

**Abstract.** Specificity of operation of the up-to-date tachometric device impellers made of different materials and applied in the world mining practices is analyzed in the article. It is noted that mechanical durability of the impeller is a basic indication of their effective operation at different speed of the air flow with maintained accuracy of measurements and maximally possible values. A method is proposed for calculating tensions which cause bending moments in the impeller due to the speed pressure of the air flowing onto the impeller. This method makes possible to choose optimal material for the impeller making with taking into account all measurable factors which can impact the impeller quality. The article also presents basic principles of the method for measuring sections of the mine tunnels of arbitrary shape. The findings can be used for improving the existing model APR-2 and for designing a pre-production model of a device for controlling air consumption and tunnel depression.

**Keywords:** tachometric converter, air flow, anemometer, materials for making of kryl'chatky, speed pressure, range of measurings, reliability

*Статья поступила в редакцию 20.02.2013*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук А.П. Круковским*

УДК 622.012: 502.3

**Н.Н. Беляев**, д-р техн. наук, профессор,  
**Н.В. Росточило**, инженер  
(ГВУЗ «ДНУЖТ им. В. Лазаряна»)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ ПРИ МИГРАЦИИ В АТМОСФЕРЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**М.М. Біляєв**, д-р техн. наук, профессор,  
**Н.В. Розточило**, інженер  
(ДВНЗ «ДНУЗТ ім. В. Лазаряна»)

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРЯНОЇ ЗАВІСИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ПРИ МІГРАЦІЇ В АТМОСФЕРІ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН**

**N.N. Belyayev**, D.Sc. (Tech.), Professor,  
**N.V. Rostochilo**, Master of Science  
(SHEE «DNURT named after V. Lazaryan»)

### **STUDY OF THE AIR CURTAIN EFFICIENCY WHEN IT IS USED FOR THE BUILDING LOCAL PROTECTION AGAINST TOXIC AGENTS MIGRATED IN THE ATMOSPHERE**

**Аннотация.** Актуальной задачей является защита зданий от попадания в них опасных веществ, мигрирующих в атмосфере. Для решения этой задачи может использоваться воздушная завеса, представляющая собой вертикальный поток воздуха, который создает гидродинамический барьер на пути мигрирующего в атмосфере опасного вещества. При использовании данного метода защиты необходимо заранее определить его эффективность с учетом конкретных метеоусловий и формы здания. В работе представлена численная модель, позволяющая решить эту задачу. В основу модели положено уравнение движения идеальной жидкости и уравнение массопереноса. Для численного моделирования моделирующих уравнений используются разностные схемы.

Численный расчет осуществляется на прямоугольной разностной сетке для формирования вида расчетной области и выделения ее особенностей и применяется метод маркирования. Модель позволяет рассчитать эффективность применения воздушной завесы для локальной защиты здания. Время расчета одного варианта задачи составляет несколько секунд. Представляются результаты проведенного вычислительного эксперимента.

**Ключевые слова:** численная модель, токсичные вещества, уравнение массопереноса, уравнение отрывных течений невязкой жидкости

**Постановка проблемы.** Как известно, при функционировании различных объектов горнопромышленного комплекса возможны ситуации, приводящие к поступлению в атмосферу опасных веществ. Поэтому, возникает важная задача по защите людей в зданиях, прилегающих к объекту. Данная задача привлекает к себе повышенное внимание зарубежном [12]. Одним из методов защиты персонала в зданиях является применение локальной защиты – то есть защиты, которая организуется возле конкретно здания с целью локального снижения концентрации возле здания.

