

6. NSW EPA. Environment compliance report: Compliance audit of coal train loading and unloading facilities / NSW Environment Protection Authority, 2014. – Sydney, Australia. – 50 p.
7. Robert Kotchenruther. Fugitive Dust from Coal Trains. Factors Effecting Emissions & Estimating PM<sub>2.5</sub>. / Robert Kotchenruther // EPA Region 10, NW –AIRQUEST, 2013. – 18 p.

#### **ABSTRACT**

**The results** of the study, dedicated to the reducing emission rate of coal from the wagon, with using of small-scale experiments, which were performed for the model of the wagon, are presented.

**The purpose** of the study is evaluation of screens application for reduction of coal dust emission from the wagon.

**The methods** of the research are small-scale experiments.

**Findings.** The obtained results show that installation of screens on the wagon allows reducing emission rate of coal from the wagon.

**The originality.** New experiments have been performed to evaluate the efficiency of screen application for reduction of coal dust emission from the wagon.

**Practical implications.** Screen application on the wagon allows reducing coal dust emission from the wagon. Implementation of screens is not expensive and installation of the screens does not take much time.

**Keywords:** *dust, coal train, reducing air pollution*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, И.В. Калашников, И.А. Мартыненко

### **ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА ПРИ ЭМИССИИ ХИМИЧЕСКОГО АГЕНТА В СЛУЧАЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИТУАЦИИ**

© N. Beliaiev, I. Kalashnikov, I. Martynenko

### **NUMERICAL MODEL FOR TERRITORIAL RISK ASSESSMENT IN THE CASE OF CHEMICAL AGENT EMISSION DURING ACCIDENT**

Предложен экспресс метод оценки территориального риска при выбросе химического агента при экстремальной ситуации в условиях застройки. Выброс происходит вблизи зданий. Ставится задача разработки метода оценки территориального риска с учетом различных метеорологических ситуаций. Для оценки территориального риска используется разработанная численная модель. Приведено описание алгоритма решения задачи по оценке территориального риска при эмиссии химически опасного вещества при экстремальной ситуации. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

Запропоновано експрес метод оцінки територіального ризику при викиді хімічного агента під час екстремальної ситуації в умовах забудови. Викид відбувається поблизу будівель. Ставиться завдання розробки методу оцінки територіального ризику з урахуванням різних метеорологічних ситуацій. Для оцінки територіального ризику використовується розроблена чисельна модель. Наведено опис алгоритму розв'язання задачі по оцінці територіального ризику при емісії хімічно небезпечної речовини під час екстремальної ситуації. Представлені результати обчислювального експерименту.

**Вступление.** В настоящее время большое внимание уделяется вопросу оценки риска при экстремальных ситуациях на производстве или в селитебной зоне. Примером таких экстремальных ситуаций может быть эмиссия химически опасных веществ при аварии на производстве или теракт в селитебной зоне, который сопровождается выбросом химического агента [1, 2, 3, 7-9]. Особенностью данной задачи является то, что химический агент распространяется в условиях застройки. Поэтому, для оценки риска при экстремальной ситуации, в частности территориального риска, необходимо учесть влияние зданий на формирование зоны химического заражения.

В настоящее время, в Украине практически отсутствуют методики 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. 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.

Поэтому актуальной задачей является разработка новых методов оценки территориального риска при эмиссии химических агентов в случае экстремальных ситуаций.

**Целью** данной работы является создание численного метода для оценки территориального риска при эмиссии химически опасных веществ в условиях застройки.

**Постановка задачи.** Рассматривается эмиссия химически опасного вещества на объекте. Возле источника эмиссии размещается группа зданий. Ставится задача: определить зоны поражения при различных метеоусловиях. Вероятность реализации конкретных метеоусловий – известна.

**Математическая модель.** 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:

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

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 моделирования процесса рассеивания химически опасного вещества в воздушной среде будем использовать уравнение массопереноса, осредненное по высоте переноса примеси [2, 3, 5, 7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

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;  $Q$  – 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.

Поле скорости ветрового в условиях застройки, для моделирующего уравнения (3), определяется на основе решения аэродинамической задачи, т.е. путем решения уравнения (1). Постановка краевых условий для моделирующих уравнений (1), (2) рассмотрена в [2, 3, 5].

Для численного интегрирования уравнения (1) используется метод Либмана, а для численного интегрирования уравнения переноса примеси применяется неявная разностная схема расщепления [2, 5].

Для оценки 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]:

$$P(W_i) = N_{\Pi} / T, \quad (4)$$

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 определяется следующим образом:

$$P(W)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n P(W_i), \quad (5)$$

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 (5). 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  $PW$ , будем осуществлять в такой последовательности [3]:

1) на *первом* этапе решения задачи, формируется блок данных относительно инициирующего 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 (1) и (3) 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 «CHEM-RISK».

