

стосунків, спільного відпочинку, забезпечення зворотного зв'язку між керівником і виконавцем.

#### **Висновки**

В результаті проведених досліджень встановлено, що за основу ефективності роботи

підприємств споживчої кооперації необхідно прийняти розроблену систему мотивації, яка є ефективною у всіх аспектах діяльності підприємства та ознакою організаційної культури виробництва.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES**

1. Dahrendorf. Class and Class Conflict in Industrial Society.- 1959.- P.161-163
2. Parsons T. An Outline of Social System /Theories of Society.- 1962.-У.2.-P.71

*Стаття рекомендована до друку д-ром педаг. наук, проф. В.Ю. Стрельниковим (Україна); канд. економ. наук проф. О.В. Карпенко (Україна)*

Поступила в редколлегию 9.09.2015

**УДК [622.812:534.222.2]:001.891.57**

## **РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДУШНЫХ ВОЛН В ПРОТЯЖЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С УЧЕТОМ ДИССИПАЦИИ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ГАЗОВОГО ПОТОКА**

**НАЛИСЬКО Н. Н.<sup>1\*</sup>, к.т.н., доц.**

<sup>1\*</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [0507544273@mail.ru](mailto:0507544273@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

**Аннотация. Цель.** Одним из основных поражающих факторов взрыва газозвудушных смесей, в условиях подземных сооружений угольных шахт, является ударная воздушная волна. Для расчета взрывозащитных сооружений существует нормативная база, которая опирается на экспериментальные данные. Однако проблема установления достоверных параметров распространения ударной воздушной волны остаётся актуальной. Одним из перспективных направлений в расчете задач резко нестационарных процессов является использование численных методов. В настоящее время предложено решение задачи распространения взрывных волн по горной выработке с помощью схемы численного счета уравнений газодинамики модифицированным методом «крупных частиц». В задаче учитывается фактор падения энергии движения газового потока за счет вовлечения в движение возрастающих с расстоянием воздушных масс и за счет действия сил трения потока газа о стенки выработки. Необходимо развитие математической модели процесса распространения ударных воздушных волн по горным выработкам путем обоснования методики расчета параметров их затухания с учетом теплоотдачи потока в стенки выработки. **Методика.** Анализ и обобщение теоретических исследований, математическое моделирование газодинамических процессов распространения взрывных воздушных волн в протяженных сооружениях. **Результаты.** Обоснована методика расчета параметров распространения ударных воздушных волн по горным выработкам с учетом теплоотдачи потока в стенки выработки. Предложена методика пригодная для использования в схеме численного счета модифицированным методом крупных частиц. **Научная новизна.** В работе усовершенствована численная схема газодинамического расчета в которой предлагается, на эйлеровом этапе, моделирование теплового взаимодействия газового потока со стенками выработки в виде теплового баланса между внутренней энергией всего объема газового потока и отводом тепла в стенки канала, основанного на законе сохранения энергии. **Практическая значимость.** Полученная схема численного счета позволяет в полной мере учесть все физические факторы влияющие на процесс распространения

взрывных воздушных волн и на основании этого проводить численный эксперимент для получения оперативных и достоверных параметров взрывной волны.

*Ключевые слова:* аварийный участок, взрывная воздушная волна, численный расчет, газовая динамика, тепловой поток, внутренняя энергия

## **РОЗРАХУНОК ПОШИРЕННЯ ВИБУХОВИХ ПОВІТРЯНИХ ХВИЛЬ У ПРОТЯЖНИХ СПОРУДАХ З УРАХУВАННЯМ ДИССИПАЦІЇ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ ГАЗОВОГО ПОТОКУ**

НАЛИСЬКО М. М.<sup>1</sup>, *к.т.н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [0507544273@mail.ru](mailto:0507544273@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

