

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА

Построена численная модель для расчета эффективности защиты здания от загрязнения при миграции в атмосфере токсичного вещества. Для защиты используется метод нейтрализации. Модель основана на уравнении переноса примеси и уравнении движения идеальной жидкости. Для численного интегрирования применяются неявные разностные схемы расщепления. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Побудована модель для розрахунку захисту будівлі від забруднення при міграції в атмосфері токсичного речовини. Для захисту використовується метод нейтралізації. В моделі використовується рівняння переносу домішки та рівняння течії нев'язкої рідини. Для чисельного інтегрування використовуються неявні різницеві схеми розщеплення. Наведені результати обчислювального експерименту.

A numerical model to compute the efficiency of the building local protection was developed. To protect building the neutralize substance supply is used. The transport equation and the equation of the inviscid flow are used in the model. The implicit difference schemes of splitting are used for the numerical integration. The results of the numerical experiments are presented.

Вступление. Хорошо известно, что аварии, сопровождающиеся выбросом, разливом токсичных веществ на химически - опасных объектах (ХОО) способны вызвать загрязнение окружающей среды, и поражение людей. В случае аварии на ХОО возникает важная задача по локализации и ликвидации зоны загрязнения с целью минимизации размеров зоны поражения [6]. В настоящее время, в рамках данной проблемы, за рубежом, выделяют класс задач, который получил особое название - «shelter - in - place». Это организация локальной защиты зданий от попадания в них опасных веществ. Известно, что наиболее уязвимым местом являются места размещения воздухозаборников системы вентиляции зданий. Поэтому, ставится задача минимизировать попадание опасных веществ в зону размещения воздухозаборника. Одним из наиболее эффективных способов решения данной задачи является применение метода нейтрализации, т.е. подачи реагента для понижения концентрации опасного вещества в атмосфере. Если на производстве, известны потенциально опасные места, где может быть выброс в атмосферу опасных веществ (например, места заправки – слива цистерн), то вблизи их можно разместить струйные установки, которые обеспечат подачу реагента при возможной эмиссии. Но при применении данного способа защиты необходимо заранее знать его эффективность. Эта эффективность зависит от комплекса факторов: метеоусловия, расположение зданий на месте нейтрализации, скорость осаждения нейтрализатора, скорость эмиссии реагента и т. д. Данные факторы определяют процесс переноса и «покрытия» реагентом обрабатываемой зоны, а значит - определяют эффективность планируемой защиты. Решение задачи по оценке эффективности метода нейтрализации может быть получено только на основе метода математического моделирования. Поэтому разработка математических моделей, служащих для поддержки принятия решений по проведению этого или иного

защитного мероприятия является важной задачей в области экологической и промышленной безопасности. Решение такой сложной прогнозной задачи, как оценка эффективности метода нейтрализации, проводимого в условиях застройки, может быть получено только с помощью метода численного моделирования [2,7,8]. Анализ литературных источников показывает, что существует ограниченное количество работ, посвященных решению этой проблемы. Так можно выделить работы [1,2], где рассматривается подача реагента для нейтрализации облака токсичного газа, но без учета влияния застройки. В работе [3] рассмотрена задача о подаче реагента от неподвижного вертолета в зону загрязнения, в условиях застройки, но для модельной ситуации – «точечный выброс», т.е. без учета гидродинамики процесса вытекания реагента.

Целью данной работы является разработка численной модели для расчета нейтрализации токсичного газа в атмосфере, которая проводится в условиях застройки при подаче реагента от стационарной струйной установки.

Постановка задачи. Пусть на территории ХОО, вследствие аварийной ситуации, происходит выброс в атмосферу опасного вещества. Выброс токсичного газа происходит на промышленной площадке, где расположены здания (рис.1). Для ликвидации зоны загрязнения в атмосфере, используется подача в облако токсичного газа реагента от стационарной струйной установки, расположенной на крыше первого здания.

