

УДК 519.6:622.41

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА ПРИ ЭМИССИИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

<sup>1</sup>Беляев Н.Н., <sup>1</sup>Шинкаренко В.И., <sup>1</sup>Габринец В.А., <sup>2</sup>Калашников И.В., <sup>3</sup>Берлов А.В.

<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, <sup>2</sup>Государственное предприятие «Проектно-изыскательский институт железнодорожного транспорта Украины «Укрзалізничпроект»,

<sup>3</sup>Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ І ОЦІНКА ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РИЗИКУ ПРИ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

<sup>1</sup>Біляєв М.М., <sup>1</sup>Шинкаренко В.І., <sup>1</sup>Габрінець В.О., <sup>2</sup>Калашніков І.В., <sup>3</sup>Берлов О.В.

<sup>1</sup>Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, <sup>2</sup>Державне підприємство «Проектно-розвідувальний інститут залізничного транспорту України «Укрзалізничпроект», <sup>3</sup>Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

## MODELING OF ATMOSPHERE POLLUTION AND TERRITORIAL RISK ASSESSMENT AT EMISSION OF HAZARDOUS SUBSTANCES

<sup>1</sup>Biliaiev N.N., <sup>1</sup>Shynkarenko V.S., <sup>1</sup>Gabrinets V.A., <sup>2</sup>Kalashnikov I.V., <sup>3</sup>Berlov O.V.

<sup>1</sup>Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, <sup>2</sup>State Enterprise «Design and Exploration Institute of Railway Transport of Ukraine «Ukrzaliznychproekt», <sup>3</sup>State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»

**Аннотация.** Оценка территориального риска при аварийной эмиссии химически опасных веществ является задачей особой важности. Надежность такой оценки во многом зависит от уровня математических моделей, которые применяются для решения задачи по оценке территориального риска. В настоящее время для оценки территориального риска используют, как правило, аналитические модели или модель Гаусса, которые не позволяют учесть некоторые важные физические факторы. Предмет исследования – разработка метода для оценки территориального риска при эмиссии химического агента методом вычислительного эксперимента. Целью работы является создание эффективных численных моделей, учитывающих влияние конвекции и диффузии опасного вещества в атмосфере на риск токсичного поражения людей, находящихся в зоне влияния источника эмиссии химического агента. Задача по оценке территориального риска основывается на численном интегрировании уравнений аэродинамики и массопереноса. В качестве базового уравнения для расчета поля скорости ветрового потока используется двумерное уравнение потенциального течения. Уравнение массопереноса учитывает рассеивание примеси под действием ветра и атмосферной турбулентной диффузии. Источник эмиссии загрязняющего вещества моделируется с помощью дельта-функции Дирака. Численное интегрирование двумерного уравнения для потенциала скорости проводится с помощью локально-одномерной разностной схемы ращепления. Для моделирования пространственного рассеивания примеси используется трехмерное уравнение конвективно-диффузионного переноса загрязняющего вещества в атмосферном воздухе. Методология расчета территориального риска основывается на расчете зоны химического заражения для каждой вероятностной метеоситуации. Вероятностные метеоситуации определяются, либо на основе базы данных, или на основе метеопрогноза. Рассматривается алгоритм решения задачи по оценке территориального риска. Приводится описание структуры разработанного пакета программ.

**Ключевые слова:** загрязнение воздуха, токсичные химические выбросы, оценка риска.

**Введение.** Оценка территориального риска при эмиссии химически опасных веществ в атмосферу является очень важной и ответственной задачей [1,3,4,6-9].

В настоящее время, в Украине практически отсутствуют методы для решения задач оценки территориального риска с учетом влияния застройки на формирование зон химического заражения. Используемые в настоящее время нормативные методики типа ОНД-86 или методика прогноза последствий аварий на химически опасных объектах и транспорте, а также известные инженерные зависимости по оценке риска не могут быть применены для решения задачи по оценке последствий эмиссии химических агентов при экстремальных ситуациях в условиях застройки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Применяемые методики, типа «Токси» [4], «Аммиак», «SLAB» [6], основаны на использовании модели Гаусса или основаны на аналитическом решении уравнении массопереноса.