**Анотація. Мета.** Одним з основних вражаючих факторів вибуху газоповітряних сумішей, в умовах підземних споруд вугільних шахт, є ударна повітряна хвиля. Для розрахунку вибухозахисних споруд існує нормативна база, яка спирається на експериментальні дані. Однак проблема встановлення достовірних параметрів поширення ударної повітряної хвилі залишається актуальною. Одним з перспективних напрямків в розрахунку задачі нестационарних процесів є використання чисельних методів. В даний час запропоновано рішення задачі поширення вибухових хвиль по гірничим виробкам за допомогою схеми чисельного рахунку рівнянь газодинаміки модифікованим методом «великих часток». У задачі враховується фактор падіння енергії руху газового потоку за рахунок залучення в рух зростаючих з відстанню повітряних мас і за рахунок дії сил тертя потоку газу об стінки виробки. Необхідно зробити розвиток математичної моделі процесу поширення ударних повітряних хвиль по гірничих виробках шляхом обґрунтування методики розрахунку параметрів їх загасання з урахуванням тепловіддачі потоку в стінки виробки. **Методика.** Аналіз і узагальнення теоретичних досліджень, математичне моделювання газодинамічних процесів розповсюдження вибухових повітряних хвиль в протяжних спорудах.

**Результати.** Обґрунтовано методику розрахунку параметрів поширення ударних повітряних хвиль по гірничих виробках з урахуванням тепловіддачі потоку в стінки виробки. Запропонована методика придатна для використання в схемі чисельного розрахунку модифікованим методом крупних частинок. **Наукова новизна.** У роботі вдосконалена чисельна схема газодинамічного розрахунку в якій пропонується, на ейлеровому етапі, моделювання теплового взаємодії газового потоку зі стінками виробки у вигляді теплового балансу між внутрішньою енергією всього обсягу газового потоку і відведенням тепла в стінки каналу, заснованого на законі збереження енергії. **Практична значимість.** Отримана схема чисельного рахунку дозволяє повною мірою врахувати всі фізичні фактори, що впливають на процес поширення вибухових повітряних хвиль і на підставі цього проводити чисельний експеримент для отримання оперативних і достовірних параметрів вибухової хвилі.

*Ключові слова:* аварійна ділянка, вибухова повітряна хвиля, чисельний розрахунок, газова динаміка, тепловий потік, внутрішня енергія

## **THE ESTIMATION OF SHOCK AIR WAVES PROPAGATION IN LENGTHY BUILDINGS SUBJECT TO DISSIPATION OF GAS STREAM INTERNAL ENERGY**

NALISKO N. N.<sup>1</sup>, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup> Department of vital activity safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [0507544273@mail.ru](mailto:0507544273@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

**Abstract. Purpose.** In the conditions of coal mines underground building one of the main affecting factor of gas-air mixture explosion is a shock air wave. For the computation of explosion protective buildings there exist a normative base, which is rested upon experimental data. However, a problem of estimation of a shock air wave propagation reliable parameters still stays urgent. One of the prospective direction in computation of sharply nonsteady tasks is the numerical methods usage. Nowadays there has been offered a solution of a problem of shock waves propagation in a mine excavation with the help of a numerical account scheme of gas dynamic equations by a "coarse parts" modification method. In a task there is taken into account a factor of gas stream movement energy descent subject to involvement in a movement increasing due to distance air masses and subject to action of gas stream friction forces of excavation walls. It is required a development of a process mathematic model of shock air waves propagation along mine workings by substantiation a method of parameters computation of their attenuation due to stream heat exchange to excavation walls. **Methodology.** Analysis and generalization of theoretical researches, mathematical modeling of gas dynamic processes of shock air waves propagation in lengthy buildings. **Findings.** There has been substantiated a computation method of shock air waves

propagation parameters along mine workings subject to stream heat exchange to excavation walls. **Originality.** In a work there has been improved a numerical scheme of gas dynamic computation, in which on Euler stage, there is offered a modeling of heat exchange of gas stream with excavation walls as a heat balance between internal energy of a gas stream whole volume and heat withdrawal in the channel walls, based on the law of conservation of energy. **Practical value.** An obtained scheme of a numerical account allows taking into account all physical factors affecting on the shock air waves propagation process and carrying out a numerical experiment for obtaining prompt and reliable parameters of shock wave.

*Keywords:* wrecking area, shock air wave, numerical account, gas dynamics, heat stream, internal energy

### **Постановка проблемы, ее связь с научными и практическими заданиями**

Аварийные участки угольных шахт, где произошли взрывы газа или возникли пожары, несут в себе опасность повторных взрывов рудничной атмосферы. Безопасность работ горноспасателей в таких условиях обеспечивается взрывозащитными сооружениями. Надежность работы таких сооружений зависит, в том числе, от правильной оценки нагрузки на них от действия ударных волн, вызванных повторными взрывами газозвушных смесей. Для расчета взрывозащитных сооружений существует нормативная база, которая была разработана в 80-х годах прошлого столетия. Однако проблема взрывов метанозвушных смесей на аварийных участках, и проблема сведение к минимуму разрушительного действия воздушных ударных волн остаётся по-прежнему актуальной. Об этом свидетельствуют случаи разрушения взрывозащитных сооружений при взрыве газа в заперемыченных пространствах и выходы ударной воздушной волны с опасным для человека избыточным давлением в места укрытия персонала, несмотря на соблюдения всех действующих методик определения безопасных расстояний. По этой причине точность существующих методов расчёта в сложных ситуациях перестала удовлетворять горноспасателей.