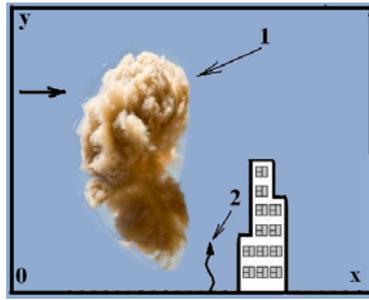
Такая защита может быть сделана с помощью воздушной завесы, создаваемой специальными устройствами (воздуходувки и т.п.) в тех местах, где надо создать гидродинамический барьер на пути движущегося, загрязненного токсичным веществом воздуха [2,5]. Для создания надежной локальной защиты необходимо, на этапе проектирования, оценить ее эффективность с учетом конкретных условий (форма зданий и т.п.), для различных метеоситуаций и т.д. Решение такой задачи может быть получено с помощью метода численного моделирования. Поэтому разработка специализированных численных моделей, служащих для поддержки принятия решений по организации защитных мероприятий является важной задачей в области экологической и промышленной безопасности [2, 9-11].

**Анализ публикаций.** Анализ литературных источников показывает, что существует ограниченное количество работ, посвященных математическому решению этой проблемы. Так в работе [2] рассмотрено построение математической модели и ее применение для оценки эффективности использования воздушной завесы при миграции в атмосфере шлейфа или облака токсичного газа. Но построенная модель не учитывает влияния зданий на процесс защиты.

**Цель статьи.** Целью данной работы является разработка математической модели для расчета эффективности применения воздушной завесы для локальной защиты здания при миграции в атмосфере токсичных веществ.

**Формулировка задачи.** Рассматривается миграции в атмосфере токсичного вещества, в условиях застройки. Будем считать, что в атмосфере движется облако такого вещества. Ставится задача - локально снизить концентрацию этого вещества возле наветренной стороны здания (рис.1).

Для инженерного решения этой задачи планируется применение воздушной завесы. Поэтому необходимо оценить эффективность такой защиты.



1 – облако токсичного вещества;  
 2 – положение воздушной завесы (вдуваемой струи)  
 Рисунок 1 – Схема подачи воздушной струи перед зданием  
 (локальная защита здания от загрязнения)

**Моделирующие уравнения.** Для расчета концентрации токсичного вещества в атмосфере используется осредненное по ширине переноса (профильная задача) уравнение транспорта загрязнителя [1,3,4,7]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial (v - w) C}{\partial y} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация примеси (токсичное вещество);  $u, v$ , – компоненты вектора скорости движения ветрового потока;  $w$  – скорость гравитационного оседания примеси;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты атмосферной диффузии;  $t$  – время;

Ось  $Y$  направлена вертикально вверх.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1,4,7]. Для расчета коэффициентов атмосферной диффузии используются такие зависимости [3]

$$\mu_y = 0,11z; \mu_x = 0,2u;$$

где  $u$  – скорость ветра,  $z$  – текущее значение высоты,  $n = 0.15$  – параметр [3]. Профиль скорости на входе в расчетную область полагается равномерным.

Решение уравнения (1) можно получить, если известно поле скорости ветрового потока, которое формируется под влиянием застройки. Для расчета поля скорости ветрового потока используется модель отрывных течений идеальной жидкости. Для решения задачи в такой постановке необходимо проинтегрировать следующие уравнения [4,6]:

Уравнение Пуассона для функции тока  $\psi$ :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega. \quad (2)$$

Уравнение переноса завихренности  $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$  в воздушном потоке:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Компоненты вектора скорости рассчитываются по зависимостям

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4)$$

Постановка краевых условий для уравнений модели рассмотрена [4,6].

**Численное интегрирование моделирующих уравнений.** Численное интегрирование моделирующих уравнений осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Формирование вида расчетной области (место расположения зданий) осуществляется с помощью технологии ‘porosity technique’ [1,2,4]. Кроме этого, данная технология используется для задания места положения воздушной завесы.

При решении гидродинамической задачи используются неявные разностные схемы расщепления. Так разностные уравнения для расчета завихренности, на каждом шаге расщепления, записываются так:

- на первом шаге расщепления

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j-1}^+ \omega_{i,j-1}}{\Delta y} = 0$$

- на втором шаге расщепления

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j-1}^- \omega_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} = 0$$

Неизвестное значение завихренности на каждом шаге расщепления определяется по формуле бегущего счета. Для численного интегрирования уравнения Пуассона для функции тока используется метод А.А. Самарского [6]. Интенсивность вихрей в точках отрыва рассчитывается на основе методологии, рассмотренной в работе [4].