Данные методики также нельзя использовать для оценки территориального риска. Эти методики не учитывают влияние зданий на рассеивание химического агента. В работе [3] предложены модели позволяющие оценить территориальный риск при чрезвычайных ситуациях на транспорте, но применение построенных моделей ограничено случаем рассеивания опасных веществ над ровной поверхностью. Применять данные модели для оценки последствий терактов в городе, на промышленном объекте – нельзя.

**Формулировка цели работы.** Цель исследования – разработка эффективного метода оценки территориального риска при эмиссии химических агентов в атмосферу, т.е. создание эффективных численных моделей, учитывающих влияние конвекции и диффузии опасного вещества в атмосфере на риск токсичного поражения людей, находящихся в зоне влияния источника эмиссии химического агента.

**Изложение основного материала.** Оценка территориального риска рассматривается при выбросе химически опасного вещества в атмосферу. Выброс происходит на территории промышленного объекта. Вблизи источника эмиссии размещается группа зданий. Ставится задача: определить зоны поражения при различных метеоусловиях. Вероятность реализации конкретных метеоусловий – известна.

Для учета влияния неравномерного поля скорости ветрового потока, которое формируется при обтекании зданий необходимо решить задачу аэродинамики. Для решения этой задачи будем использовать модель потенциального течения. Для проведения экспресс прогноза будет использоваться двумерное уравнение Лапласа для потенциала скорости [3,5]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости ветрового потока определяются соотношениями:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (2)$$

Для решения задачи по оценке территориального риска с учетом пространственного движения ветрового потока предлагается использовать трехмерное уравнение для потенциала скорости

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0. \quad (3)$$

Компоненты вектора скорости ветрового потока определяются соотношениями:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (4)$$

Поскольку ставится задача оценки территориального риска с точки зрения токсичного поражения людей, то необходимо рассчитать формирование зон поражения в расчетной области при различных (вероятностных) метеоситуациях. Для этого необходимо рассчитать зоны химического заражения при различной скорости, направлении ветра и устойчивости атмосферы.

Для моделирования процесса рассеивания химически опасного вещества в воздушной среде будем использовать уравнение массопереноса, осредненное по высоте переноса примеси (предварительно поле скорости рассчитывается на базе уравнения (1) и зависимостей (2)) [2, 3, 5, 7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (5)$$

где  $C$  – концентрация химического агента в атмосферном воздухе;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий распад агента и оседание на поверхность земли;  $u, v$  – компоненты вектора скорости воздушного потока;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии (их величина определяет устойчивость атмосферы);  $Q$  – интенсивность выброса химического агента (биологического агента);  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $x_i, y_i$  – координаты источника эмиссии агента;  $t$  – время.

Постановка краевых условий для моделирующих уравнений рассмотрена в [2, 3, 5].

Для численного интегрирования уравнения (1) используется метод локально-одномерная разностная схема. Предварительно уравнение (1) расщепляется на два уравнения вида:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}.$$

Для аппроксимации каждого уравнения из данной системы будем использовать следующие разностные выражения

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j}^{n+1/2} - P_{i,j}^n}{\Delta t} &= \frac{P_{i-1,j}^{n+1/2} - P_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x}, \\ \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta t} &= \frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x}, \\ \frac{P_{i,j}^{n+1/2} - P_{i,j}^n}{\Delta t} &= \frac{P_{i,j-1}^{n+1/2} - P_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y}, \\ \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta t} &= \frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y}. \end{aligned}$$

Для численного интегрирования уравнения переноса примеси применяется неявная разностная схема расщепления [2, 5].

При решении задачи в трехмерной постановке поле скорости воздушного потока рассчитывается на базе зависимостей (3), (4). Для расчета пространственного рассеивания химического агента в атмосфере используется трехмерное уравнение переноса примеси:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial wC}{\partial z} + \sigma C = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i). \quad (6)$$

Обозначения в (6) совпадают с обозначениями к (5).

