

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*Ju. Panasyuk, A. Kulyas,  
O. Gavrilyuk, V. Prokopchuk,  
E. Kravchenko*

## **THE METHOD FOR RAPID ASSESSMENT OF CAVING VOLUME BY ROBOT AFTER ACCIDENT IN MINE**

*The algorithm for monitoring of coal  
mine 3D map after rocks crash using  
the robot is shown.*

*Key words: intellectual robotics,  
coal mine.*

*Наведено алгоритм моніторингу  
та побудови роботом 3D ланд-  
шафту вугільної шахти після об-  
валу порід.*

*Ключові слова: інтелектуальна  
робототехніка, вугільна шахта.*

*Показан алгоритм мониторинга  
и построения роботом 3D ланд-  
шафта угольной шахты после об-  
вала пород.*

*Ключевые слова: интеллектуаль-  
ная робототехника, угольная  
шахта.*

© Ю.Я. Панасюк, А.И. Куляс,  
О.Н. Гаврилюк,  
В.В. Прокопчук,  
Е.В. Краченко, 2010

УДК 004.896

Ю.Я. ПАНАСЮК, А.И. КУЛЯС, О.Н. ГАВРИЛЮК,  
В.В. ПРОКОПЧУК, Е.В. КРАВЧЕНКО

## **МЕТОД ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ РОБОТОМ ОБЪЕМА ПОРОД, ОБРУШЕННЫХ ИЗ-ЗА АВАРИИ В ШАХТЕ**

Для снижения аварийности на угольных шахтах и повышения безопасности горноспасательных работ целесообразно развивать не только стационарные системы контроля уровня безопасности шахтного производства, но и создавать технологии мобильного мониторинга на основе использования робототехнических устройств для выполнения оперативного контроля послеаварийных участков забоев, пострадавших в результате аварии на шахте [1 – 5].

Продолжает оставаться актуальной задача построения маркшейдерско-геодезических базовых и съемочных сетей поддержки графической документации на базе геоинформационных систем новых поколений. Для таких систем необходимы темпоральные данные о трехмерном распределении параметров среды реализации технологий угольной промышленности (3D данные) и их периодическое обновление для:

- отображения текущего состояния горных работ;

- геометризации местонахождения пород отдельных типов, включая полезные ископаемые и геотектонические нарушения.

Актуальной остается разработка программ развития горных работ и контроля за их выполнением, включая участки с повышенным риском аварий из-за взрывов метана и обвалов пород на шахтах; нанесение и возобновление в планах горных работ зон повышенного риска выделения метана и обвалов горных пород.

Для решения многих актуальных проблем угольной промышленности одной из первостепенных задач является создание высокотехнологических средств предотвращения аварий, включая разработку дистанционно управляемых роботов для профилактического контроля текущих и предаварийных состояний участков горного производства с повышенной опасностью и для оперативного проведения мероприятий по ликвидации последствий аварий на шахтах. Поэтому разработка системы интеллектуализированных роботов для дистанционного мониторинга и распределенная сеть стационарных и мобильных сенсоров на территории шахты, является, несомненно, актуальной. Такая система использует специальную технологию обмена оперативными данными для борьбы с пожарами на шахтах, включая многоканальный мониторинг уровня рисков аварийности (по метану, угольной пыли, первоисточникам воспаления).

Разработки, описанные в данной работе, предназначены для обеспечения работы робото-технических устройств в стесненных пространственных условиях шахтного забоя в процессе выполнении разведывательных функций непосредственно после аварии или при ремонтных работах на шахте.

В рамках проводимых в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины разработок концепции и базовых компонентов мобильного робота с элементами искусственного интеллекта (ИИ) серии «Робот-горноспасатель» (ГОСИР) в работах авторов [4, 5] указаны функции, которые должен выполнять такой робот в процессе осуществления мониторинга аварийного шахтного забоя непосредственно после аварии:

- обследование новой конфигурации стесненного помещения, усложненной в результате недавней аварии с обвалом пород;
- обследование и распознавание новой 3D конфигурации помещения.

