

УДК 622.831.1

## Численные эксперименты по определению места установки датчика при акустическом зондировании угольного пласта сложного строения

Масленников Е. В., Гапеев С. Н.<sup>\*</sup>, Янко В. В., Кондратюк И. В.

*Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина*

Поступила в редакцию 23.11.08, принята к печати 01.11.09.

### **Аннотация**

В статье приведены результаты численных экспериментов, выполненных методом конечных элементов для определения рационального места установки акустического датчика (геофона) при оценке степени выбросоопасности ближней зоны угольного пласта сложного строения акустическим методом прогноза.

Ключевые слова: метод конечных элементов, акустический датчик, выбросоопасность, угольный пласт, прогноз

### **Введение**

Обнаружение зон аномальной напряженности в структурно неоднородном углепородном массиве, опасных с точки зрения возможности развития газодинамических явлений (ГДЯ) является важной научно-технической задачей. В НГУ для ее решения развивается метод акустического зондирования ближней области породного массива [1]. Информация об изменении свойств прозвучиваемой среды, обусловленном вхождением забоя выработки в опасную зону, получается путем проведения спектрального анализа акустических сигналов, которые распространяются в массиве и генерируются работающими в забое механизмами (бурильное оборудование, отбойный молоток, проходческий комбайн). Таким образом, информативный акустический сигнал исходит из источника со случайными характеристиками и проходит к приемному датчику (геофону) через толщу пород, которая сама по себе является средой со случайно распределенными характеристиками. В совокупности эти особенности усложняют проведение анализа полученного акустического сигнала, при этом повышаются требования к правильности установки геофона в породном массиве.

**Целью настоящей статьи** является описание результатов серии численных экспериментов по выбору места установки акустических датчиков в выработке, проводимой по пласту сложного строения.

### **Основная часть**

В качестве объекта исследований был выбран монтажный ходок в 8 южном конвейерном штреке уклона 1 «бис» пласта К<sub>5</sub> УК «Краснолиманская». Забой выработки, выбранной для исследований, был оборудован приемной звукоулавливающей аппаратурой АК-1, обеспечивающей с помощью датчиков (геофонов) прием акустических сигналов из массива и передачу их на поверхность для последующей обработки. При выборе выработки учитывались такие факторы как пересечение зон геологических нарушений, наличие ГДЯ за время проведения испытаний. Выработка оборудована кабелем для подключения АК-1 через отдельную кабельную сеть.

---

<sup>\*</sup> автор для переписки: ggf@mine.dgtu.donetsk.ua

Аппаратура акустического контроля типа АК-1 состоит из наземного блока обработки сигналов, расположенного на поверхности в помещении АСУП шахты, и подземной капсулы-усилителя с выносным геофоном, расположенных на подземной замерной станции. Замерная станция представляла собой шпур  $\varnothing 42$  мм и длиной 2,0 м, пробуренный в породах кровли на расстоянии 15-20 м от груди забоя.

Подземная часть аппаратуры сбора и передачи акустической информации из массива на поверхность шахты является неотъемлемой составляющей системы проведения измерений. Качество системы, ее точность зависят от степени соответствия исходной информации, заключенной в структуре акустических сигналов, распространяющихся в породном массиве и электрических сигналов, поступающих на вход поверхностного блока обработки. Промежуточным звеном в такой цепи является датчик-преобразователь (геофон, усилитель) и линия связи. Техническая реализация размещения датчика с точки зрения обеспечения достоверности принимаемой информации требует одновременного выполнения ряда требований. Для выбора оптимального места установки датчика необходим учет конкретных горно-геологических условий шахты, характеристик залегания пласта (по одно- или многопачечной схемам) и профиля выработки.

Для определения места установки датчика были проведены численные исследования на модели углеродного массива с выработкой по исходным данным, полученным при анализе горно-геологических условий шахты «Краснолиманская».

В ходе экспериментов было исследовано напряженно-деформированное состояние породного массива вокруг проводимой выработки по полученным картинам распределения компонентов напряжений. Моделировалась выработка с различной структурой угольного пласта.

Для исследований был использован численный метод конечных элементов [2]. Конечно-элементная модель представляла собой углевещающий массив, ослабленный выработкой. Размеры области массива в модели принимались равными 60x100 м.