Постановка краевых условий для данного уравнения приведена в [2, 3, 5, 7]. Для численного интегрирования уравнения (3) используется метод Либмана, для численного интегрирования уравнения (6) применяется неявная разностная схема расщепления [2, 5].

При оценке территориального риска при эмиссии опасного вещества будем учитывать, что каждому погодному состоянию  $P(W_i)$  отвечает конкретная зона загрязнения, характеризующаяся размерами и концентрацией опасного вещества. Вероятность реализации конкретной метеоситуации определяется по зависимости [1]:

$$P(W_i) = N_{\Pi} / T. \quad (7)$$

где  $N_{\Pi}$  – число дней (часов), соответствующих определенной метеоситуации;  $T$  – период наблюдений (прогноз метеоситуации).

Под определенной метеоситуацией будем понимать конкретное значение скорости и направления ветра. Для оценки потенциального территориального

риска необходимо оценить вероятность, для человека, находящегося в каждой точке расчетной области, оказаться под действием шлейфа (облака) химически опасного вещества. При этом надо принимать во внимание, что нас интересуют те точки области в районе эмиссии, где концентрация химически опасного вещества превышает некоторое пороговое значение, при котором происходит та, или иная степень поражения людей.

Вероятность попадания человека, в расчетной области, под действие шлейфа химически опасного вещества определится следующим образом:

$$P(W)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n P(W_i). \quad (8)$$

где  $P(W)_{\Sigma}$  – суммарная вероятность всех рассматриваемых метеоситуаций, при которых человек попадает в зону влияния источника эмиссии и получает токсичное поражение.

В этой связи, для расчета вероятности оказаться в зоне токсичного поражения при эмиссии опасного вещества необходимо, для конкретной точки расчетной области, выполнить расчеты по формуле (8). Для этого надо знать концентрацию химического агента в точке расположения конкретного человека для конкретной метеоситуации и насколько эта величина превосходит заданный пороговый уровень. Таким образом, главной задачей становится расчет поля концентрации химического агента для конкретной метеоситуации.

**Алгоритм решения задачи.** Оценку территориального риска, при эмиссии опасного вещества и при вероятной метеорологической ситуации  $P(W)$ , будем осуществлять в такой последовательности [3]:

1) на *первом* этапе решения задачи, формируется блок данных относительно иницирующего события (возможное место эмиссии химически опасного вещества, интенсивность эмиссии, режим эмиссии, вид химического агента);

2) на *втором* этапе формируется блок данных относительно вероятных метеоситуаций  $PW_i$ , характерных для области, где происходит эмиссия опасного вещества;

3) на *третьем* этапе рассчитывается уровень химического заражения для вероятных метеоситуаций (на этом этапе проводится численное интегрирование уравнений аэродинамики и массопереноса для конкретной метеоситуации);

4) на *четвертом* этапе определяются зоны, где концентрация превышает пороговое значение (например, смертельную концентрацию) при конкретной метеоситуации;

5) на *пятом* этапе, осуществляется построение поля риска для рассматриваемого объекта.

Данный алгоритм оценки риска реализован в разработанном коде «РИЗИК».

На базе рассмотренных моделирующих уравнений разработан специализированный пакет программ. В его структуру входят следующие

подпрограммы:

AL1 – подпрограмма расчета поля скорости на базе двумерной модели потенциального течения;

AL2 – подпрограмма расчета поля скорости на базе трехмерной модели потенциального течения;

AL3 – подпрограмма расчета рассеивания химически опасного вещества в атмосфере на базе двумерного уравнения массопереноса;

AL4 – подпрограмма расчета рассеивания химически опасного вещества в атмосфере на базе трехмерного уравнения массопереноса;

AL5 – подпрограмма печати результатов расчета в виде изолиний концентрации химически опасного вещества;

AL6 – подпрограмма печати результатов расчета в виде матрицы потенциального риска.