Решение этих задач является актуальным для проблемы разведки в шахтном забое или проведения ремонтных работ в узком помещении инженерного сооружения. Типичный пример: разведка интерьера инженерного сооружения после аварии, когда возникает дополнительная проблема обследования принципиального изменения доаварийного интерьера сжатого рабочего помещения и новая конфигурация возможных проходов неизвестна.

Таким образом, роботу серии ГОСИР поставлена задача, состоящая из взаимосвязанных частных задач:

- пройти внутрь шахты;
- построить 3D карту «обновленного» ландшафта;
- правильно выгнуться нужными шарнирами манипулятора;
- найти и захватить (или включить / выключить) нужный предмет.

Рассмотрим вопрос расчета объема обрушившихся пород в компактном завале, возникшем непосредственно после аварии на шахте и зарегистрированным мобильным роботом типа ГОСИР в форме файла «ЗАВАЛ» с массивом координат точек поверхности такого завала.

При этом файл «ЗАВАЛ» хранит информацию в виде массива трех координат  $(x_i, y_i, z_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$  точек зондирования поверхности бортовым сенсором-

дальномером (например, при использовании четырехлучевого бортового лазерного дальномера, описанного в [2, 5]).

Пример массива точно заданной поверхности завала пород и сформированной с использованием данного массива сеточной оболочки (СО) показан на рис. 1.

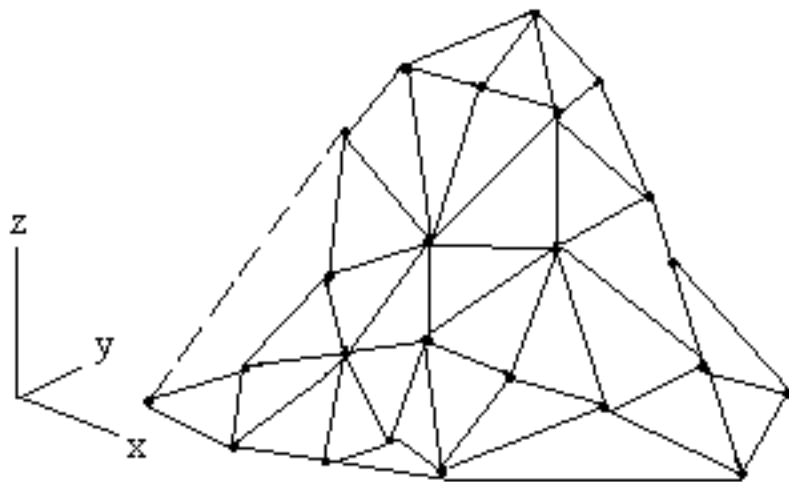


РИС. 1. Пример точно заданной поверхности СО завала пород; пунктиром обозначена граница выпуклой зоны  $Q_{ei}$ , замещающая соответствующую выпуклую вовнутрь зону  $W_{ij}$  при формировании выпуклой сеточной оболочки (ВСО) из исходной сеточной оболочки СО

Предлагается алгоритм обработки данных файла «ЗАВАЛ», показанный схематически на рис. 2, который состоит из этапов.

1. Ввод массива трех координат  $(x_i, y_i, z_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$  точек зондирования.
2. Построение СО, получаемой соединением отрезков текущей точки массива с ближайшими соседними точками.
3. Выделение в СО участков, выпуклых наружу ( $W_{ei}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ) и выпуклых вовнутрь (зоны  $W_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ) (рис. 3).
4. Формирование выпуклой сеточной оболочки (ВСО) из исходной оболочки СО путем замещения выпуклых вовнутрь зон  $W_{ij}$  на соответствующую выпуклую наружу зону  $Q_{ej}$  (рис. 4, 5).
5. Разбиение области внутри оболочки ВСО на конечные элементы (пятигранники с треугольными основаниями и треугольные призмы) с помощью семейства граничных плоскостей, параллельных плоскости  $x = 0$  и семейства параллельных плоскостей, параллельных плоскости  $y = 0$  (рис. 6).