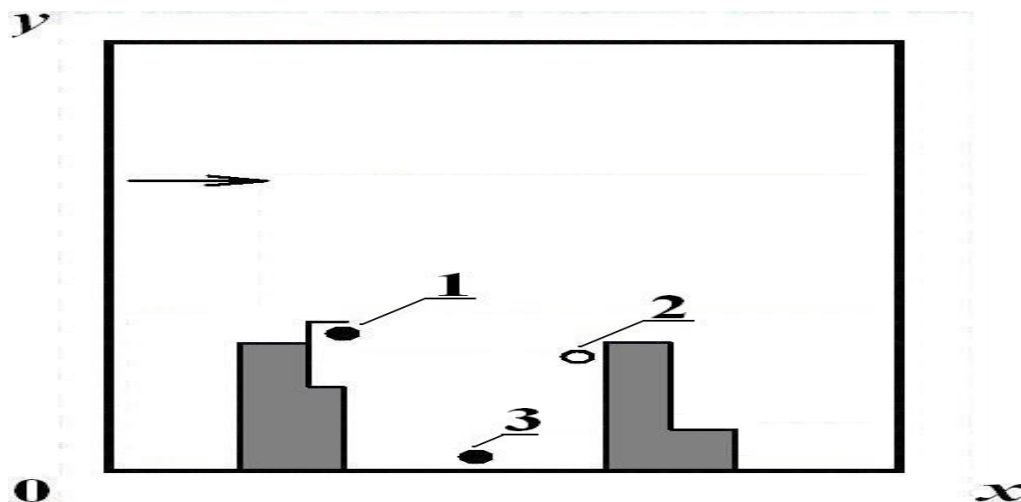


Рис. 1. Схема расчетной области: 1 – место подачи струи нейтрализатора; 2 – положение рецептора; 3 – место эмиссии опасного вещества

Требуется оценить эффективность нейтрализации при заданной метеоситуации и параметрах эмиссии реагента.

Моделирующие уравнения. Для расчета концентрации опасного вещества в атмосфере используется осредненное по ширине B переноса примеси (профильная задача) уравнение [2,4,5]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c(t)) \delta(y - y_c(t)), \quad (1)$$

где C – концентрация примеси (опасное вещество); u, v , – компоненты вектора скорости движения ветрового потока; w – скорость гравитационного оседания примеси; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной диффузии; t – время; Q_{Ci} – осредненное значение интенсивности точечного источника эмиссии примеси, размещенного в точке x_c, y_c ; $\delta(x-x_c)\delta(y-y_c)$ – дельта-функция Дирака. Ось Y направлена вертикально вверх.

Аналогичное уравнение применяется для моделирования рассеивания реагента в атмосфере. В этом случае C – концентрация реагента.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [5].

Для расчета профиля скорости ветра (продольная составляющая) на входе в расчетную область и коэффициентов атмосферной диффузии используются такие зависимости [4]

$$u = u_1 \left(\frac{Y}{Y_1} \right)^n, \quad \mu_y = 0,11Y; \quad \mu_x = 0,2u;$$

где u_1 – скорость ветра на высоте Y_1 , Y – текущее значение высоты, $n=0.15$ – параметр.

Решение уравнения (1) можно получить, если известно поле скорости ветрового потока, которое формируется под влиянием застройки или других препятствий. Это поле скорости определяет конвективный перенос, как токсичного газа, так и реагента в атмосфере. Для расчета поля скорости ветрового потока в условиях застройки и для учета локального влияния на это поле скорости выхода потока реагента из емкости используется модель потенциального течения. Для решения задачи в такой постановке необходимо проинтегрировать уравнение [8, 11]

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

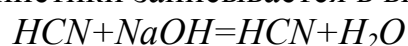
где P – потенциал скорости, ось Y , как отмечалось ранее – направлена вертикально вверх.

Постановка граничных условий для данного уравнения рассмотрена в [2,3 5]. Компоненты вектора скорости воздушной среды рассчитываются на основе зависимостей [8, 11]

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

Численное интегрирование моделирующих уравнений. Для численного интегрирования уравнений гидродинамики и массопереноса используется прямоугольная разностная сетка. Формирование вида расчетной области (место расположения зданий на промплощадке) осуществляется с помощью технологии ‘porosity technique’ [3,5]. Кроме этого, данная технология используется для задания места подачи реагента и места эмиссии опасного вещества. Для численного интегрирования уравнения (2) используется метод Ричардсона, а численное интегрирование уравнения (1) проводится с помощью попеременно – треугольной разностной схемы. [2,3,5].

