагистрали на близлежащих территориях города. Целью работы является создание информационной системы оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории, где функционируют данные источники поступления примесей и оценки рисков хронической интоксикации населения. Математическая модель основывается на решении трехмерных уравнений переноса примеси, непосредственно поступающей от постоянно действующего стационарного источника (горно-обогатительного комбината) и линейно распределенного источника (автомагистрали). Численная модель основывается на расщеплении модельных уравнений и их решении с помощью неявной разностной схемы. В результате создано программное обеспечение, позволяющее проводить вычислительные эксперименты по расчету зон загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода с учетом взаимовлияния примеси, поступающей от различного типа источников загрязнения, с учетом метеорологических параметров. На основе полученного поля концентрации проведена оценка изменения риска хронической интоксикации, связанного с загрязнением атмосферного воздуха оксидом углерода на протяжении 10 лет. Полученные закономерности рассеивания примеси на основе взаимовлияния выбросов и расчет рисков интоксикации позволяет решать вопросы по оценке уровня экологической опасности, принимать обоснованные управленческие решения по приоритетности внедрения природоохранных и предупредительных мероприятий защиты населения.

**Ключевые слова:** горно-обогатительный комбинат, автомагистраль, рассеивание примеси, расчет рисков интоксикации, численная модель.

**Введение.** ПАО Южный горно-обогатительный комбинат (ЮГОК) расположен в южной части г. Кривого Рога Днепропетровской области, крупного промышленного центра и железнодорожного узла Украины.

В настоящее время производственные мощности комбината составляют по добыче сырой руды – более 26 млн. тонн, по производству железорудного концентрата – более 12 млн. т, по производству железорудного офлюсованного агломерата – свыше 2 млн. т.

В состав комбината входят 27 структурных подразделений, среди которых ключевое место занимают две обогатительные фабрики и агломерационный цех.

Известно, что добыча руды и ее переработка негативно влияют на окружающую среду. Основной из задач является минимизация вредных выбросов и снижение негативного влияния на окружающую среду при осуществлении технологических процессов, связанных с добычей руды, её измельчением, производством концентрата и агломерата. При проведении массовых взрывов в карьерах в полном объеме используют бестротиловые взрывчатые вещества, что существенно уменьшает объем выбросов газообразных веществ в атмосферный воздух. В карьерах используют эффективные способы пылеподавления. Устанавливаются современные электрофильтры на обжиговых машинах в цехах производства агломерата. Это позволяет снизить выбросы пыли в атмосферу до стандарта – около  $50 \text{ мг/м}^3$ .

К основным загрязняющим веществам, поступающим в атмосферу в результате деятельности предприятия, относятся оксиды азота, оксид и диоксид углерода, пыль неорганическая и диоксид серы. Выявлено, что основными вкладчиками в загрязнение атмосферного воздуха являются обжиговые печи предприятия.

В Кривом Роге функционирует система мониторинга за состоянием атмосферного воздуха, которая медленно, но расширяется. В рамках реализации городской экологической программы на территории Кривого Рога планируют установить 16 постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в городе. В настоящее время работают 4 автоматические измерительные станции, которые анализируют состояние атмосферы практически в режиме реального времени (измерения делаются каждые 20 минут, или 72 раза в сутки) за 7-ю показателями.

На рис. 1 показано расположение ЮГОКа и трёх функционирующих автоматизированных постов: пост № 1 – на пересечении улиц Переяславской и Наливайко; пост № 2 – на пересечении улиц Кармелюка и Панаса Мирного; пост № 3 – вблизи поселка НКГОК. Данные посты передают показания по пыли, диоксиду серы  $SO_2$ , диоксиду азота  $NO_2$  и оксиду углерода  $CO$ . Наибольшие показатели отслеживаются для оксида углерода.