Для численного интегрирования уравнения (1) используется четырехшаговая попеременно – треугольная разностная схема расщепления [1,4].

**Программная реализация модели (код Jet-2D).**

На основе построенной численной модели создан код, реализованный на алгоритмическом языке *FORTRAN*. В состав кода входят следующие подпрограммы:

– *RUP1* – расчет процесса переноса токсичного вещества на первом и четвертом шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);

– *RUP2* – расчет процесса переноса токсичного вещества на втором и треть-

ем шаге расщепления (численное решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере);

– RB – реализация граничных условий для уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере;

– RiW – решение уравнения для переноса завихренности;

– RiPSI – решение уравнения для функции тока.

– RWP – реализация граничных условий для уравнения переноса завихренности;

– RPSIP – реализация граничных условий для уравнения для функции тока;

– RSP – расчет поля скорости воздушного потока в расчетной области;

– RPE – печать результатов расчета.

– RWVX. dat – файл исходных данных.

### **Алгоритм расчета.**

Основные этапы расчета на базе построенной численной модели состоят в следующем:

1. Вводится исходная информация, определяющая физическую постановку моделируемого процесса (скорость ветра, положение здания, его размеры, положение воздушной завесы и т.п.).

2. Осуществляется решение уравнений гидродинамики и рассчитывается поле скорости воздушного потока.

3. Осуществляется решение уравнения транспорта токсичного вещества в атмосфере и определяется его концентрация в расчетной области в различные моменты времени.

4. Осуществляется печать поля концентрации токсичного вещества в расчетной области и на месте расположения рецептора для данного момента времени.

### **Исходные данные для модели.**

Для моделирования рассматриваемого процесса необходимо задать следующую входную информацию:

1) параметры метеоситуации;

2) положение зданий и их форму;

3) положение места размещения воздуходувки, создающей воздушную завесу; скорость вдува и ширина участка вдува;

4) координаты рецептора;

5) концентрацию токсичного вещества в облаке.

### **Практическая реализация CFD модели.**

Разработанная модель была использована для исследования эффективности применения воздушной завесы для следующей ситуации. Перед зданием (здание имеет сложную форму) создается вертикальная воздушная струя, выходящая из воздуходувки с определенной скоростью (рис.1). Высота левого блока здания – 6м, высота среднего блока - 14м, высота правого блока здания -10м, ширина здания 20м. Скорость невозмущенного ветрового потока – 3м/с (скорость потока на входе в расчетную область); Концентрация токсичного вещества в облаке в начальный момент времени (HCN) равна 1(в безразмерном виде). Размеры расчетной области 100м\*42 м. Требуется определить, как будет сни-

жена концентрация токсичного вещества в точке расположения рецептора при «работе» воздушной завесы, имеющей различную начальную скорость подачи воздушной струи. Координаты первого рецептора – положение, например, воздухозаборника системы вентиляции («низкий» рецептор)  $x=52\text{м}$ .  $y=6\text{м}$ ; координаты второго рецептора («высокий» рецептор)  $x=52\text{м}$ .  $y=6\text{м}$ ;

Рассматривались следующие сценарии:

1. Скорость вдува вертикальной воздушной струи 10 м/с.
2. Скорость вдува вертикальной воздушной струи 15 м/с.

Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной CFD модели. На рис. 2,3 представлено распределение безразмерного значения концентрации HCN в расчетной области для случая, когда отсутствует воздушная завеса.