### **Анализ последних исследований и публикаций, выделение нерешенной части проблемы**

Одним из основных поражающих факторов взрыва газозвушных смесей, в условиях подземных сооружений угольных шахт, является ударная воздушная волна. Её действие на взрывозащитные сооружения определяется двумя динамическими характеристиками: избыточным давлением и импульсом силы, который передается сооружению за время действия ударной волны. Ослабление ударной волны ее при движении вдоль горных выработок происходит за счет вовлечения в движение дополнительных масс воздуха, расхода энергии на деформации массива пород, процессов вязкого трения и трения газа о стенки выработки, а также за счет потерь энергии при конвективном теплообмене с породным массивом.

Учет всех факторов, влияющих на параметры ударной волны возможен только на основе численных газодинамических расчетов течения воздуха и продуктов взрыва. Для проведения таких расчетов необходимо решать систему уравнений

газовой динамики, кинетики химической реакций окисления метана и других компонентов метанового ряда. Очевидно, что подходы к решению такой задачи, основанные на использовании аналитических решений, могут использоваться лишь для получения грубых оценочных результатов.

Проведение численных расчетов не является простой задачей. Для ее решения требуется разработка устойчивых, консервативных разностных схем, простых в реализации и экономичных с точки зрения затрат компьютерного времени. Одним из перспективных направлений в решение задач резко нестационарных процессов является использование численных методов расчета. В работах [4, 8, 9] предложено решение задачи распространения УВВ по горной выработке с помощью схемы численного счета уравнений газовой динамики модифицированным методом «крупных частиц». В задаче учитывается фактор падения энергии движения газового потока за счет вовлечения в движение возрастающих с расстоянием воздушных масс и за счет действия сил трения потока газа о стенки выработки. На данном этапе в решении задачи не учитывалось тепловое взаимодействие газового потока со стенками выработки.

Значительные результаты в этом направлении получены исследования НИИГД «Респиратор». В работе [1, 2, 6] предложено решение задачи распространения УВВ, путем численного решения уравнений газовой динамики разностной схемой. Моделирование диссипации энергии потока производится за счет теплопотерь от нагрева вовлекаемых в движение воздушных масс шахтного воздуха.

В совместных работах Томского политехнического института, РосНИИГД и Института угля СО РАН приводится численное решение задач газовой динамики методом С.К. Годунова [5, 7, 11]. Для расчета теплового взаимодействия газового потока со стенками выработки используются математические зависимости механики движения жидкости и газа в каналах.

Применительно к решению задач теплообмена и теплопередач наиболее перспективным является использование программного комплекса ANSYS, пакет FLUENT или CFX, позволяющего провести, в том числе, численный эксперимент для турбулентных течений газа с различными режимами теплопереноса [3, 12]. Однако такая задача будет решена в общем виде, без особенностей, возникающих в условиях горных выработок.

**Цель**

Развитие математической модели процесса распространения ударных воздушных волн по горным выработкам путем обоснования методики расчета параметров их затухания с учетом теплоотдачи потока в стенки выработки и массив горных пород.

**Основной материал**

В работе [8, 9] математическая постановка задачи распространения УВВ в выработке сводится к рассмотрению движения газового потока в цилиндрическом канале с эквивалентным диаметром. Задача решалась путём использования методов численного счёта уравнений гидродинамики в системе "газовая взрывчатая среда – окружающая среда" (рис.1).