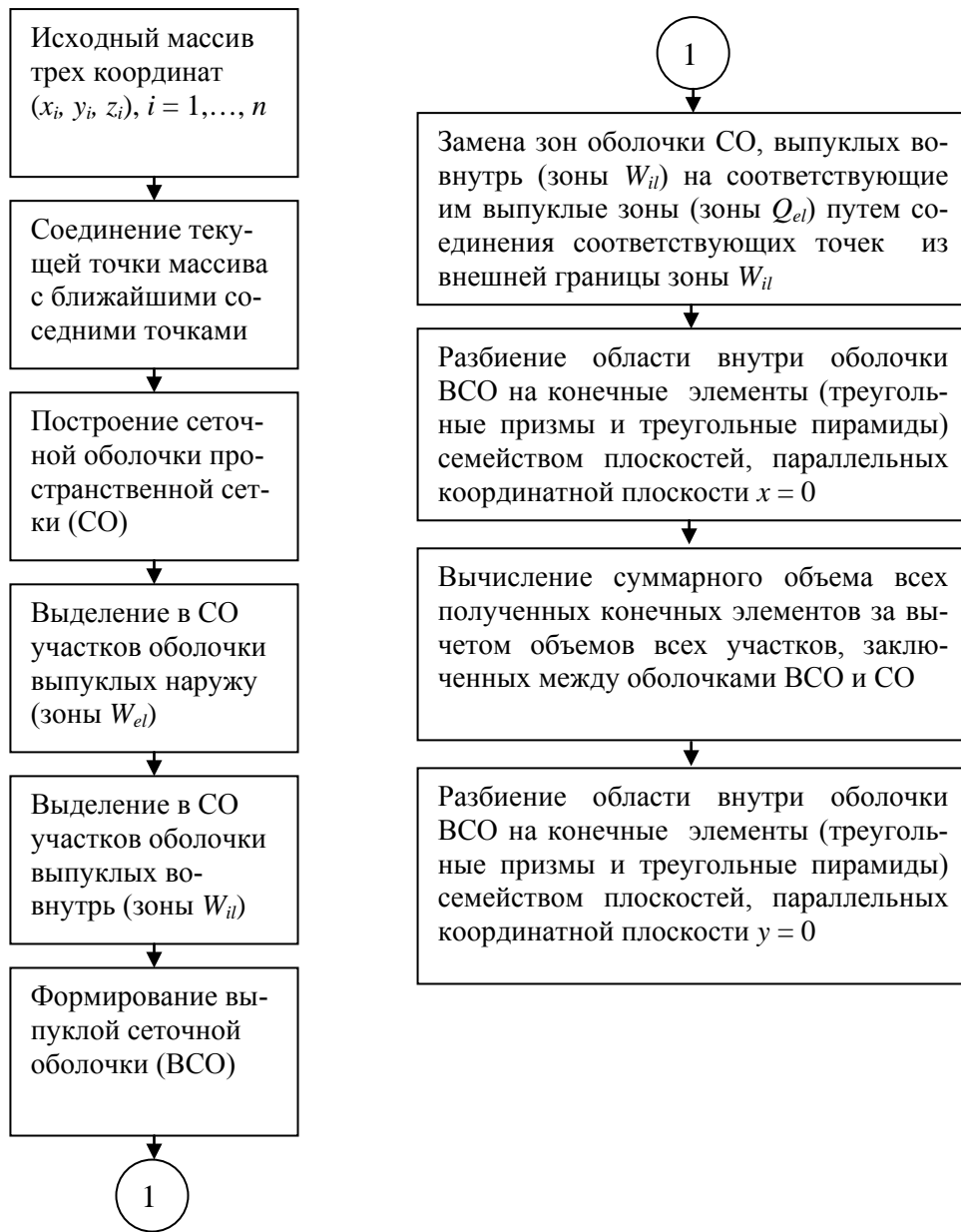


РИС. 2. Схема алгоритма обработки точно заданного массива данных «Завал», полученных роботом ГОСИР, с вычислением объема пород в обследованном завале на шахте