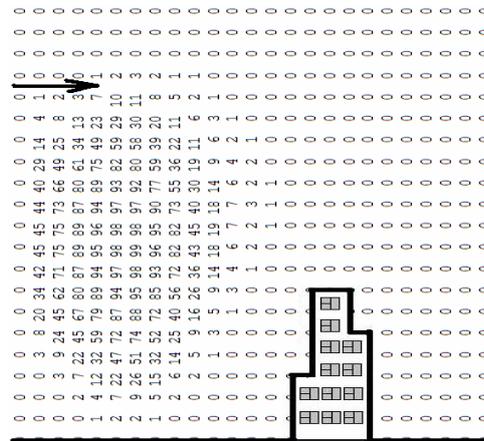
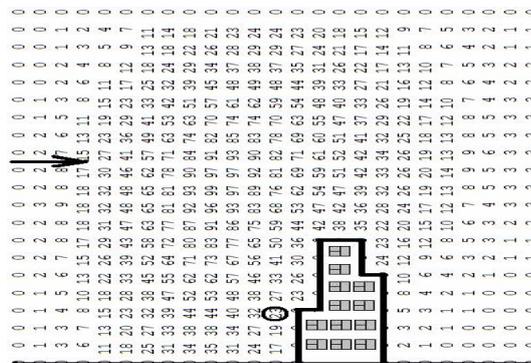


Рисунок 2 – Распределение концентрации опасного вещества при отсутствии воздушной завесы ( $t=1\text{с}$ ,  $C_{\text{max}}=0.9865$ )



О – точка расположения «нижнего» рецептора.

Рисунок 3 – Распределение концентрации опасного вещества возле здания при отсутствии воздушной завесы ( $t=7,5\text{с}$ ,  $C_{\text{max}}=0.5220$ .);

На данных рисунках поле концентрации представлено в виде матрицы, что позволяет быстро определять наиболее загрязненные подзоны и, что особенно важно – в области расположения рецептора. Значение концентрации на этих рисунках представлено в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени. Печать осуществляется по формату «целое число».

Из рис.3 видно, что облако, с течением времени, создает зону загрязнения вокруг всего здания, значит через окна, отверстия вентиляции токсичное веще-

ство попадет внутрь здания и создаст угрозу токсичного поражения людей внутри него.

На последующих рисунках (рис.4 и 5) представлено распределение концентрации токсичного вещества в расчетной области при работе воздушной завесы.

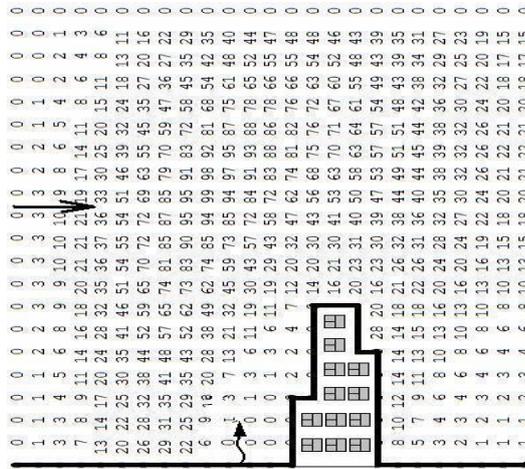
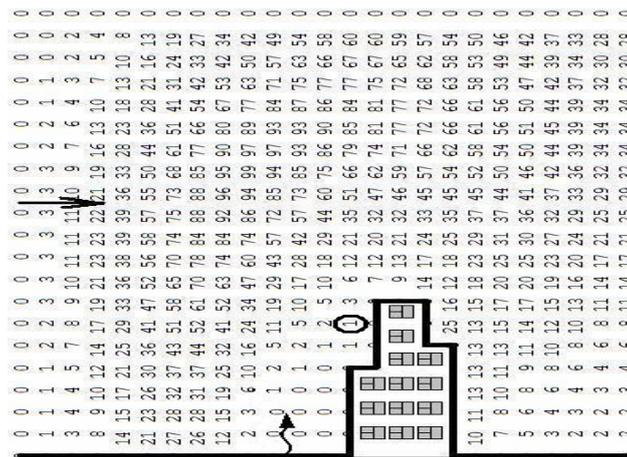


Рисунок 4 – Зона загрязнения для момента времени  $t=7,5c$  (скорость вдува струи 10 м/с,  $C_{max}=0.4370c$ .)