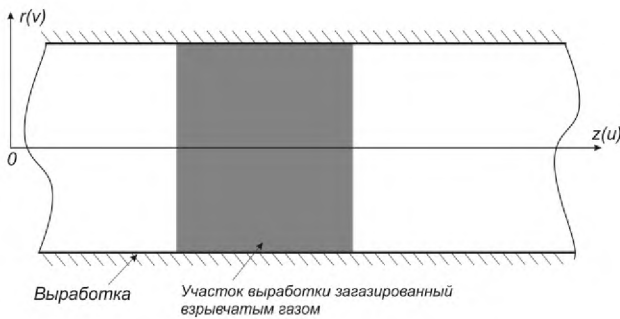


Рис. 1. Схема задачи / Driving task

Движение среды в цилиндрической системе координат описывается уравнениями Эйлера (в дивергентном виде):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \bar{W}) &= 0, & \text{неразрывности;} \\ \left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho u \bar{W}) + \frac{\partial P}{\partial z} &= \tau_{mp} \Pi dz, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \text{div}(\rho v \bar{W}) + \frac{\partial P}{\partial r} &= 0 \end{aligned} \right\} & \text{движения; (1)} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \text{div}(\rho E \bar{W}) + \text{div}(P \bar{W}) = q \Pi dz, \text{ энергии;}$$

где  $\rho$  – плотность;  $P$  – давление;  $W$  – скорость;  $u, v$  – компоненты скорости  $W$  по оси  $z$  и  $r$  соответственно;  $z, r$  – цилиндрические координаты;  $E = J + \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$  – полная энергия;  $\tau_{mp}$  – сила трения газового потока о стенки выработки;  $q$  – плотность теплового потока в стенку выработки, Дж/(м<sup>2</sup>·с);  $\Pi$  – периметр выработки, м.

Моделирование теплового взаимодействия газового потока со стенками выработки предлагается следующим образом. В правой части уравнения энергии учитывается тепловое взаимодействие газового потока со стенками выработок в форме уравнения теплового баланса, основанное на законе сохранения энергии.

Вследствие конвективных и турбулентных течений газа в возмущенной среде скорость выравнивания температуры по сечению выработки намного больше скорости ее изменения за счет теплоотвода в стенки канала. На основании этого, решение уравнений теплового баланса (1) произведено для всего объема газа в целом:

$$qPdz = QSdz \quad (2)$$

где  $q$  – плотность потока тепла в стенку, Дж/(м<sup>2</sup>·с);  $Q$  – удельная объемная скорость теплопотерь в газе, Дж/(м<sup>2</sup>·с);  $P$  – периметр выработки, м;  $S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>.

Температурное поле в расчетной области определяется на основании уравнения термодинамики:

$$T = j/C_m, \quad (3)$$

где  $T$  – температура газа, К;  $j$  – удельная внутренняя энергия газа, Дж/кг;  $C_m$  – удельная теплоемкость газа, Дж/(кг·К);  $C_m = C_\mu/\mu$ ;  $C_\mu$  – молярная теплоемкость газа, Дж/(моль·К);  $\mu$  – молярная масса воздуха, кг/моль.

Конкретная реализация методики в численном расчете выражается в уменьшении внутренней энергии газового потока на величину энергии передаваемой стенкам выработки и массиву горных пород [4, 10, 13]:

$$\tilde{E}v_{i,j}^n = E_{i,j}^n - Ek_{i,j}^n \frac{\Delta t}{\rho_{i,j}^n} - 2\alpha(Ts_{i,j} - T_{i,j}) \frac{\Delta t}{\rho_{i,j}^n}, \quad (4)$$

где  $\tilde{E}v_{i,j}^n$  – значение внутренней энергии потока на временном слое  $t^{n+1}$ ;  $E_{i,j}^n$  – значение полной энергии потока на текущем временном слое;  $Ek_{i,j}^n$  – значение кинетической энергии потока на текущем временном слое;  $\Delta t$  – величина дискретизации расчета по времени;  $\rho_{i,j}$  – плотность газового потока;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена;  $Ts$  – температура стенки выработки;  $T$  – температура газа;

Значения коэффициента теплообмена для стенок выработки и массива горных пород, в формуле (4) могут быть приняты по известным исследованиям в этой области.

В качестве критерия адекватности рассмотренной методики расчета была принята оценка влияния теплообмена на степень затухания ударной воздушной волны при ее распространении по горной выработке. Для этого были проведены тестовые расчеты быстрого горения метановоздушной смеси, которой заполнена часть горной выработки. На некотором расстоянии от загазированного участка расположено взрывозащитное сооружение (рис. 2). На рис. 2а изображена расчетная схема задачи, на рис. 2б, 2в – графики параметров газовой среды в начальный момент времени, вдоль оси выработки.