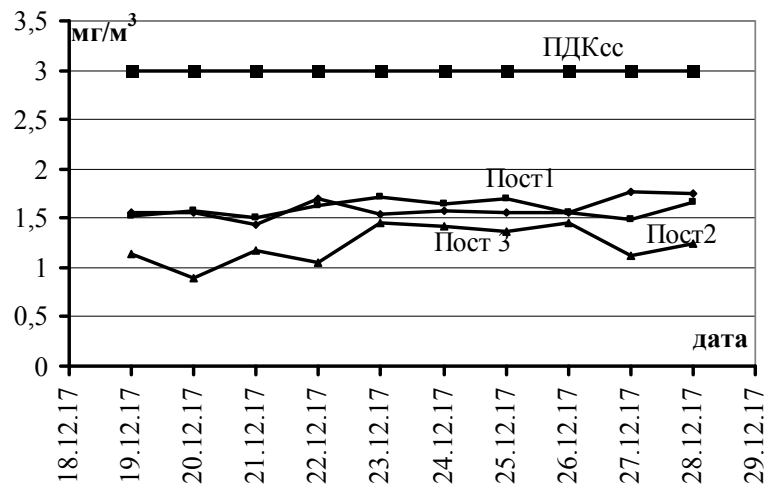
Оксид углерода  $CO$  – наиболее распространенная и самая значительная (по массе) примесь в атмосфере. В естественных условиях содержание  $CO$  очень мало и составляет от сотых долей до  $0,2 \text{ мг/м}^3$ .



Рисунок 1 – Положение на карте: 1 – ЮГОК; №1, №2, №3 – автоматизированные посты; 2 – автомагистраль

Основная масса  $CO$  образуется в результате неполного сгорания органического топлива, при этом главным поставщиком  $CO$  в атмосферу (до 70 %) являются двигатели внутреннего сгорания ( $CO$  составляет 10 % объема выхлопных газов). Попадая в организм, угарный газ действует как яд: он изолирует железо в гемоглобине, препятствуя переносу кислорода.

На рис. 2 показано изменение концентрации оксида углерода в течение 10 дней (с 19.12.17 по 28.12.17), которое получено с автоматизированных постов наблюдения. Показатели не превышают предельно допустимой концентрации.

Рисунок 2 – Изменение концентрации  $CO$  с автоматизированных постов

**Анализ последних исследований и публикаций.** Непрерывное функционирование и развитие горно-обогатительных комбинатов, развитие сети автомагистралей и увеличение численности населения в городах, увеличивает ряд проблем, связанных с окружающей средой. Проблема загрязнения воздуха в городах становится настолько серьезной, что существует потребность в своевременной информации об изменениях уровня загрязнения. Движение и рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе представляет сложную проблему, поскольку зависит от физико-химических особенностей загрязнителей, метеорологических, эмиссионных и рельефных условий. Модель гауссовского распределения концентрации реализовано в моделях CAL3QHC і ISC-3, с учетом факторов химических реакций ADMS-3, AVASTA-II, MESOPUFF-II, в европейских моделях STACKS (Нидерланды, Испания, Польша), IDFM (Бельгия), OML (Дания), ON M 9440 (Австрия), CALPUFF (США).

Установление причинно-следственных связей между состоянием окружающей среды и здоровьем населения является одной из основных проблем урбанизированных промышленных территорий. Оценка экологического состояния является основой экологически безопасного природопользования. С этой целью применяют методы оценки экологического риска, как главный механизм разработки и принятия управленческих решений на региональном уровне или на уровне отдельного производства.

В настоящее время за рубежом разрабатываются региональные модели экологического риска (ERF) [10] с использованием существующих статистических и детерминированных моделей рассеивания примесей или на основе пространственной интерполяции концентрации загрязнителей данной местности [12]. На Украине разрабатывается информационная система для оценки и моделирования содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на основе многокомпонентной вероятностной модели расчета концентрации примеси [11]. Прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния городских автомагистралей выполняется на основе численных

моделей [2-3]. Оценке рисков при авариях техногенного характера посвящены работы В.Т. Алымова [1], В.И. Голинько, Л.В. Дранникова, В.Ф. Стоецкого [4], анализу рисков при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами посвящены работы В.В. Меньшикова, А.А. Швыряева, Т.В. Захаровой [6].