О – точка расположения «верхнего» рецептора  
Рисунок 5 – Зона загрязнения для момента времени  $t=7,5c$  (скорость вдува струи 15 м/с,  $C_{max}=0.4007c$ );

Как видно из представленных рисунков, наличие воздушной завесы изменяет поле распределения концентрации токсичного вещества возле здания. Использование воздушной завесы приводит к снижению концентрации токсичного вещества возле наветренной стороны второго здания. Например, непосредственно за воздушной завесой, возле наветренной стороны этого здания, до уровня порядка бм от поверхности земли, наблюдается отсутствие загрязнения, а далее, с высотой – наблюдается рост концентрации токсичного вещества, т.е. влияние вдуваемой струи - уменьшается и тем самым – уменьшается эффективность защиты. Но для струи, имеющей большую начальную скорость – это снижение эффективности не такое интенсивное. Например, как видно из рис.4 и.5 на крыше здания, при скорости вдува струи 10 м/с значение концентрации составляет величину порядка 14% – 20% от максимальной концентрации в рас-

четной области, а при скорости вдува струи 15 м/с значение концентрации в этом месте составляет величину порядка 7% – 14%, т.е. заметно меньше.

Для оценки эффективности применения воздушной завесы в табл.1 и 2 представлено значение концентрации токсичного вещества в точке расположения «нижнего» и «верхнего» рецепторов, а также значение «эффективности» защиты, которая рассчитывалась следующим образом

$$I = \frac{(C - C_s) \cdot 100\%}{C}$$

где  $C$  - концентрация токсичного вещества в точке расположения рецептора при отсутствии воздушной завесы;

$C_s$  - концентрация токсичного вещества в точке расположения рецептора при применении воздушной завесы;

Таблица 1 – Безразмерное значение концентрации токсичного вещества в точке расположения «низкого» рецептора

Сценарий	Время t=5с	Время t=7,5с	I – интенсивность снижения концентрации (t=7,5с)
Нет воздушной завесы	0.056	0.1224	-----
Скорость вдува 10м/с	0.0028	0.0038	96.89%
Скорость вдува 15м/с	0.0008	0.0009	99.99%

Таблица 2 – Безразмерное значение концентрации токсичного вещества в точке расположения «высокого» рецептора

Сценарий	Время t=5с	Время t=7,5с	I - интенсивность снижения концентрации (t=7,5с)
Нет воздушной Завесы	0.0852	0.1632	-----
Скорость вдува 10м/с	0.0161	0.0202	87.62%
Скорость вдува 15м/с	0.0071	0.0074	95.46%

**Выводы.** В работе представлена новая CFD модель для расчета эффективности применения воздушной завесы с целью локальной защиты здания от загрязнения. Для решения гидродинамической задачи используется модель отрывных течений идеальной жидкости. Для расчета переноса опасного в атмосфере используется модель Марчука Г. И. При практической реализации на ПК разработанной CFD модели требуются небольшие затраты компьютерного времени. Дальнейшее развитие данной тематики следует вести в направлении построения 3-D модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антошкина, Л.И. Оценка экологического риска при авариях с химически опасными веществами / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько : Наука и образование: Днепропетровск, 2008. - 132 с.
2. Беляев, Н.Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ / Н.Н. Беляев, В.М. Лисняк - ООО «Инновация»: Днепропетровск, 2006 - 150 с.
3. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд - Л.: Гидрометеоздат, 1985 - 273 с.
4. 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.
5. Купаев, В. И. Методы локализации очага аварии и ликвидации ее последствий на химически опасных объектах железнодорожного транспорта / В. И. Купаев, С. В. Рассказов // Транспорт. наука, техника, управление. - 2003. - №4. - С.28-34.
6. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский. - М.: Наука, 1978. - 735 с.
7. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. / Г.И. Марчук. - М.: Наука, 1982. - 320 с.
8. Самарский, А. А. Теория разностных схем. / А.А. Самарский - М.: Наука, 1983. – 616 с.
9. Belayev, N. N. An engineering approach to simulate the 3-d wind flows over buildings / N. N. Belayev, V. K. Khrutch // Proceedings of the Fourth Intern. Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications, Ruhr-Universitat. Volume of Abstracts. – Bochum (Germany), Sept. 11–14, 2000, – P. 471–475.
10. Belayev, N. N. Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings. / N. N. Belayev, M. I. Kazakevitch, V. K. Khrutch // Wind Engineering into 21<sup>st</sup> Century: Proceedings of the Tenth Intern. Conf. on Wind Engineering. – Copenhagen (Denmark) A. A. Balkema / Rotterdam – Brookfield, 1999. – P. 1217–1220.
11. Belayev, N.N. 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
12. Protecting buildings and their occupants from airborne hazards. U.S. Army Corps of Engineers, Engineering and Construction Division, Directorate of Military Programs, Washington, DC 20314 – 1000. TI 852-01, October 2001.