Практическая реализация модели. На основе построенной модели создан код *“Jet-2D”*, реализованный на алгоритмическом языке *FORTRAN*. Разработанная модель была использована для моделирования процесса нейтрализации токсичного газа – HCN при его эмиссии на территории ХОО (рис.1). Моделирование проведено для следующих параметров задачи: интенсивность эмиссии составляет 200 г/с; размеры расчетной области 100м*42 м; скорость невозмущенного ветрового потока – 3.5м (скорость потока u_1); высота первого здания – 12м, второго – 12м; ширина первого здания 16м, второго - 20м. Рецептор – воздухозаборник располагается возле крыши второго здания (рис.1), его координаты $x=58м$, $y = 9м$. Подача реагента начинается в момент времени $t=17с$; угол подачи струи реагента составляет -60^0 , скорость струи нейтрализатора -10м/с. Для нейтрализации опасного вещества используется подача 10 % раствора NaOH. Уравнение кинетики записывается в виде



Расчет процесса химического взаимодействия осуществляется в отдельной подпрограмме. Для моделирования взаимодействия другого опасного вещества с другим нейтрализатором необходимо внести изменения только файл исходных данных.

Рассмотрим результаты моделирования на базе разработанной модели. На рис. 2,3 представлено распределение концентрации опасного вещества для различных моментов времени после начала действия источника миссии и для различных моментов времени после начала подачи струи нейтрализатора (рис.4,5). Значение концентрации на этих рисунках представлено в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени. Вывод на печать чисел осуществлен по формату *«целое число»*, т.е. дробная часть числа не выдается на печать.

Видно, что достаточно быстро облако опасного вещества охватывает наветренную сторону второго здания, что создает прямую угрозу затекания его внутрь помещений.

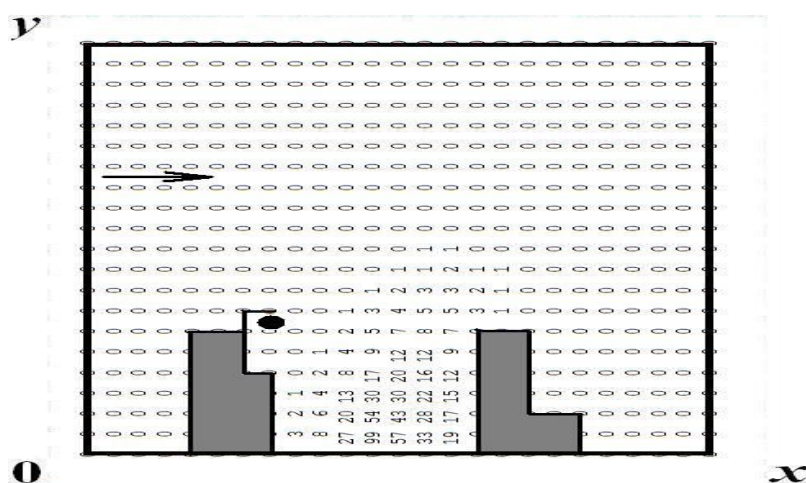


Рис. 2. Распределение концентрации HCN для момента времени $t=6с$.