**Цель работы.** Целью данной работы является разработка информационной системы оценки уровня загрязнения воздушной среды выбросами горно-обогатительного комбината, с учетом их взаимодействия с выбросами ближайших автомагистралей на основе решения трехмерных уравнений конвективно-диффузионного переноса примеси. На основе полученного поля концентраций  $CO$  выполнить оценку рисков хронической интоксикации населения, проживающего в районе влияния выделенных источников загрязнения. Проведение таких расчетов необходимо с точки зрения принятия управленческих решений по внедрению природоохранных и предупредительных мероприятий по защите населения.

**Изложение основного материала.** На территории Украины располагается около 20 % мировых запасов железной руды – 80 промышленных месторождений. Отечественный горнорудный сектор насчитывает 26 предприятий, которые производят весь спектр железорудного сырья: руду, концентрат, окатыши и агломерат. Украина является шестым по величине производителем железорудного сырья. Одним из крупнейших в мире является Криворожский железорудный бассейн.

Южный горно-обогатительный комбинат – одно из пяти крупнейших горно-обогатительных предприятий Украины и единственное в стране, которое производит агломерат. Годовая проектная мощность предприятия – 9 млн. т железорудного концентрата и 5 млн. т агломерата. Мощности комбината позволяют производить 20 % общего объема добычи в стране, а также удерживать 10 % рынка в производстве концентрата железной руды и 40 % в производстве шлака.

В результате производства комбинатом железорудной продукции в атмосферный воздух поступает значительное количество примеси, которая оказывает техногенное влияние на воздушную среду близлежащих жилых территорий города.

Распределение основных годовых выбросов «Южного горно-обогатительного комбината» по данным экологического паспорта города представлено в таблице 1. Как видно из таблицы, самыми значительными выбросами выступают выбросы оксида углерода  $CO$ .

Наиболее активной транспортной автомагистралью является Широковское шоссе, расположенное на расстоянии 940 м от комбината и его ответвления, которые также является источниками поступления в атмосферный воздух оксида углерода  $CO$ .

Таблица 1 - Годовые выбросы «Южного горно-обогатительного комбината»

| Загрязняющие вещества | Всего выбросов, т/год | К общему кол-ву выбросов объекта, % | К общему кол-ву выбросов (населенного пункта, %) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $SO_2$                | 2376,721              | 3,8                                 | 18,7                                             |
| $NO_x$                | 7785,873              | 12,3                                | 39,1                                             |
| $CO$                  | 40415,347             | 63,8                                | 16,4                                             |
| Твердые вещества      | 7596,842              | 12,0                                | 14,6                                             |

Значение концентрации  $CO$  получается из решения трехмерного уравнения переноса примеси (1) относительно выбросов комбината или автомагистрали, в зависимости от того, выбросы каких источников загрязнения на определенной территории учитываются: только от комбината, автомагистрали, комбината и автомагистрали.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial[CO]}{\partial t} + \frac{\partial u[CO]}{\partial x} + \frac{\partial v[CO]}{\partial y} + \frac{\partial w[CO]}{\partial z} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial[CO]}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial[CO]}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial[CO]}{\partial z} \right) + \\ & + Q_{CO} \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - z_0), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Q_{CO}$  – интенсивность выброса  $CO$  от комбината или автомагистрали;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости ветра;  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $x_0, y_0, z_0$  – координаты источника выброса загрязняющего вещества (горно-обогатительного комбината или автомагистрали);  $\delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - z_0)$  – дельта-функция Дирака, с помощью которой моделируется выброс загрязнителя. Значения коэффициентов диффузии рассчитывается по формулам:  $\mu_x = (0,1 \div 1) \cdot U$ ,  $\mu_y = (0,1 \div 1) \cdot U$  где  $U$  – скорость

ветра,  $\mu_z = k \left( \frac{z}{z_1} \right)^m$ , где  $z$  – высота над уровнем Земли,  $z_1$  – высота, где задана скорость ветра  $U$ ,  $m \approx 1$ ,  $k = 0,2$  [5, 9].