## REFERENCES

1. Antoshkina, L.I., Belayev, N.N. and Gunko, E.Yu. (2008), *Otsenka ekologicheskogo riska pri aviariyakh s himicheskimi opasnyimi veshchestvami* [Estimation of ecological risk at failures with the chemically hazardous substances], Nauka i obrazovanie, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Belayev, N.N. and Lisnyak, V.M. (2006), *Zaschita atmosfery ot zagryazneniya pri migratsii toksichnykh veshchestv* [Defence of atmosphere from contamination during migration of toxic matters]. SCR «Innovatsiya», Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Berlyand, M. E. (1985), *Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery* [Prognosis and adjusting of contamination of atmosphere], Gidrometeoizdat, Leningrad, SU.
4. Zgurovsky, M., Skopetsky, V.V., Hrusch, V.K. and Belayev, N.N. (1997), *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical simulation of distribution of contamination in an environment], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
5. Kupaev, V. I. and Rasskazov, S.V. (2003), "Methods of localization of hearth of failure and liquidation of its consequences on the chemically dangerous objects of railway transport", *Transport. nauka, tehnika, upravlenie*, no.4, pp.28-34.
6. Loytsyanskiy, L. G. (1978), *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas], Nauka, Moscow, SU.
7. Marchuk, G. I. (1982), *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical simulation in the problem of environment], Nauka, Moscow, SU.
8. Samarsky, A. A. (1983), *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of difference charts], Nauka, Moscow, SU.
9. Belayev, N. N. An engineering approach to simulate the 3-d wind flows over buildings / N. N. Belayev, V. K. Khrutch // Proceedings of the Fourth Intern. Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications, Ruhr-Universitat. Volume of Abstracts. – Bochum (Germany), Sept. 11–14, 2000, – P. 471–475.
10. Belayev, N. N. Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings. / N. N. Belayev, M. I. Kazakevitch, V. K. Khrutch // Wind Engineering into 21<sup>st</sup> Century: Proceedings of the Tenth Intern. Conf. on Wind Engineering. – Copenhagen (Denmark) A. A. Balkema / Rotterdam – Brookfield, 1999. – P. 1217–1220.

11. Belyayev, N.N. 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

12. Protecting buildings and their occupants from airborne hazards. U.S. Army Corps of Engineers, Engineering and Construction Division, Directorate of Military Programs, Washington, DC 20314 – 1000. TI 852-01, October 2001.

---

### Об авторах

**Беляев Николай Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлика и водоснабжение» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Днепропетровск, Украина.

**Росточило Наталья Васильевна**, ассистент кафедры «Гидравлика и водоснабжение» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина.

### About the authors

**Belyaev Nikolay Nikolayevich**, Doctor of technical Sciences (D.Sc), Professor, Head of the Department «Hydraulics and water supply» of Dnepropetrovsk national university of railway transport named after V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, Ukraine.

**Roctochilo Natalia Vasilievna**, Assistant of the Department «Hydraulics and water supply» of Dnepropetrovsk national university of railway transport named after V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, Ukraine.