**Выводы.** Рассмотрена математическая модель для оценки территориального риска в случае эмиссии химически опасного вещества в атмосферу. Основу метода составляет численный расчет процесса загрязнения атмосферного воздуха с последующей оценкой риска. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания 3D модели на базе модели течения вязкого газа, для расчета территориального риска в случае эмиссии химически опасного вещества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск, М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 118 с.
2. Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю., Росточило Н.В. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ, Монография, Днепропетровск, 2014, 136 с.
3. Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю., Кириченко П.С., Мунтян Л.Я. Оценка техногенного риска при эмиссии опасных веществ на железнодорожном транспорте, Монография, Кривой Рог, 2017, 127 с.
4. Стоецкий В.Ф., Голинько В.И., Дранишников Л.В. Оценка риска при авариях техногенного характера, Науковий вісник НГУ, 2014, №3, С. 117–124.
5. Згуровский М.З., Скопецкий В.В., Хруц В.К., Беляев Н.Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде, Киев: Наук. думка, 1997, 368 с.
6. Anthony Michael Barret. Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness, Dissertation, Pittsburg, Pennsylvania, 2009, 123 p.
7. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography, Air Pollution Modeling and its Application XXI, Springer, 2012, P. 87–91.
8. Guidance on safety Risk Assessment for Chemical Transport Operations, The European Chemical Industry Council. Cefic, October 2013. [http:// www.cefic.org](http://www.cefic.org)
9. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen, Michael M. Bradley, Int. J. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency Preparedness and Response, Emergency Management, Vol.4, No.3, 2007, P. 1–32.

#### REFERENCES

1. Alymov V.T. and Tarasova N.P. (2003), *Tekhnogennyy risk* [Technogenic risk], Akademkniga, Moscow, RU.
2. Belyaev N.N., Gunko E.Yu. and Rostochilo N.V. (2014), "Protection of buildings against the entry of hazardous substances into them", *Monografiya*, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Belyaev N.N., Gunko E.Yu., Kirichenko P.S. and Muntyan L.Ya. (2017), "Man-made risk assessment for the emission of hazardous substances in rail transport", *Monografiya*, Krivoy Rog, Ukraine.
4. Stoetskij V.F., Golinko V.I. and Dranishnikov L.V. (2014), "Risk assessment in case of technogenic accidents", *Sbornik nauchnykh trudov NGU* [Collection of scientific papers of the NSU]. no. 3, pp. 117-124.
5. 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, Kyiv, Ukraine.
6. Anthony Michael Barret. (2009), "Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness", *Dissertation*, 123 p.
7. Biliaiev M. (2012), "Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex

Topography”, *Air Pollution Modeling and its Application XXI*, Springer, pp. 87–91.

8. Cefic. (2013), “Guidance on safety Risk Assessment for Chemical Transport Operations”, *The European Chemical Industry Council*. [http:// www.cefic.org](http://www.cefic.org)

9. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen, Michael M. Bradley and Int. J. (2007), “The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency Preparedness and Response”, *Emergency Management*, Vol. 4, No. 3, pp. 1–32.

#### Об авторах

**Беляев Николай Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидравлики и водоснабжения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru)

**Шинкаренко Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных информационных технологий, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru)

**Габринец Владимир Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru)

**Калашников Иван Владимирович**, кандидат технических наук, директор, Государственное предприятие «Проектно-исследовательский институт железнодорожного транспорта Украины «Укрзалізничпроект», Харьков, Украина, [uzp38@ukr.net](mailto:uzp38@ukr.net)

**Берлов Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, ГБУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Днепр, Украина, [berlov@mail.pgasa.dp.ua](mailto:berlov@mail.pgasa.dp.ua)

#### About the authors

**Biliaiev Nikolay Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department Hydraulics and water supply, Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, Dnepr, Ukraine, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru).

**Shynkarenko Viktor Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department Computer Information Technologies, Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, Dnipro, Ukraine, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru).

**Gabrinets Volodymyr Alekseevich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department Heat engineering, Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, Dnipro, Ukraine, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru).