Постановка краевых условий для решения уравнения переноса (1) рассмотрена в работах Марчука Г.И., Самарского А.А.

В основу модели расчета потенциального риска длительного (хронического) воздействия положена беспороговая модель воздействия. Расчет эффектов, связанных с длительным (хроническим) воздействием веществ, загрязняющих воздух, проводится с использованием информации об их осредненных (как минимум за год) концентрациях.

Анализ риска – процесс получения информации, необходимой для предупреждения негативных последствий для здоровья и условий жизни человека, состоящий из трех компонентов: оценки риска, управления риском и распространения информации о риске.

Для оценки риска неспецифических хронических эффектов при загрязнении атмосферного воздуха, можно использовать соотношение вида [7]:

$$Risk = 1 - \exp\left(\frac{\ln 0,84}{k_3} \cdot \left(\frac{C}{ПДК_{cc}}\right)^b\right), \quad (2)$$

где  $Risk$  – вероятность развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в заданных условиях;  $C$  – концентрация вещества, оказывающая воздействие за заданный период времени;  $k_3$  – коэффициент запаса (значения меняются в зависимости от класса опасности: 1-й класс – 7,5; 2-й класс – 6,0; 3-й класс – 4,5; 4-й класс – 3);  $b$  – коэффициент, значения которого меняются в зависимости от класса опасности: 1-й класс – 2,35; 2-й класс – 1,28; 3-й класс – 1,0; 4-й класс – 0,87;  $ПДК_{cc}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании. Оксид углерода относятся к умеренно опасным веществам, они имеют 4-й класс опасности.

Согласно ГСП-201-97 оценку фактического уровня загрязнения атмосферного воздуха можно проводить путем соотношения фактического показателя загрязнения с показателем предельно допустимого загрязнения ( $ПДК_{cc}$ ), что также описано в методических рекомендациях МОЗ [8].

*Метод решения.* Для численного решения уравнения переноса примеси (1) относительно автомагистрали и горно-обогатительного комбината используется неявная разностная схема. При численной реализации проводится расщепление модельных уравнений на уравнения более простого вида. На каждом шаге расщепления неизвестные значения концентраций оксида углерода  $CO$  рассчитываются по методу бегущего счета [9].

В результате математического и численного моделирования была разработана компьютерная программа «*Information*» для проведения вычислительных экспериментов.

*Практическая реализация.* Рассматривается «Южный горно-обогатительный комбинат», интенсивность выбросов которого по  $CO$  составляет  $Q=1281,56$  г/с, и автомагистраль Широковское шоссе, которая находится на расстоянии 940 м от источников выброса (труб) комбината. Интенсивность движения автотранспорта на рассматриваемом участке дороги составляет 180 авт/мин с учетом четырехрядного движения, средний выброс  $CO$  от одного автомобиля составляет порядка 0,058 г/с, скорость движения 40 км/ч. Относительное количество автомобилей на 1 м автомагистрали – 0,27 авт/м, с интенсивностью выбросов  $CO$  на 1 м  $Q_{авт}=0,016$  г/(с·м).

Размеры расчетной; области 5 км на 5 км, скорость ветра с юга на северо-восток составляла  $U=6$  м/с и  $U=9$  м/с. Изолинии концентрации  $CO$  показаны на уровне  $z=10$  м.

Были выполнены расчеты по оценке уровня концентрации  $CO$  в атмосферном воздухе, с учетом поступления примеси только от горно-обогатительного комбината. В зону загрязнения при  $U=6$  м/с попадают (рис. 3 а): территория комбината и нежилая зона вблизи комбината – 40-90 %, ул. Переяславская – 34 %, ул. Добролюбова – 28 %, ул. Кармелюка – 20 %, Южный проспект – 15 %, ул. Савицкого – 10 %, ул. Панаса Мирного – 8 %, ул. Подлепы – 5 % и менее. При направлении ветра с юга на восток в зону загрязнения попадают жилые районы города: ул. Алма-Атинская, ул. Йосипа-Пачовского, ул. Аглостроевская, ул. Ангарская, ул. Лумумбы, ул. Громова, ул. Лысенка, ул. Кронштадтская и ул. Обогащительная.