---

**Анотація.** Актуальним завданням є захист будівель від попадання в них небезпечних речовин, мігруючих в атмосфері. Для вирішення цього завдання може використовуватися повітряна завіса, що є вертикальним потоком повітря, яке створює гідродинамічний бар'єр на шляху мігруючої в атмосфері небезпечної речовини. При використанні цього методу захисту необхідно заздалегідь визначити його ефективності з урахуванням конкретних метеоумов, форми будівлі. У роботі представлена чисельна модель, що дозволяє вирішити це завдання. У основу моделі покладено рівняння руху ідеальної рідини і рівняння масопереносу. Для чисельного моделювання моделюючих рівнянь використовуються різницеві схеми. Чисельний розрахунок здійснюється на прямокутній різницевій сітці. Для формування виду розрахункової області і виділення її особливостей застосовується метод маркування. Модель дозволяє розрахувати ефективність застосування повітряної завіси для локального захисту будівлі. Час розрахунку одного варіанту завдання складає декілька секунд. Надаються результати проведеного обчислювального експерименту.

**Ключові слова:** Чисельна модель, токсичні речовини, рівняння масопереносу, рівняння відривних течій невязкої рідини

### Abstract.

Protection of buildings against hazardous substances migrating in the atmosphere is a pressing problem of today. To overcome this problem, an air curtain can be used presenting a vertical air flow which creates a hydrodynamic barrier for the hazardous agents migrating in the atmosphere. In order to use this method of protection it is necessary to pre-estimate its efficiency for the specific weather conditions and shape of the building. This paper presents a numerical model, which allows to overcome this problem. The model is based on the equations of ideal fluid motion and mass transfer equation. The numerical simulation uses the finite difference schemes. The numerical calculation is carried out on a rectangular grid. In order to form a computational domain and specify the domain features markers are used. The model allows to calculate an efficiency of the air curtain used for the building local protection. Time period for calculating one variant of the problem is few seconds. The article presents results of a computational experiment.

**Keywords:** Numerical model, toxic agents, mass transfer equation, equation for the nonviscous-liquid separated flows.

*Статья поступила в редакцию 25.02.1914*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко*

УДК 622.817.4+622.454

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.  
(ИГТМ НАН України)

**К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЦЕССАМИ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ НА  
ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ**

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.  
(ИГТМ НАН України)

**ДО ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ  
ПРОЦЕСАМИ ПОВІТРОРІЗПОДІЛУ І ГАЗОВИДІЛЕННЯ НА  
ВИЙМКОВИХ ДІЛЯНКАХ**

**T.V. Bunko**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**TO THE ISSUE OF IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR  
CONTROLLING AIR-DISTRIBUTION AND GAS-RELEASE PROCESSES  
IN THE WORKING AREAS**

**Аннотация.** Рассмотрен процесс развития технологических схем проветривания и дегазации выемочных участков угольных шахт. Показано, что вакуумирование и отвод по трубопроводу притечек газовой смеси из верхней части лавы за пределы выемочного участка создает возможность влиять на аэродинамический процесс одновременно в двух направлениях – в управлении газовой выделением и воздухораспределением. Такое влияние рассмотрено в условиях основных используемых схем проветривания. Освещены вопросы совершенствования технологии совместного управления процессами воздухораспределения и газораспределения на выемочных участках, что позволит увеличить эффективность проветривания за счет перераспределения долевого участия вентиляции и дегазации в процессе удаления метана за пределы выемочного участка с последующим обогащением метановоздушной смеси с ее последующей утилизацией.

**Ключевые слова:** технологические схемы проветривания, дегазация выемочных участков, вакуумирование, воздухораспределение.

По мере увеличения глубины ведения горных работ, выделение метана непрерывно возрастает, что связано с увеличением газоносности угольных пластов и вмещающих пород. В соответствии с этим изменяется и структура газового баланса, в котором все более повышается удельный вес выработанного пространства. Уже при сплошной системе отработки на некоторых действующих выемочных участках газовыделение из выработанного пространства достигает 70-80% от их общего дебита метана.

Последнее усложняет технологию ведения горных работ, а недоступность выработанного пространства не позволяет непосредственно воздействовать на его газообильность.

Особенностью газовыделения из выработанного пространства является его независимость от вида работ по выемке угля, а также возможность его резкого временного повышения в результате падения барометрического давления или обрушения кровли.