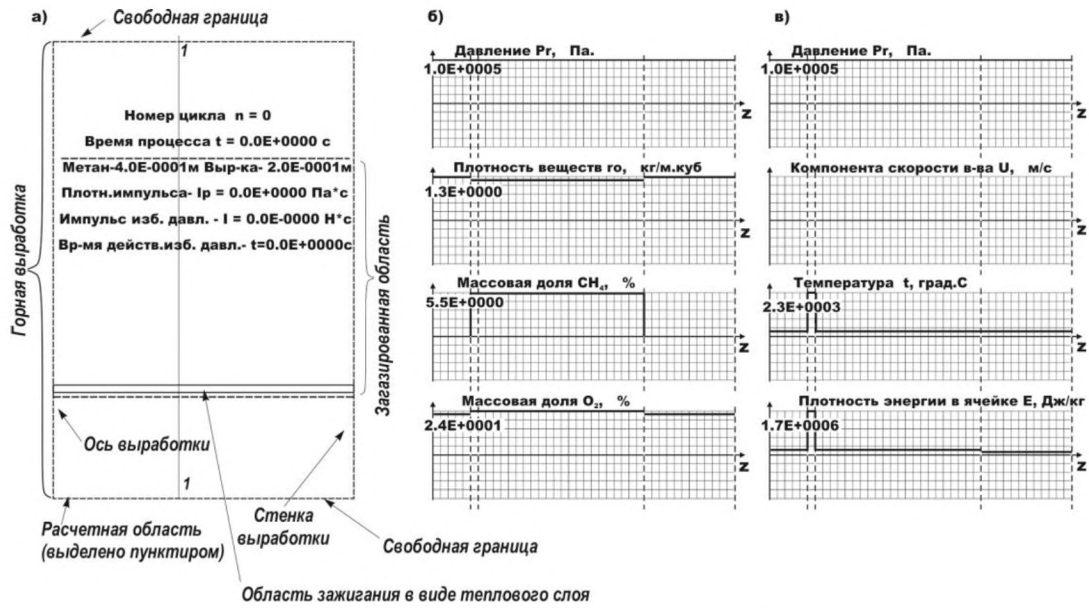


Рис. 2. Начальные условия численного счета: а) схема задачи; б), в) графики параметров газовой среды в начальный момент времени, вдоль оси выработки (в сечении 1-1) / The initial conditions of numerical calculation: а) scheme of the problem; б), в) graphics parameters of the gaseous medium at the initial time, along the axis of generation (in section 1-1)

Согласно графикам часть выработки заполнена стехиометрической метановоздушной смесью. С одной стороны газового облака имеется слой газа с высокой температурой, который вызывает заживание смеси. Быстрое горение (детонация) распространяется вдоль оси выработки, вызывает возникновение ударной воздушной волны (рис. 3). На графиках рис. 3 приведена динамика изменения параметров газовой среды в результате быстрого горения загазированного участка, с учетом различных коэффициентов теплообмена: темная линия графика – процесс без теплообмена, линия среднего тона – теплообмен соответствует паре "газ-

плотные песчаные сланцы", линия светлого тона – коэффициент теплообмена увеличен в 3 раза по сравнению с предыдущим условием.

Как видно из последовательных снимков экрана в динамическом расчете (рис. 3а–3в) зависимость степени изменения амплитуды ударной воздушной волны на единичных участках выработки от теплообмена имеет линейный характер и хорошо согласуется с логикой диссипации энергии газового потока. Аналогичным образом меняется также зависимые параметры потока: температура, полная энергия газа и как следствие падение скорости течения потока.