Массив моделировался слоями с углом наклона  $16^\circ$ , соответствующий геологической ситуации в месте установки датчика. Каждому слою в модели были заданы свои физико-механические параметры, отвечающие реальным условиям: модуль Юнга –  $E$ , коэффициент Пуассона –  $\mu$ , предел прочности на одноосное сжатие –  $\sigma_{сж}$ , модуль сдвига –  $G$ , а также объемный вес пород –  $\gamma$ . Значения параметров приведены ниже, в табл. 1.

Выработка, размещенная в модели, имела арочную форму с шириной 5,52 м и высотой 4,47 м. Мощность моделируемого угольного пласта принималась от 0,8 м до 2,2 м с учетом прослоек пород. По контуру выработки задавался отпор крепи. Данная численная модель учитывает собственный вес пород.

Табл. 1. Физико-механические параметры пород для построения модели

Наименование пород	Физико-механические параметры				
	$\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	$E$ , МН/м <sup>2</sup>	$G$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_{сж}$ , МН/м <sup>2</sup>	$\mu$
Уголь	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^4$	$1,03 \cdot 10^4$	15,0	0,16
Аргиллит	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$5,14 \cdot 10^4$	$1,13 \cdot 10^5$	48,0	0,25
Алевролит	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$5,75 \cdot 10^4$	$1,31 \cdot 10^5$	56,0	0,28
Песчаник	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$9,04 \cdot 10^4$	$1,97 \cdot 10^5$	70,0	0,21

Уравнение равновесия должно удовлетворяться во всех точках исследуемого тела. При достижении границ области компоненты напряжений должны быть такими, чтобы они находились в равновесии с внешними силами, приложенными к границе. В силу этого принимались следующие граничные условия: вышележащий массив заменялся нагрузкой  $\gamma H$ , где  $\gamma$  – средневзвешенный объемный вес вышележающих пород;  $H$  – глубина заложения выработки. По бокам – нагрузка, равная  $\lambda \gamma H$ , где  $\gamma$  – объемный вес слоя пород;  $H$  – глубина залегания слоя;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора (в расчетах принималось  $\lambda=1$ ).

При расчетах рассматривалось три случая геологической ситуации строения угольного пласта по трассе выработки. Первая ситуация предусматривала, что выработка пересекает пласт простого строения, т. е. однопачечный, без прослоек породы. Две другие ситуации

предусматривают сложное строение угольного пласта: двух- и трехпачечное. Мощность прослоев соответствует геологической ситуации по трассе выработки. Конфигурация ближнего к выработке участка моделируемых пород для указанных случаев представлена на рис. 1.