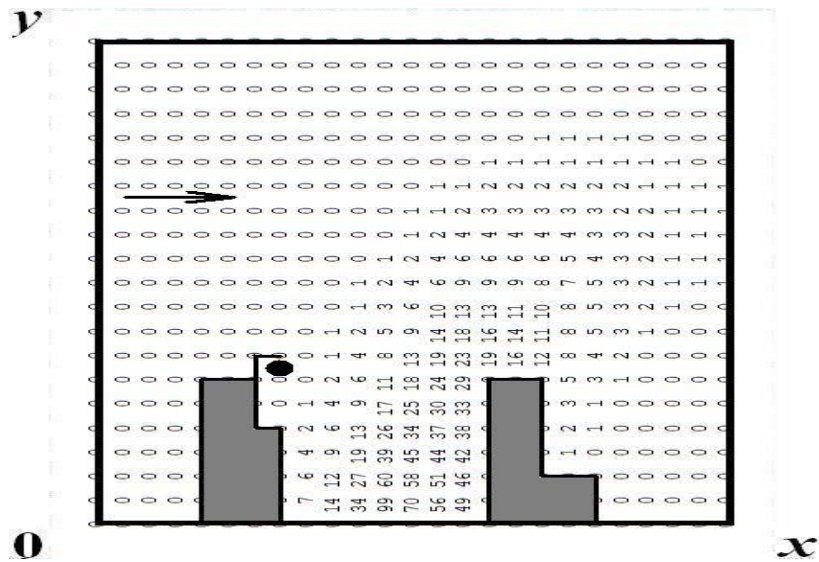


Рис. 3. Распределение концентрации NCH для момента времени t=15с.

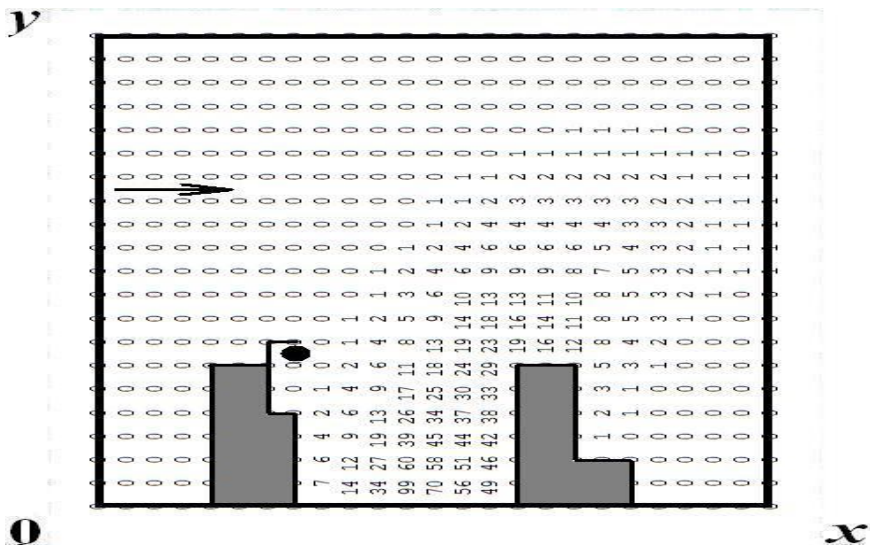


Рис. 4. Распределение концентрации HCN для момента времени t=19с.

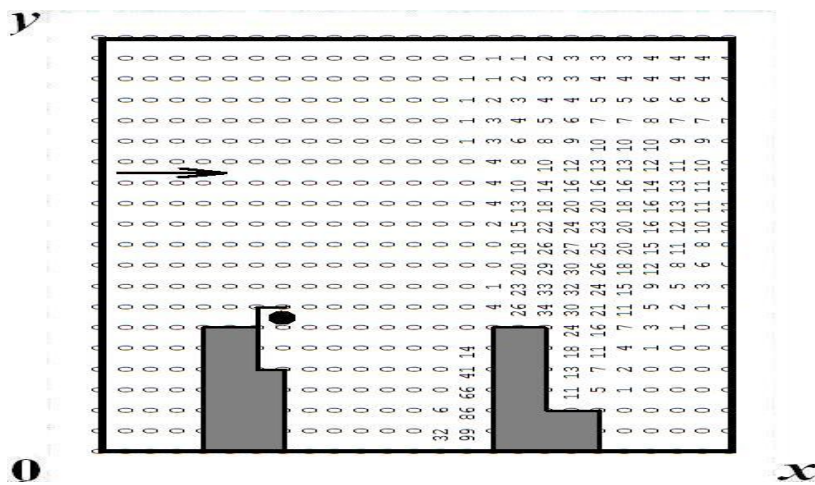


Рис. 5. Распределение концентрации HCN для момента времени t=22с.

После начала подачи реагента картина загрязнения приземного слоя атмосферы – меняется: струя нейтрализатора быстро ликвидирует зону загрязнения, как близи источника эмиссии, так и возле второго здания.