**Kalashnikov Ivan Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), director of State Enterprise «Design and Exploration Institute of Railway Transport of Ukraine «Ukrzaliznichproekt», Kharkov, Ukraine, [uzp38@ukr.net](mailto:uzp38@ukr.net).

**Berlov Oleksandr Viktorovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of the Department Workplace Safety and Health, State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnepr, Ukraine, [berlov@mail.pgasa.dp.ua](mailto:berlov@mail.pgasa.dp.ua).

**Анотація.** Оцінка територіального ризику при аварійній емісії хімічно небезпечних речовин є завданням особливої важливості. Надійність такої оцінки багато в чому залежить від рівня математичних моделей, які застосовуються для вирішення задачі по оцінці територіального ризику. В даний час для оцінки територіального ризику використовують, як правило, аналітичні моделі або модель Гаусса, які не дозволяють врахувати деякі важливі фізичні фактори. Предмет дослідження - розробка методу для оцінки територіального ризику при емісії хімічного агента методом обчислювального експерименту. Метою роботи є створення ефективних чисельних моделей, що враховують вплив конвекції і дифузії небезпечної речовини в атмосфері на ризик токсичного ураження людей, що знаходяться в зоні впливу джерела емісії хімічного агента. Задача по оцінці територіального ризику ґрунтується на чисельному інтегруванні рівнянь аеродинаміки і масопереносу. В якості базового рівняння для розрахунку поля швидкості вітрового потоку використовується двомірне рівняння потенційної течії. Рівняння масопереносу враховує розсіювання домішки під дією вітру і атмосферної турбулентної дифузії. Джерело емісії забруднюючої речовини моделюється за допомогою дельта-функції Дірака. Чисельне інтегрування двомірного рівняння для потенціалу швидкості проводиться за допомогою локально-одновимірної різницевої схеми розщеплення. Для моделювання просторового розсіювання домішки використовується тривимірне рівняння конвективно-дифузійного переносу забруднюючої речовини в атмосферному повітрі. Методологія розрахунку територіального ризику ґрунтується на розрахунку зони хімічного зараження для кожної ймовірної метеоситуації. Ймовірні метеоситуації визначаються, або на основі бази даних, або на основі метеопрогнозу. Розглядається алгоритм вирішення задачі по оцінці територіального ризику. Наводиться опис структури розробленого пакета програм.

**Ключові слова:** забруднення повітря, токсичні хімічні викиди, оцінка ризику.

**Annotation.** Assessment of the territorial risk in case of emergency emission of chemically hazardous substances is a task of particular importance. The reliability of such an assessment largely depends on the level of mathematical

models that are used to solve the problem of assessing the territorial risk. Currently, as a rule, analytical models or Gauss models are used to assess territorial risk, which do not allow taking into account some important physical factors. The subject of the research is the development of a method for assessing the territorial risk at emission of a chemical agent by the method of computational experiment. The aim of the work is to create effective numerical models that take into account influence of convection and diffusion of a hazardous substance in the atmosphere on the risk of toxic damage to people in the zone of influence of the source of chemical agent emission. The task of assessing territorial risk is based on numerical integration of the equations for aerodynamics and mass transfer. The two-dimensional potential flow equation is used as the basic equation for calculating the wind flow velocity field. The mass transfer equation takes into account the dispersion of impurities under the action of wind and atmospheric turbulent diffusion. The source of the emission of a pollutant is modeled using the Dirac delta function. The numerical integration of the two-dimensional equation for the velocity potential is carried out using a locally one-dimensional finite-difference splitting scheme. To simulate the spatial dispersion of the impurity, the three-dimensional equation of convective-diffusive transport of the pollutant in atmospheric air is used. The methodology for calculating territorial risk is based on the calculation of the zone of chemical contamination for each probabilistic weather situation. Probabilistic weather situations are determined, either on the basis of a database, or on the basis of a meteorological forecast. An algorithm for solving the problem of assessing territorial risk is considered. The description of the structure of the developed software package is given.

**Keywords:** air pollution, toxic chemical emissions, risk assessment.

*Стаття надійшла до редакції 25.05. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Т.В. Бунько*