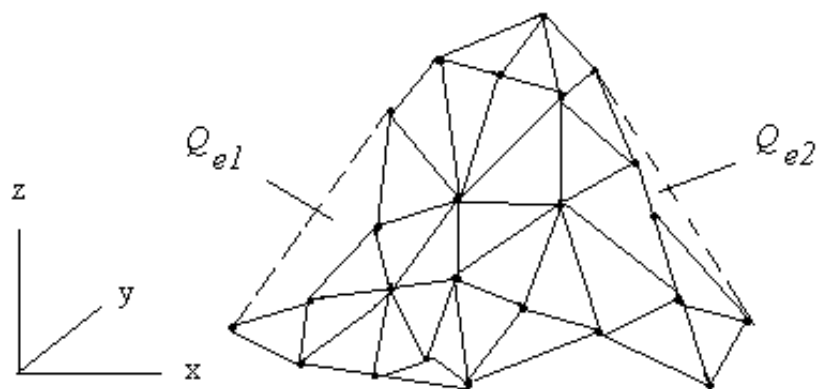


РИС. 3. Выделение в СО участков, выпуклых наружу ( $W_{ei}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ) и выпуклых вовнутрь (зоны  $W_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ )

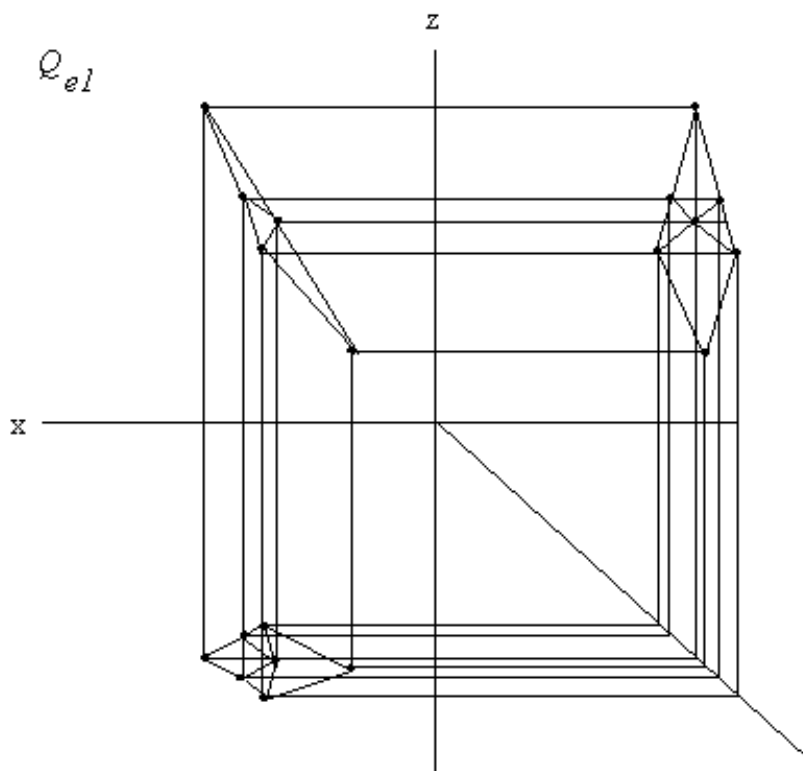


РИС. 4. Формирование выпуклой сеточной оболочки (ВСО) из исходной оболочки СО путем замещения выпуклых вовнутрь зон  $W_{ij}$  на соответствующую выпуклую наружу зону  $Q_{ei}$