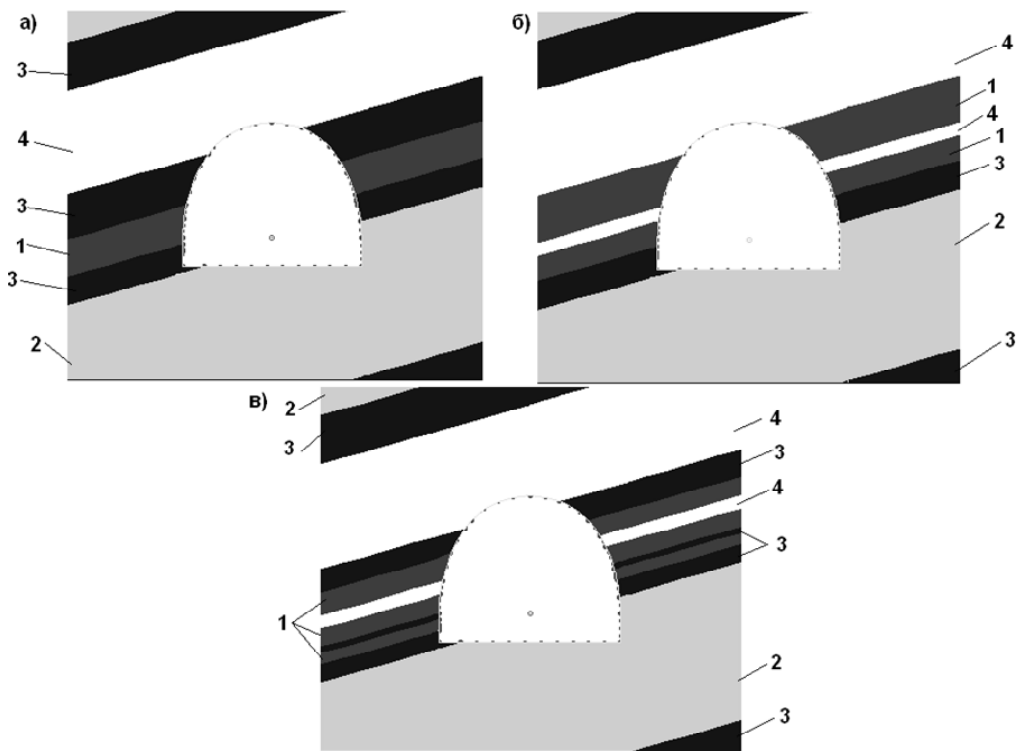


Рис. 1. Строение угольного пласта при различных расчетных ситуациях: а) однопачечная; б) двухпачечная; в) трехпачечная, 1- уголь, 2 – аргиллит, 3 – алевролит, 4 – песчаник

Анализ результатов расчетов показал следующее. Из рис. 2 видно, что горизонтальные напряжения максимальны в местах соприкосновения контура выработки и пласта, причем в первом случае (однопачечная) их величина меньше, чем в двух других ситуациях. Во всех трех геологических ситуациях в боках выработки со стороны восстания пласта наблюдаются максимумы горизонтальных напряжений (рис.2, поз. 2). Численно максимальные горизонтальные напряжения при второй и третьей геологических ситуациях превышают первую на 77% и 68% соответственно. Кроме того, в местах соприкосновения пород почвы со стойкой наблюдаются локальные пики напряжений, появления которых закономерны на таких концентраторах, как углы контура выработки.

На участке перехода контура выработки от прямолинейной стойки к своду со стороны падения пласта во всех трех геологических ситуациях наблюдается локальный всплеск (рис. 2, поз. 1), со следующими значениями: -9,482 МПа в первой геологической ситуации, -11,16 и -9,843 МПа – во второй и третьей геологических ситуациях соответственно (знак “-” означает, что в данной области действуют сжимающие напряжения). Отметим также, что горизонтальные напряжения на контуре выработки в первой геологической ситуации численно в полтора-два раза превышают значения для двух других.

На рис. 3 представлены картины вертикальных напряжений при различных расчетных ситуациях строения угольного пласта. Здесь, как и на предыдущей картине горизонтальных напряжений, также видно, что в местах соприкосновения пород почвы со стойкой наблюдаются локальные пики напряжений (рис. 3, поз. 2), причем в случае (а) изолинии практически симметричны, а в случаях (б) и (в) вытянуты вдоль простирания пласта. Видно, что во всех трех геологических ситуациях, как в почве, так и в кровле выработки, наблюдаются максимумы вертикальных напряжений (рис. 3, поз. 1). В первой и третьей геологических ситуациях в кровле выработки изолинии вертикальных напряжений вытянуты вдоль простирания пласта и

вертикально сжаты. В целом картины вертикальных напряжений имеют более равномерный характер распределения изолиний, чем картины горизонтальных напряжений.