Далее представлены результаты решения аналогичной задачи, но при условии, что вокруг места эмиссии опасного вещества располагаются защитные стенки, высотой 2м (рис.6).

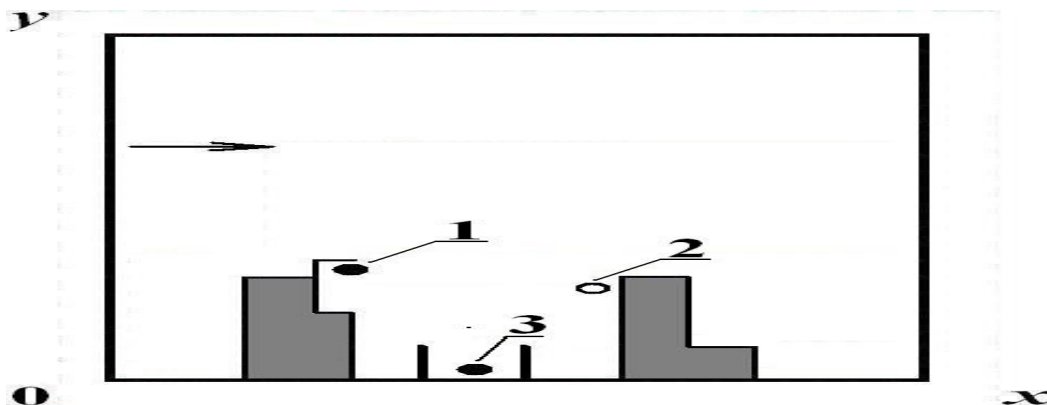


Рис.6. Схема расчетной области: 1 – место подачи струи нейтрализатора; 2 – положение рецептора; 3 – место эмиссии опасного вещества, огражденное защитными стенками

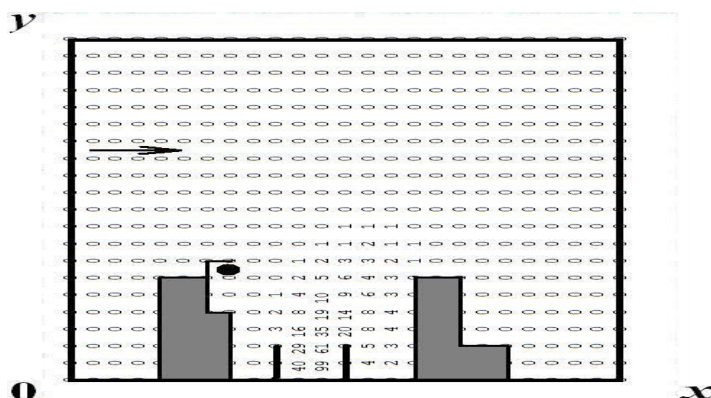


Рис. 7. Распределение концентрации HCN для момента времени $t=6с$.

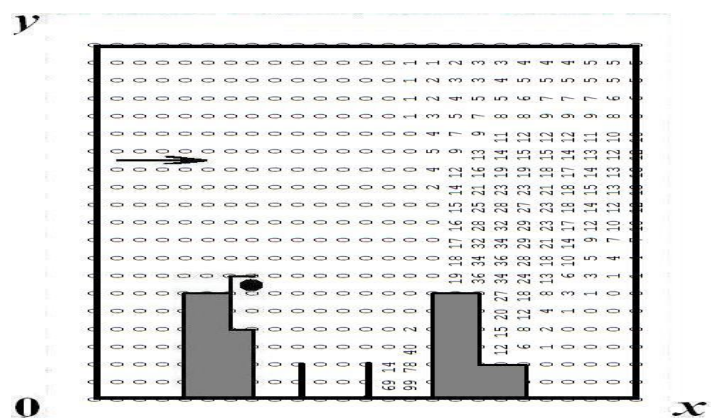


Рис. 9. Распределение концентрации HCN для момента времени $t=22с$.

Если сравнить рис. 2 и рис.7, то видно, что защитные стенки направляют загрязнитель вверх и область загрязнения. В табл.1 представлены значения концентрации опасного вещества в точке расположения рецептора, позволяющие оценить темп снижения ее с течением времени для каждого сценария.