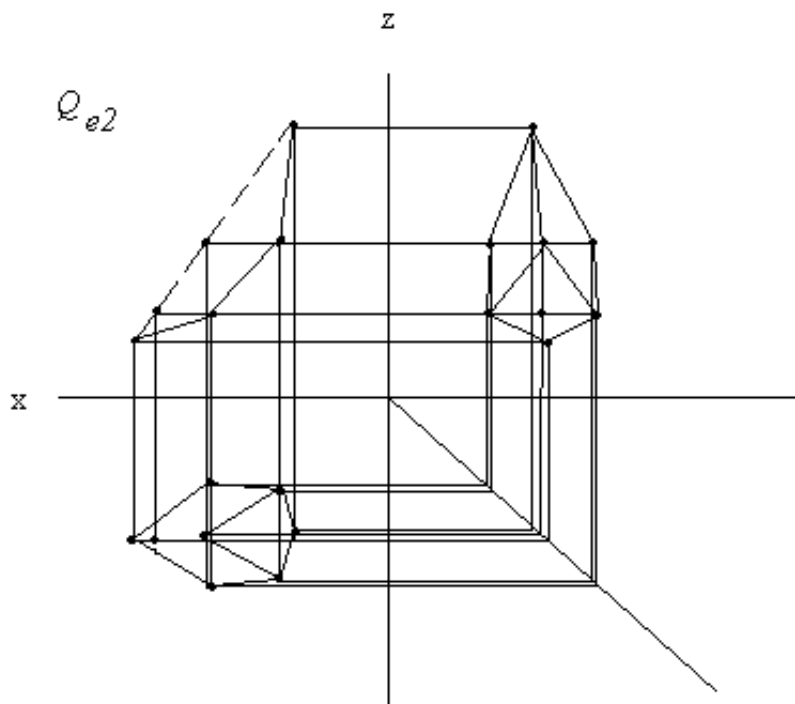


РИС. 5. Формирование выпуклой сеточной оболочки (BCO) из исходной оболочки CO путем замещения выпуклых вовнутрь зон  $W_{12}$  на соответствующую выпуклую наружу зону  $Q_{e2}$

6. Вычисление суммарного объема  $V_k$  всего множества полученных конечных элементов, заключенных внутри оболочки BCO.

7. Вычисление объема завала  $V$  как разность объема  $V_k$  и суммы объемов всех участков, заключенных между оболочками BCO и CO.

Для расчета объема  $V(L, Z_1, Z_2)$  типичного конечного элемента в форме пятигранника с основанием в виде прямоугольного равнобедренного треугольника со сторонами длиной  $L$  и боковыми гранями в форме двух прямоугольных треугольников, плоскости которых взаимно перпендикулярны между собой и перпендикулярны плоскости основания многогранника, а третья боковая грань имеет вид прямоугольной трапеции с основаниями  $Z_1$  и  $Z_2$  можно получить путем вычисления тройного интеграла по объему следующее выражение:

$$V(L, Z_1, Z_2) = \int_0^L \int_{EY} (x) dx = \int_0^L \frac{a(x)+b(x)}{2} x dx = \frac{(z_1 + z_2)L^2}{2}.$$