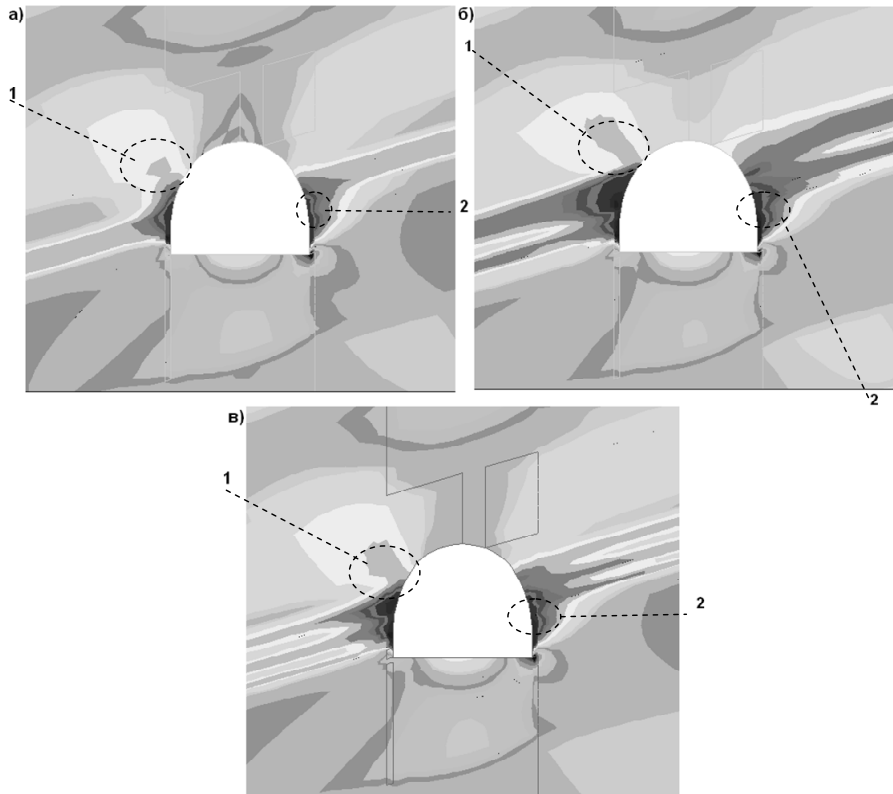


Рис. 2. Напряжения по оси  $OX$  при различных геологических ситуациях строения угольного пласта: а) однопачечная; б) двухпачечная; в) трехпачечная; 1 – участок локального возмущения; 2 – участок локальных максимумов

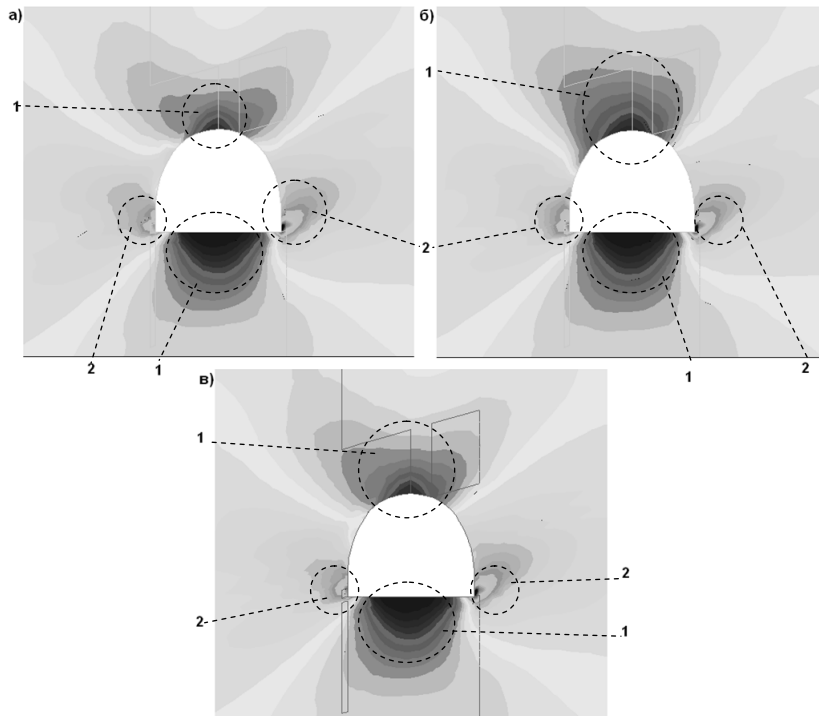


Рис. 3. Напряжения по оси  $OY$  при различных геологических ситуациях строения угольного пласта: а) однопачечная; б) двухпачечная; в) трехпачечная; 1 – участок локальных максимумов; 2 – участок локального возмущения

На рис. 4 представлены картины распределения эквивалентных напряжений при различных расчетных ситуациях. В первой и в третьей геологической ситуации, в местах соприкосновения контура выработки и пласта со стороны его восстания, наблюдаются всплески напряжений (поз. 1 рис. 4). В первой и третьей геологических ситуациях локальные всплески имеют место в породах кровли пласта со стороны падения, тогда как во второй ситуации этот всплеск соответствует положению междупачечного породного прослоя со стороны восстания.