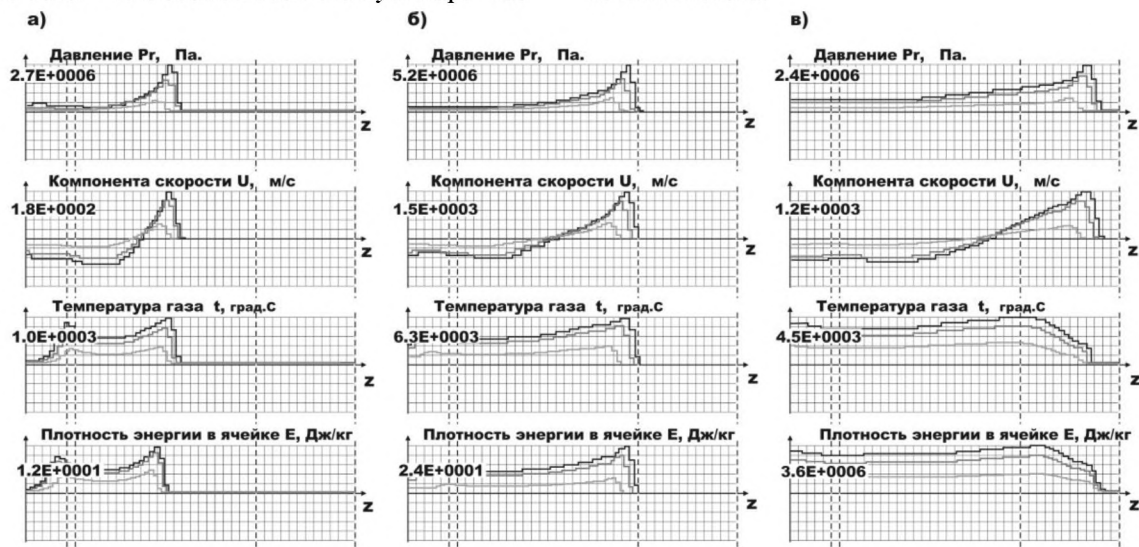


Рис. 3. Динамика изменения параметров газовой среды в результате быстрого горения загазированного участка, с учетом различных коэффициентов теплообмена (линии —): а) выгорание метановоздушной смеси на 50 %; б) полное выгорание смеси; в) распространение ударной воздушной волны по выработке / Dynamics of changes in the parameters of the gaseous medium in the rapid combustion gas-filled area, taking into account the different heat transfer coefficients (lines —): а) burning a mixture of methane 50 %; б) complete burning mixture; в) propagation of the shock wave through the development of air

По результатам численного эксперимента хорошо прослеживается закономерность существенного влияния теплообмена в ближней зоне взрыва. В этой зоне происходит движение расширяющихся горячих газов – продуктов взрыва, соответственно разница между температурой газа и стенкой выработки значительная и переток тепловой энергии высок. В дальней зоне действия взрыва, где величина кинетической энергии газового потока имеет существенный вес в балансе общей энергии газа,

затухание ударной воздушной волны за счет теплообмена практически не происходит.

### Выводы

Таким образом, используя в схеме численного счета рассмотренную методику можно определить близкие к реальным значениям параметры торможения газового потока за счет теплообмена потока со стенками и массивом выработки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Агеев В. Г. Математическая модель формирования ударных волн в горных выработках при взрывах метана / В. Г. Агеев // Горноспасательное дело.– 2010.– Вып. 47.– С. 5-10.

Ageev V. G. Matematicheskaya model formirovaniya udarnykh voln v gornykh vyirabotkakh pri vzryivah metana [The mathematical model of the shock wave formation in the mines by the methane explosions]. *Gornospasatelnoe delo – The mine rescue work*, 2010, issue 47, P. 5-10.

2. Агеев, В. Г., Зинченко И. Н. Моделирование распространения ударных волн при мгновенной и цепной реакции горения метана и пыли в горных выработках / В. Г. Агеев, И. Н. Зинченко // Форум гірників – 2012: матеріали міжнародної конференції, 3-6 жовтня 2012 г., Дніпропетровськ, Україна. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012.– С. 12-16.

Ageev V. G., Zinchenko I. N. Modelirovanie rasprostraneniya udarnykh voln pri mgnovnoy i tsepnoy reaktsiyah gorennya metana i pyili v gornykh vyirabotkakh [Modeling of shock waves propagation at momentary and chain reaction of methane and dust combustion in mine working]. *Forum himykviv – 2012: materialy mizhnarodnoi konferentsii, 3-6 zhovtnia 2012 h., Dnipropetrovsk, Ukraina* [Miners forum – 2012: materials of the international conference, 3-6<sup>th</sup> of October 2012, Dnipropetrovsk, Ukraine]. Dnipropetrovsk, The National Mine University Publ., 2012, pp.12-16.

3. Батурич О. В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. Учеб. пособие/ О. В. Батурич, Н. В. Батурич, В. Н. Матвеев. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151с.