**Результаты.** Пример практического использования данного кода показан ниже. На рис.1 представлена расчетная область. Полагалось, что возможна эмиссия хлора. Выброс происходит возле первого здания. Длительность эмиссии – 5 мин. Для региона вероятные значения скорости ветра составляют: 3 м/с

(вероятность 14%) и 7 м/с (вероятность 86%). Стрелка на рисунке показывает направление ветра.

На рис.1, показана зона загрязнения токсичным газом для момента времени 300 с, скорость ветра 3 м/с. На рис. 2 представлена матрица потенциального территориального риска в районе эмиссии опасного вещества для момента времени 300 с при возможных метеоситуациях. Вероятность поражения людей показана в процентах на данном рисунке. Принимается, что поражение наступает, если концентрация хлора в расчетной точке превышает  $3 \text{ мг/м}^3$ .

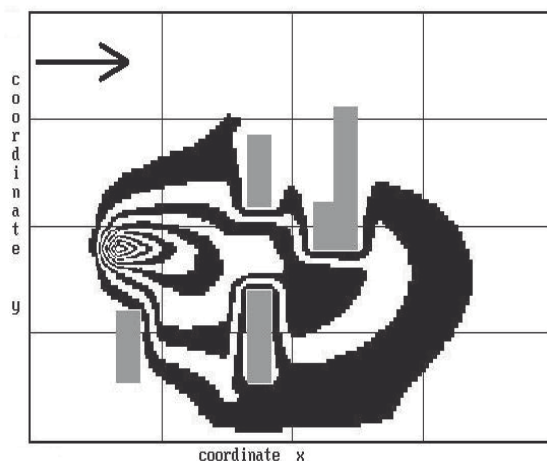


Рис. 1. Зона химического заражения при эмиссии опасного вещества в условиях застройки

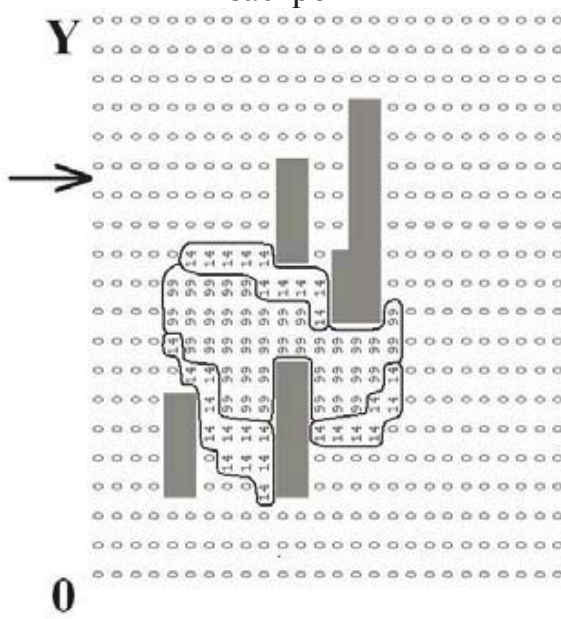


Рис. 2. Матрица территориального риска

Как видно из представленных рисунков значительному риску подвергается большое пространство в рассматриваемом районе для рассмотренных метеоситуаций.

**Выводы.** Рассмотрен метод оценки территориального риска в случае эмиссии химически опасного вещества в условиях застройки. Основу метода составляет расчет процесса загрязнения атмосферного воздуха в условиях застройки с последующей оценкой размеров зон, попадающих под влияние ис-

точника эмиссии химически опасного вещества. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания 3D модели для расчета территориального риска в случае эмиссии химически опасного вещества.

#### Перечень ссылок

1. Алымов, В. Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. Беляев, Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д. : «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
3. Оценка техногенного риска при эмиссии опасных веществ на железнодорожном транспорте [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. С. Кириченко, Л. Я. Мунтян. – Кривой Рог : Изд. Р. А. Козлов, 2017. – 127 с.
4. Стоецкий В.Ф., Голинько В.И., Дранишников Л.В. Оценка риска при авариях техногенного характера //Науковий вісник НГУ, 2014, №, с.117 -124.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : 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, May 2009. -123p.
7. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // 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. – Режим доступа: [http:// www.cefic.org](http://www.cefic.org), свободный.
9. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency Preparedness and Response /John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen, Michael M. Bradley, Int. J. Emergency Management, Vol.4, No.3, 2007, P.1 -32.

#### ABSTRACT

**The results** of the study, dedicated to the air pollution during accident which is connected with toxic chemical emission.

**The purpose** of the study is development of numerical model to compute territorial risk after accident with toxic chemical.

**The method** of the research is CFD simulation.

**Findings.** New numerical model is proposed to compute territorial risk after accident.

**The originality.** New model was developed for computing of atmosphere pollution and territorial risk assessment after accident with toxic chemical.

**Practical implications.** Developed model allows quick computing of territorial risk after accident or terror act. Results of numerical experiment are presented.

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