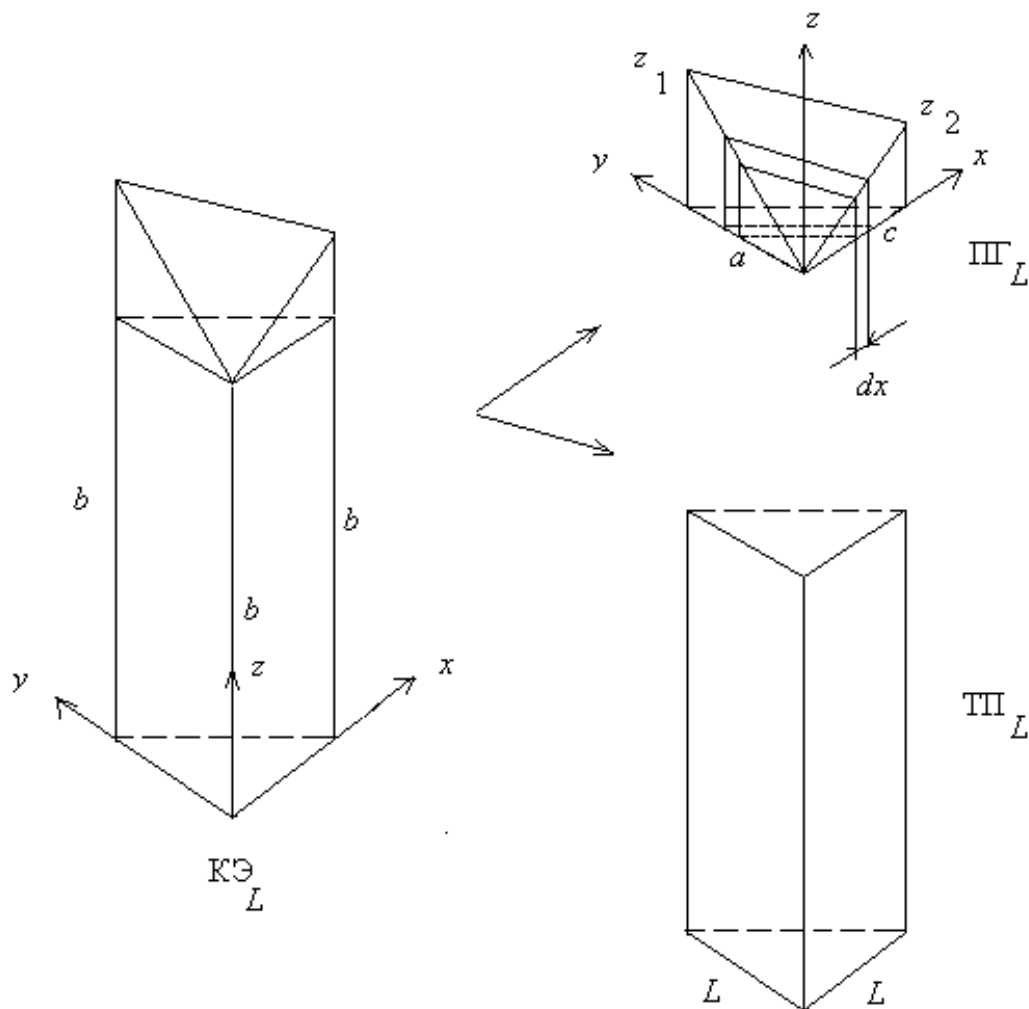


РИС. 6. Конечный элемент  $KЭ_L$  состоит из треугольной призмы  $ТП_L$  и пятигранника  $ПП_L$

Полученная при использовании этой формулы информация об объеме завала пород будет полезной при оперативном принятии решения (роботом или руководителем восстановительных работ) о степени сложности и объеме инженерных работ по ликвидации последствий данной аварии на шахте.

**Выводы.** Разработки, описанные в данной работе, предназначены для обеспечения работы робото-технических устройств в стесненных пространственных условиях шахтного забоя в процессе выполнения разведывательных функций непосредственно после аварии или при ремонтных работах на шахте.

В рамках проводимых в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины разработок концепции и базовых компонент мобильного робота с элементами ИИ серии ГОСИР указан ряд функций, которые должен выполнять такой робот в процессе выполнения мониторинга аварийного шахтного забоя.

Рассмотрен вопрос расчета объема обрушившихся пород в компактном завале, возникшем непосредственно после аварии на шахте и зарегистрированным мобильным роботом типа ГОСИР в форме файла «ЗАВАЛ» с массивом координат точек поверхности такого завала.

1. *Pisarenko V.G., Varava I.A., Pisarenko Ju.V., Procopchuck V.I.* Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization // XI-th International Conf. "Knowledge – Dialogue – Solution (KDS)". – Varna: FOI-Commerce. – 2005. – 2. – P. 427 – 432.
2. *Писаренко Ю.В.* Віртуальне проектування інтелектуалізованих роботів для розвідки і нейтралізації небезпечних екологічних подій: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – К., 2005. – 20 с.
3. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Ч. 1 // УСиМ. – Киев. – 2005. – № 4. – С. 8–18.
4. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Мелкумян К.Ю., Коваль О.С.* Програмне забезпечення вибору параметрів системи управління маніпулятором роботу // АСАУ. – 2010. – № 17 (37). — С. 10 – 17.
5. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Мелкумян Е.Ю., Коваль А.С.* Применение робототехники для обследования шахты после обвала // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 528 – 534.

Получено 21.10.2010