Baturin O. V., Baturin N. V., Matveev V. N. Raschet techeniy zhidkostey i gazov s pomoshchyu universalnogo programmnoy kompleksa Fluent. Ucheb. posobie [Calculation of flows of liquids and gases by means of a universal software package Fluent. Tutorial]. Samara, Samarskiy gosudarstvenniy aerokosmicheskiy universitet Publ., 2009. 151 p.

4. Белоцерковский О. М. Метод крупных частиц в газовой динамике / О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. – Москва: Наука, 1982. – 391 с.

Belotserkovskiy O. M., Davydov J. M. *Metod krupnykh chastits v gazovoy dinamike* [The large particles method in the gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 391 p.

5. Васенин И. М. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты / И. М. Васенин, Э. Р. Прагер, А. Ю. Крайнов, Д. Ю. Палеев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2011. – Т.3 №2. – С. 155–163.

Vasenin I. M., Schragar E. R., Krajnov A. J., Paleev D. J. Matematicheskoe modelirovanie nestatsionarnykh protsessov ventilyatsii seti vyirabotok ugolnoy shahty [The mathematical modeling of the non-stationary ventilation processes in the coal

mines workings network]. *Kompyuternyye issledovaniya i modelirovanie – The computer studies and modeling*, 2011, V.3 no.2, pp. 155-163.

6. Греков С. П. Методика расчета параметров воздушных ударных волн при взрывах газа и пыли в шахтах / С. П. Греков, И. Н. Зинченко, В. С. Карманов, // Горноспасательное дело.– 2010.– Вып. 47.– С. 17-25.

Grekov S. P., Zinchenko I. N., Karmanov V. S. Metodika rascheta parametrov vozdushnykh udarnykh voln pri vzryivah gaza i pyili v shahtah [The calculation methodology of the of air shock waves parameters by the gas and dust explosions in mines]. *Gornospasatelnoe delo – The mine rescue work*, 2010, issue 47, P. 17-25.

7. Лукашов О. Ю. О комплексном подходе к моделированию аварийной ситуации при взрыве газа в угольной шахте / О. Ю. Лукашов // Вестник Томского государственного университета.– 2014.– №6(32).– С. 86-93.

Lukashov O. Y. O kompleksnom podhode k modelirovaniyu avariynoy situatsii pri vzryive gaza v ugolnoy shahte [About the complex approach to the modeling the emergency situation by the gas explosion in a coal mine]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2014, no. 6(32), pp. 86-93.

8. Налышко Н. Н. Численный расчет динамической нагрузки от воздействия воздушных ударных волн на инженерные сооружения / Н. Н. Налышко // Высокоэнергетические системы, процессы и их модели: Сборник научных трудов.– Днепропетровск: Национальный горный университет, 2013.– С. 255-266.

Nalisko N. N. Chislennyiy raschet dinamicheskoy nagruzki ot vozdeystviya vozdushnykh udarnykh voln na inzhenernyye sooruzheniya [The numerical account of the dynamic load from the air shock wave effect on the engineering buildings]. *Vysokoenergeticheskie sistemy, protsessy i ih modeli: Sbornik nauchnykh trudov* [High-energy systems, processes and their models: The collection of scientific works. Dnepropetrovsk, The National Mine University], 2013, pp. 255-266.

9. Налышко, Н. Н. Взаимодействие ударных воздушных волн со стенками горных выработок / Н. Н. Налышко // Горноспасательное дело. – 2014. – Вып. 51.– С. 43-57.

Nalisko N. N. Vzaimodeystvie udarnykh vozdushnykh voln so stenkami gornykh vyirabotok [Interaction of shock air waves with walls of mine excavation]. *Gornospasatelnoe delo – Mine rescue work*, 2014, issue 51, pp. 43-57.

10. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т.2/ пер. с англ. под ред. О. Г. Мартыненко и др.– М.: Энергоатомиздат, 1987.– 352 с.

Reference book on heat exchangers: In 2 vol. Vol.2/ transl. from English under red. O. G. Martynenko and others. – Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 352 p.