При изменении скорости ветра  $U=9$  м/с концентрация загрязнения уменьшается, но зона загрязнения охватывает большие территории города (рис. 3 б).

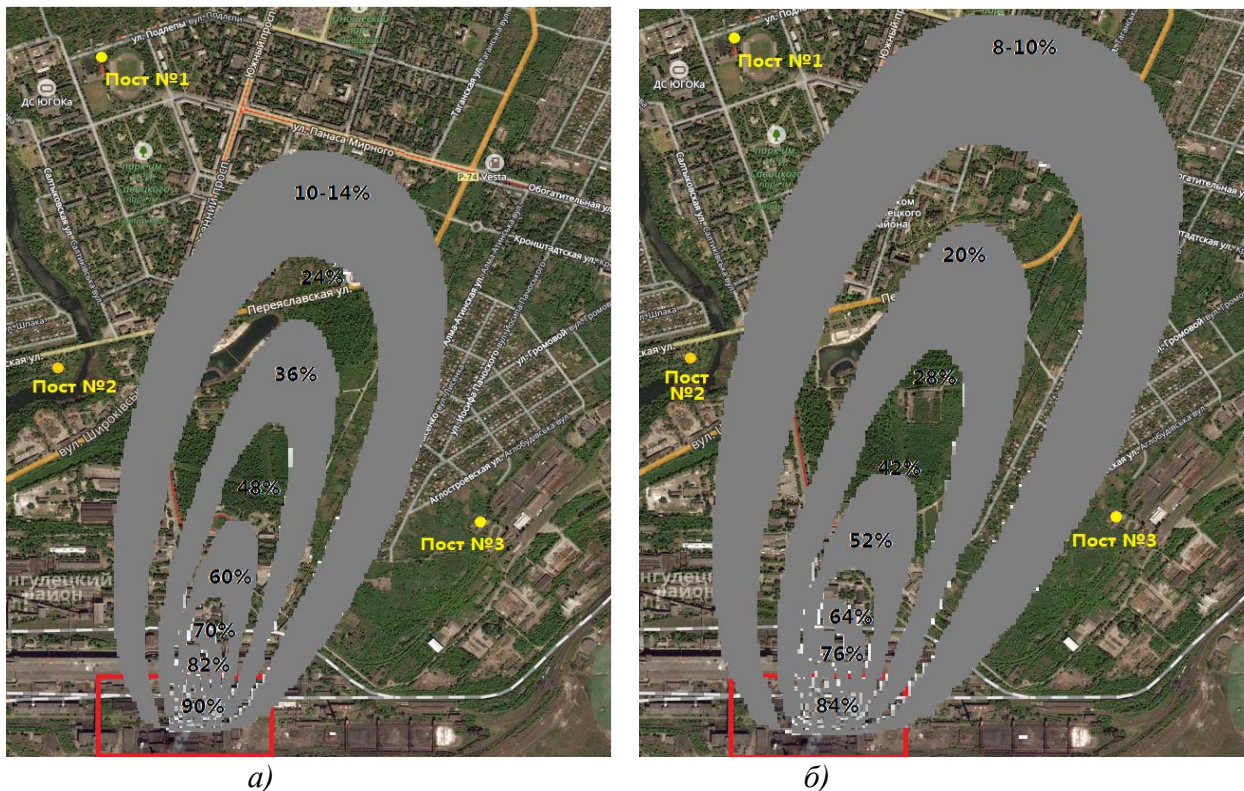


Рисунок 3 – Зона загрязнения оксидом углерода, источник загрязнения – горно-обогатительный комбинат: а)  $U=6$  м/с; б)  $U=9$  м/с

На рис. 4 представлена зона загрязнения с учетом взаимовлияния выбросов  $CO$  горно-обогатительного комбината и автомагистрали. Распределение концентрации в шлейфе загрязнения до автомагистрали аналогично случаю (рис. 3 а), а потом значение концентрации  $CO$  начинает возрастать и составляет 68 % вместо 24 %, зона загрязнения увеличивается.