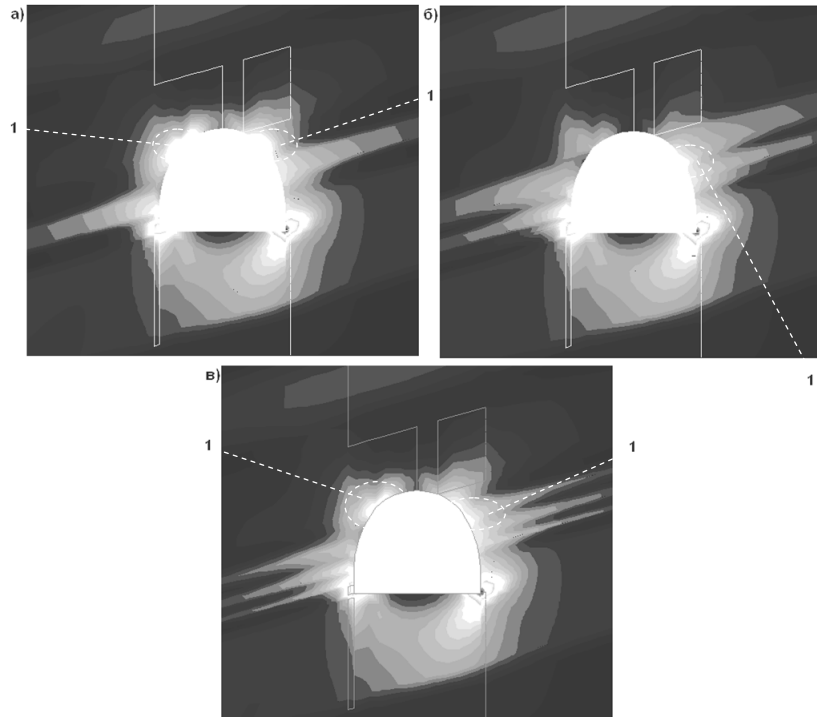


Рис. 4. Эквивалентные напряжения при различных геологических ситуациях строения угольного пласта: а) однопачечная; б) двухпачечная; в) трехпачечная; 1 – участок локального возмущения

### Выводы

1. Наиболее информативными с точки зрения выбора места установки датчика являются картины распределения горизонтальных и эквивалентных напряжений, так как картины вертикальных напряжений качественно очень схожи во всех трех рассмотренных геологических ситуациях и не выявляют каких-либо особенностей в зависимости от ситуации.
2. В зависимости от структуры пласта (одно-, двух- или трехпачечное строение) оптимальное место расположения датчика (т. е. участки контура с максимумами напряжений) различно.
3. Для однопачечного пласта оптимальным следует, очевидно, считать расположение датчика в кровле пласта в скважине, пробуренной в сторону его падения.
4. Для двух- и трехпачечного пласта датчик может быть установлен в положении, изложенном в п. 3 для однопачечного пласта. Кроме того, при двухпачечном пласте геофон также можно устанавливать в почве со стороны восстания и в междупачечном прослое со стороны восстания. Для трехпачечного пласта – также в почве со стороны восстания и в первом прослое от кровли со стороны восстания пласта.
5. Результаты расчетов позволяют оптимизировать процедуру установки акустического приемного датчика с целью обеспечения качественного его включения в работу системы акустического прогноза внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах.

### Библиографический список

1. Shashenko A., Development of acoustic control method of mode of deformation of the coal massif in the process of underground mining / Shashenko A., Maslennikov Y., Solodyankin A. // Scientific Reports of Mining, Metallurgy and Materials in Ukraine. – Technische Universitat Bergakademie Freiberg. – 2008. – С. 521. – С. 23-27
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / Фадеев А.Б. – М.: Недра, 1967.– 221с.

© Масленников Е. В., Гапеев С. Н., Янко В. В., Кондратюк И. В., 2010.

#### Анотація

У статті наведені результати чисельних експериментів, що виконані методом скінченних елементів для встановлення раціонального місця розташування акустичного датчика (геофона) під час оцінки викиднебезпечності ближньої зони вугільного пласта складної структури акустичним методом прогнозу.

Ключові слова: метод скінченних елементів, акустичний датчик, викиднебезпечність, вугільний пласт, прогноз.

#### Abstract

Results of calculations with finite elements method of sonic sensor position for coal seam monitoring.

Keywords: finite elements method, sonic sensor, coal seam, monitoring.