11. Чжан Ц. Оценки опасности взрывов смесей метана с воздухом в шахтах / Ц. Чжан, В. Ли, Б. Цинь, Ю. Дуань // Физика горения и взрыва.– 2010.– №6.– С. 66-72;

Zhang C., Lee V., Cin B., Duan J. Otsenki opasnosti vzyrivov smesej metana s vozduhom v shahtah [The danger estimation of the methane and air mixture explosions in mines]. *Fizika gorenija i vzyriva – The combustion and explosion physics*, 2010, no. 6, pp. 66-72;

12. Чигарев А. В. ANSYS для инженеров: Справ. пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – Москва: Машиностроение-1, 2004. – 512 с;

Chigarev A.V., Kravchuk A.S., Smalyuk A.F. *ANSYS dlya inzhenerov: Sprav. posobie* [ANSYS for engineers: Reference tutorial]. Moscow, Mechanical engineering-1 Publ., 2004. 512 p.

13. Warnatz, J. Maas, U. and Dibble, R.W. (2001), *Combustion. Physical and chemical fundamentals, modeling and simulations, experiments, pollutant formation*, Springer, 352 p.

*Статья рекомендована к публикации д-ром физ.-мат. наук, проф. А.В. Чернаем (Украина);*

*д-ром техн. наук, проф. В. В. Соболевым (Украина)*

Поступила в редколлегию 27.08.2015

**УДК 624.131.54**

## **ПОДРАБАТЫВАЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА УСИЛИЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ**

**ПИСАРЕНКО А.В.<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Кафедра охраны труда БЖД и гражданской защиты, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. ул. Державина, 2, 86123, Макеевка, Украина, Донецкая область, +3(099)78-699-48, e-mail: [pisarenko\\_av@mail.ru](mailto:pisarenko_av@mail.ru)

**Аннотация.** *Цель.* Исследовать влияние податливости основания на распределение дополнительных усилий в железобетонных элементах каркасного здания от деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях. Применение железобетона практически во всех областях строительства приняло огромный масштаб. Это объясняется его долговечностью, возможностью широко использовать местные строительные материалы, применять экономичные конструкции с малым расходом металла. *Методика.* Алгоритм расчета основывается на моделировании основания стержневыми элементами с жесткостными характеристиками, зависящими от коэффициента жесткости основания. Жесткостные характеристики сечения стержней, моделирующих конструкции здания, принимались в соответствии научными пособиями и процессе расчета не изменялись. Расчет производился при помощи программного комплекса ЛПРА, основанного на методе конечных элементов. Расчеты выполнялись на основное сочетание нагрузок (постоянная+временная+ветер слева) и особое сочетание нагрузок (воздействие подработки). *Результаты.* Мероприятия по снижению жесткости основания можно применять в сочетании с мероприятиями по повышению жесткости конструктивных элементов здания либо дополнительными элементами, позволяющими воспринимать усилия от подработки, например в сочетании со связями распорками. Увеличение податливости основания целесообразно осуществлять путем применения саморегулирующихся фундаментов с ограничением осадки предельно допустимой величиной. При этом существенное снижение жесткости основания может происходить за счет образования под подошвой саморегулирующихся фундаментов временных, локальных зон сдвигов (выпора) грунта. *Научная новизна.* Усовершенствован метод расчета каркасных зданий на подрабатываемых территориях, в отличие от предыдущих, которые основывались только на линейном расчете. *Практическая значимость.* Использование нелинейного метода расчета позволит более точно рассчитать железобетонные элементы каркасных зданий. Дополнительные усилия в элементах каркаса от воздействия подработки могут существенно превышать усилия от основного сочетания нагрузок и приводить к разрушениям и потере устойчивости, как отдельных конструкций, так и здания в целом. Максимальные дополнительные усилия от воздействия подработки будут возникать в основном от действия горизонтальных деформаций земной поверхности. При этом максимальные дополнительные изгибающие моменты и поперечные силы возникают в крайних колоннах и ригелях первого этажа, а максимальные продольные силы в средних ригелях первого и второго этажей.

*Ключевые слова:* подрабатываемые территории; коэффициент жесткости основания; вынужденные перемещения основания; дополнительные усилия; железобетонные элементы.

## **ПІДРОБЛЮВАНІ ТЕРИТОРІЇ ЯК ЧИННИК, ЯКИЙ ВПЛИВАЄ НА ЗУСИЛЛЯ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ КАРКАСНОЇ БУДІВЛІ**

**ПИСАРЕНКО А.В.<sup>1\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Кафедра охорони праці БЖД та цивільного захисту, Донбаська національна академія будівництва і архітектури. вул. Державіна, 2, 86123, Макіївка, Україна, Донецька область, +3(099)78-699-48, e-mail: [pisarenko\\_av@mail.ru](mailto:pisarenko_av@mail.ru)