Рисунок 4 – Зона загрязнения оксидом углерода, источники загрязнения – горно-обогатительный комбинат и автомагистраль  $U=6$  м/с

Значения концентрации (рис. 3–4) представлены в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени:  $C_{\max}=5,9317$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 3 а),  $C_{\max}=5,2583$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 3 б),  $C_{\max}=9,1264$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 4).

Найденное поле концентрации примеси позволило оценить изменение риска хронической интоксикации, связанного с загрязнением атмосферного воздуха оксидом углерода на протяжении 10 лет (рис. 5). Расчет риска возникновения хронических заболеваний выполнялся по модели (2) для точек, расположенных на расстоянии порядка 100 м от автомагистрали.

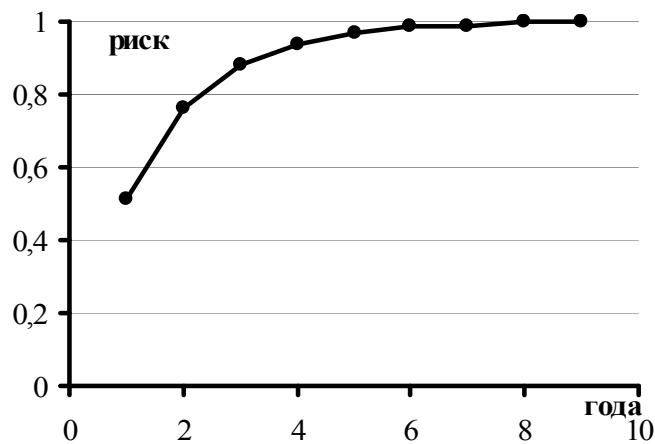


Рисунок 5 – Изменение риска хронической интоксикации оксидом углерода с учетом выбросов комбината и автомагистрали

Как видно из рис. 5, взаимовлияние выбросов  $CO$  от автомагистрали и от

горно-обогатительного комбината приводит к высокому риску возникновения хронических заболеваний у населения уже в течение нескольких лет проживания на этой территории.

**Выводы.** В результате выполнения исследований получены следующие результаты:

- создана математическая модель для решения трехмерных уравнений переноса примеси и методика численного расчета этих уравнений на основе неявных разностных схем;

- проведены расчеты концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе с учетом метеорологических параметров: для постоянно действующего точечного источника загрязнения (горно-обогатительного комбината); для линейно распределенного источника загрязнения (автомагистрали); с учетом взаимного влияния обоих источников загрязнения;

- на основе рассчитанного поля концентрации проведена оценка изменения риска хронической интоксикации, связанного с загрязнением атмосферного воздуха оксидом углерода на протяжении 10 лет;