Таблица 1

Значение концентрации токсичного вещества в точке расположения рецептора

t, с	Концентрация, мг/м ³ (нет защитных стенок)	Концентрация, мг/м ³ (есть защитные стенки)
6	2.17	1.33
13	7.61	5.83
16	9.38	7.66
21	7.41	4.47
22	1.70	0
23	0	0

Если проанализировать данные из табл.1, то видно, что с течением времени защитный эффект стенок все таки сохраняется – концентрация токсичного газа в точке расположения рецептора ниже, чем для ситуации, когда отсутствуют стенки.

В заключение отметим, что расчет задачи на базе разработанной модели составляет 10с компьютерного времени.

Выводы. В работе представлена новая CFW модель для расчета эффективности нейтрализации токсичного вещества в атмосфере в случае проведения этого процесса в условиях застройки. Моделирование основывается на предварительном расчете поля скорости ветрового потока на базе модели потенциального течения. Для расчета переноса токсичного вещества и реагента в атмосфере используется модель Марчука Г. И. Для практической реализации на ПК разработанной модели требуется несколько секунд времени, что является крайне важным для ее практического применения как в режиме «on - line», так и в случае проведения серийных расчетов при разработке ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации). Разработанная модель может служить инструментом решения комплекса задач в области экологической и промышленной безопасности. Дальнейшее развитие данной тематики следует вести в направлении построения модели подачи реагента (нейтрализатора) от самолета.

Список литературы

1. Беляев Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при аварийных выбросах и разливах токсичных веществ / Н. Н. Беляев, В. М. Лисняк // Проблемы обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. пр. - Донецьк: Норд-Прес, 2004. – Вип. 8. - С. 32-40.
2. Беляев Н. Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсичных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, В. М. Лисняк. Д.: ООО «Инновация», 2006. 150 С.

3. Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю., Машихина П.Б. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: Монография. / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина. Д.: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
4. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / Берлянд М. Е. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
5. Згуровский М. З. 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.
6. 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.
7. 2. Belayev N. N. Computer simulation of the pollutant dispersion among buildings / N. N. Belayev, M. I. Kazakevitch, V. K. Khrutch // Wind Engineering into 21st Century: Proceedings of the Tenth Intern. Conf. on Wind Engineering, Copenhagen (Denmark) A. A. BALKEMA / Rotterdam - BROOKFIELD, 1999. - P. 1217-1220.
8. 3. Biliaiev M.M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography /Biliaiev M.M., Kharytonov M.M. / Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. № P1.7.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Е.
Надійшла до редакції 11.11.13*

УДК 622.271.322

© Є.В. Малєєв, А.Ю. Дриженко

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАУКІСКИ БОРТІВ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

Розглянута технологія заукіски робочих та неробочих бортів глибоких кар'єрів шляхом буріння вертикальних та нахилених екрануючих свердловин. Наведені результати дослідних підривань на кар'єрах ПівдГЗК й ПолтГЗК.

Рассмотрена технология заоткоски рабочих и нерабочих бортов глубоких карьеров путем бурения вертикальных и наклонных экранирующих скважин. Приведены результаты опытных взрывов на карьерах ЮГОКа и ПГОКа.

Technology of zaotkoski of workings and non-working sides is considered deep kar'e-ditch by the boring drilling of vertical and sloping screening mining holes. Re-zul'taty of experimental explosions is resulted on the careers of YUGOKa and PGOKa.

Стійкість укосів робочих і неробочих бортів кар'єрів значною мірою залежить від способів підривання й конструкції зарядів екрануючих свердловин. При цьому великі незручності у практиці гірничих робіт створюють фактичні відхилення поверхні укосу уступів від проектних профілів, як за нормаллю, так і по їх довжині. Спостереження, які виконані в умовах кар'єру ПівдГЗК, показують, що відхилення верхньої брівки уступів углиб масиву досягають у багатьох випадках понад 10 м. У таких місцях спостерігаються заколи вглиб масиву, виникають значні труднощі у розмітці й бурінні свердловин, установленні й