Полученные результаты необходимы в разработке системы мониторинга и принятия управленческих решений по оценке уровня экологической безопасности атмосферного воздуха на урбанизированных промышленных территориях города.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымов, В.Т. Техногенный риск / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. Беляев, Н.Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов / Н.Н. Беляев, Т.И. Русакова, П.С. Кириченко. – Д.: Акцент ПП, 2014. – 159 с.
3. Беляев, Н.Н. Прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния городских автомагистралей / Н.Н. Беляев, Т.И. Русакова, В.Е. Колесник, А.В. Павличенко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2016. – №1. – С. 90-98.
4. Голинько, В.И. Оценка риска при авариях техногенного характера / В.И. Голинько, Л.В. Дранников, В.Ф. Стоецкий // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – №3. – С. 117-123.
5. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320 с.
6. Меньшиков, В.В. Анализ риска при систематическом загрязнении атмосферного воздуха опасными химическими веществами / В.В. Меньшиков, А.А. Швыряев, Т.В. Захарова. – М.: Из-во МГУ, 2003. – 245 с.
7. Оценка риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух МЗРБ: Инструкция 2.1.6.11-9-29-2004. – М., – 2004. – 28 с.
8. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації МОЗ: Наказ №184 від 13.04.2007 р. – К., – 2007. – 28 с.
9. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
10. Chaofeg, S. Integrated environmental risk assessment and whole-process management system in chemical industry parks / S. Chaofeg, Y. Juan, T. Xiaogang, J. Meiting, H. Lei // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2013. – Vol. 10. – Iss.4. – P. 1609-1630. doi: 10.3390/ijerph10041609
11. Nechausov, A.S. The information model of the system for local atmospheric air pollution monitoring / A.S. Nechausov // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 2(139). – P. 190-195.
12. Thepanondh, S. Proximity analysis of air pollution exposure and its potential risk / S. Thepanondh, W. Toruksa // Journal of Environmental Monitoring. – 2011. – Iss.5. – P. 1264-1270. doi:10.1039/C0EM00486C

## REFERENCES

1. Alymov, V.T. and Tarasova, N.P. (2003), *Tekhnogennyu risk* [Technogenic risk], Akademkniga, Moscow, Russia.
2. Biliaiev, M.M., Rusakova, T.I. and Kirichenko, P.S. (2014), *Modelirovaniye zagryazneniya atmosfernogo vozdukha vybrosami avtotransporta na ulitsakh gorodov* [Modeling of atmospheric air pollution by vehicle emissions on city streets], Akcent PP, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Biliaiev, M.M., Rusakova, T.I., Kolesnik, V.Ye. and Pavlichenko, A.V. (2016), “The predicted level of atmospheric air pollution in the city area affected by highways”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 90-98.
4. Golinko, V.I., Drannikov, L.V. and Stoetsky, V.F. (2014), “Risk assessment for accidents of anthropogenic nature”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 3, pp. 117-123.
5. Marchuk, G.I. (1982), *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushhey sredy* [Mathematical modelling in the environmental problem], Nauka Publ., Moscow, SU.
6. Menshikov, V.V., Shviriyayev, A.A. and Zakharova, T.V. (2003), *Analiz riska pri sistematicheskoy zagryaznenii atmosfernogo vozdukha opasnymi khimicheskimi veshchestvami* [Risk analysis for systematic pollution of atmospheric air by hazardous chemical substances], Iz-von MSU, Moscow, Russia.
7. Ministry of Health of the Republic of Belarus (2004), *Instruktsiya 2.1.6.11-9-29-2004 Otsenka riska dlya zdorovya naseleniya ot vozdeystviya khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh atmosfernyy vozdukh* [Instruction 2.1.6.11-9-29-2004 Assessment of the risk to public health from the effects of air pollutants], Ministry of Health of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus.
8. Ministry of Health of Ukraine (2007), *Metodychni rekomendatsiyi: Otsinka ryzyku dlya zdorovya naselennya vid zabrudnennya atmosfernoho povitrya* [Methodological recommendations: Risk assessment for public health from atmospheric air pollution], Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
9. Zgurovskiy, M.Z., Skopetskiy, V.V., Khrushch, V.K. and Belyayev, N.N. (1997) *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution in the environment], Naukova Dumka Publ., Kyiv, Ukraine.
10. Chaofeg, S., Juan, Y., Xiaogang, T., Meiting, J. and Lei, H. (2013), “Integrated environmental risk assessment and whole-process management system in chemical industry parks”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 10, no.4, pp. 1609-1630. doi: 10.3390/ijerph10041609
11. Nechausov, A. (2016), “The information model of the system for local atmospheric air pollution monitoring”, *Systemy obrobky informatsiyi* [Information Processing Systems], no. 2(139), pp. 190-195.
12. Thepanondh, S. and Toruksa W. (2011), “Proximity analysis of air pollution exposure and its potential risk”, *Journal of Environmental Monitoring*. no.5, pp. 1264-1270.

## Об авторах

**Беляев Николай Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидравлики и водоотведения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, (ДНУЖТ им. академика В. Лазаряна), Днепр, Украина, gidravlika2013@mail.ru.

**Русакова Татьяна Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара (ДНУ им. О. Гончара), Днепр, Украина, rusakovati1977@gmail.com.

## About the authors

**Biliaiev Nikolay Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.(Tech.)), Professor, Head of the Department of Hydraulics and Water Supply, V. Lazaryan Dnepropetrovsk National University of Railway Transport (V. Lazaryan DNURT), Dnepr, Ukraine, gidravlika2013@mail.ru.

**Rusakova Tatiana Ivanovna**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of the Department of Aerohydrodynamics and Energy Mass Transfer, Oles Honchar Dnepropetrovsk National University (Oles Honchar DNU), Dnepr, Ukraine, [rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com).

**Анотація.** Предмет дослідження – процес розсіювання викидів і формування зон забруднення повітряного середовища викидами гірничо-збагачувального комбінату і автомагістралі для довколишніх територій міста. Метою роботи є створення інформаційної системи оцінки рівня забруднення атмосферного повітря на території, де функціонують дані джерела надходження домішок, і оцінки ризиків хронічної інтоксикації населення.

Математична модель ґрунтується на рішенні тривимірних рівнянь переносу домішки, що безпосередньо надходить від постійно діючого стаціонарного джерела (гірничо-збагачувального комбінату) і лінійно розподіленого джерела (автомагістралі). Числова модель ґрунтується на розщепленні модельних рівнянь і їх розв'язанні за допомогою неявної різницевої схеми. В результаті створено програмне забезпечення, що дозволяє проводити обчислювальні експерименти з розрахунку зон забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю з урахуванням взаємовпливу домішки, що надходить від різних типів джерел забруднення, з урахуванням метеорологічних параметрів. На основі отриманого поля концентрації проведена оцінка зміни ризику хронічної інтоксикації, що пов'язано із забрудненням атмосферного повітря оксидом вуглецю протягом 10 років. Отримані закономірності розсіювання домішки на основі взаємовпливу викидів і розрахунок ризиків інтоксикації дозволяють вирішувати питання оцінки рівня екологічної небезпеки, приймати обґрунтовані управлінські рішення по пріоритетності впровадження природоохоронних і попереджувальних заходів захисту населення.

**Ключові слова:** гірничо-збагачувальний комбінат, автомагістраль, розсіювання домішки, розрахунок ризиків інтоксикації, чисельна модель.

**Annotation.** Subject of the study is a process of emission dispersion and formation of zones with air polluted by emissions from the mining-and-processing plant and motorway in the areas near the city. Objective of the work is creation of information system for assessing level of air pollution in the territory where these sources of impurities are available, and assess of risks of chronic intoxication of population. The created mathematical model is based on the solution of three-dimensional equations for transportation of impurities coming directly from the permanently operating stationary source (mining and processing plant) and from linearly distributed source (motorway). The numerical model is based on the splitting of model equations and their solving by the implicit difference scheme. As a result, software was created, which made it possible to carry out computational experiments on the calculation of zones with atmospheric air polluted by carbon monoxide with taking into account interference of impurities coming from various types of pollution sources, and with taking into account different meteorological parameters. On the basis of the obtained field of concentration, the changed risk of chronic toxicity associated with atmospheric air pollution by carbon monoxide was assessed for the 10-year period. The obtained patterns of impurity dispersion based on interference of emissions and calculation of intoxication risks allow to solve problems of assessing level of environmental hazards, and to make reasonable management decisions on the priority of implementing environmental protection measures and preventive measures for protecting the population.

**Keywords:** mining-and-processing plant, motorway, dispersion of impurities, calculation of intoxication risks, numerical model.

*Статья поступила в редакцию 30.08.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком*