

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ПРИ  
ВОЗВЕДЕНИИ ДВОЙНОЙ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ  
В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Наведено результати аналітичних досліджень деформацій штреку при зведенні подвійної литої смуги в відпрацьованому просторі.

**MODE OF DEFORMATION IN A MARGINAL ZONE  
DEVELOPMENT GALLERY AT BUILDING OF A DOUBLE CAST STRIP  
IN MINED-OUT SPACE**

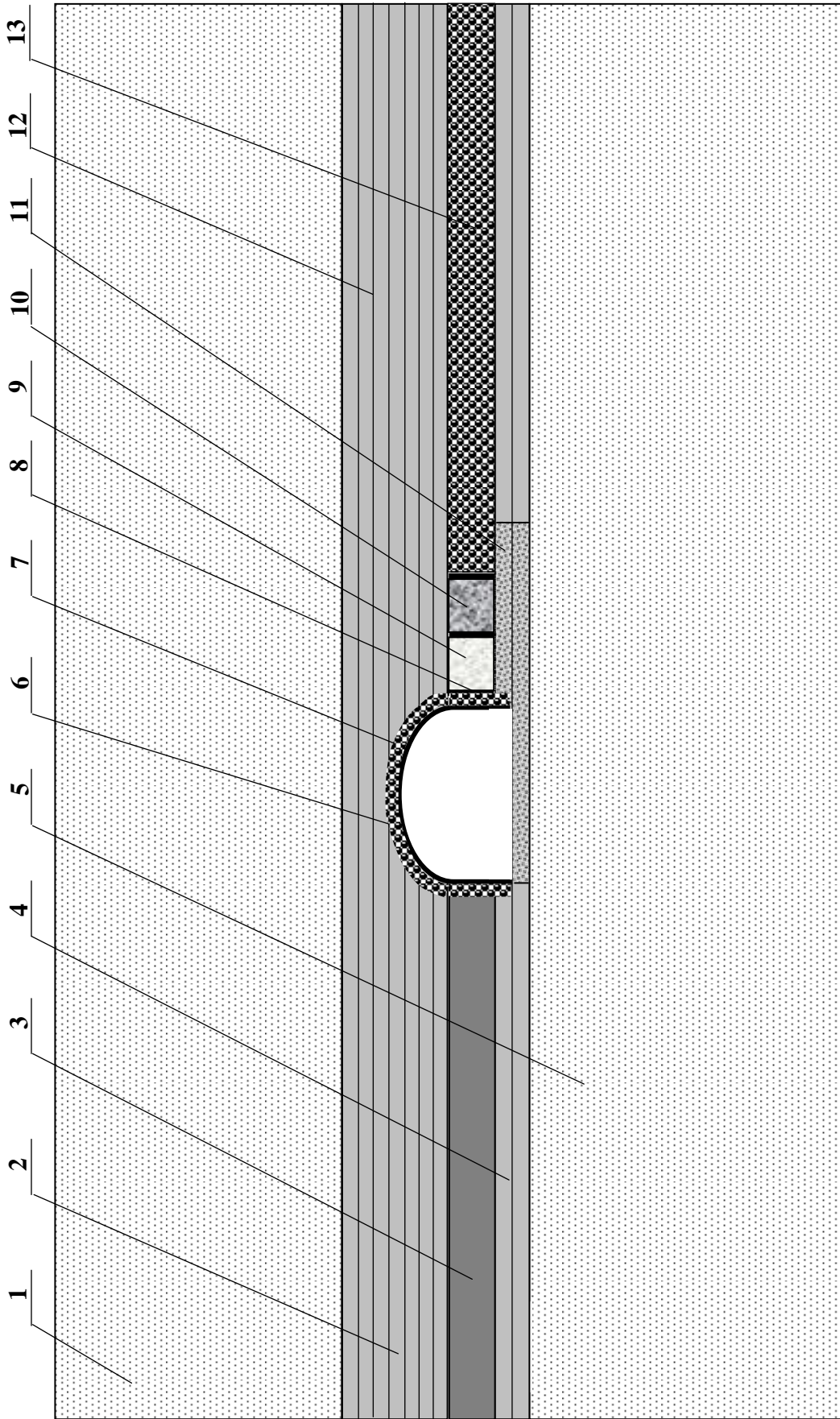
The results of analytical researches of deformations of a drift are given at building of a double cast strip in mined-out space.

В последние годы угольная промышленность Украины характеризуется концентрацией производства на ограниченном числе крупных предприятий. Использование достижений науки в совокупности с техническим перевооружением всех звеньев угледобычи позволили значительно увеличить нагрузку на очистной забой. Однако быстрое подвигание лавы привело к новым проблемам. Одной из них является ухудшение состояния сопряжения выемочного штрека с лавой при использовании традиционных крепей сопряжения.

Выполненные в Германии в конце прошлого века обширные исследования показали, что достаточно эффективным способом поддержания выемочного штрека за лавой и самого сопряжения является возведение в выработанном пространстве приштрековой литой полосы. На Украине такая технология адаптирована применительно к условиям Центрального Донбасса и успешно используется на передовых предприятиях отрасли: шахтах «Красноармейская-Западная № 1» и им. А.Ф. Засядько [1, 2]. Однако анализ практического опыта эксплуатации комбинированной охранной конструкции, поддерживающей штрек за лавой, показал, что при большой скорости подвигания очистного забоя в сочетании со слабыми породами в почве она также оказывается недостаточно эффективной.

Одним из прорабатываемых в настоящее время вариантов повышения конструктивного качества комбинированной охранной конструкции для поддержания выемочного штрека за лавой является включение в ее состав двухрядной литой полосы. В данной работе представлен теоретический анализ работы такой конструкции. Схема расчетной области представлена на рис. 1.

Для проведения численных расчетов используется метод конечных элементов [3, 4]. Конечно-элементная модель является плоской. Проведение вычислительного эксперимента выполнено в упругой постановке, что снижает точность полученных результатов, однако позволяет определить основные тенденции деформирования сложной системы «крепь–массив» и характер влияния на деформации выработки охранной конструкции в виде литой полосы.



1 – песок; 2 – алевролит; 3 – уголь; 4 – алевролит; 5 – песок; 6 – песчаник; 7 – арочная крепь; 8 – стойка деревянная; 9 – высокопрочная полоса; 10 – высокопрочная полоса; 11 – увлажненный алевролит; 12 – граница слоев; 13 – разрушенная порода

Рис. 1 – Схема расчетной области

Таким образом, к разработке модели принят вариант комбинированной охранной конструкции, включающей помимо арочной крепи две разножесткие полосы. Предполагается, что выработанное пространство, а также породный слой, непосредственно прилегающий к арочной крепи заполнены обрушенной породой.

Размеры расчетной области составляют: длина (по горизонтальной оси  $x$ ) – 45,7 м; высота (по вертикальной оси  $z$ ) – 26,0 м. Количество конечных элементов модели – 7 686, количество узлов – 7 893, количество степеней свободы – около 15 000. Размеры конечного элемента в модели колеблются в пределах от 0,13×0,2 м до 0,5×0,5 м, что для модели таких размеров достаточно, чтобы сходимость решения и точность результатов были приемлемыми. В области выработки, ее крепления и охранных конструкций в виде литых полос сетка сгущена, для того, чтобы концентрация напряжений была более четко выражена, чем это возможно отразить в моделях с конечными элементами больших размеров. Также сгущение сетки проведено в почве выработки, так как в имеющихся моделях предполагается наблюдение за пучением почвы. Распределение конечных элементов в пределах модели схематически представлено на рис. 2.

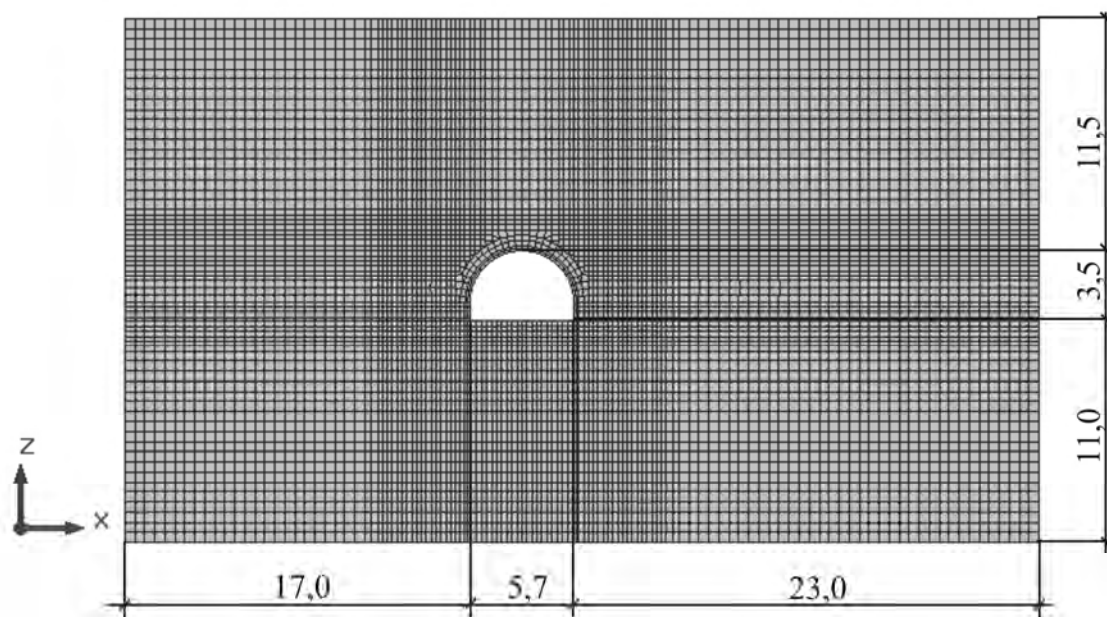


Рис. 2 – Распределение конечных элементов в пределах модели

После создания геометрии конечноэлементной модели на нее налагаются граничные условия, которые наиболее адекватно отображают работу системы «крепь штрека – литая полоса – породный массив». Верх модели нагружен равномерно распределенной нагрузкой и свободен от запрета деформаций. На левой плоскости деформации запрещены; на правой плоскости – также запрет деформаций, кроме слоя алевролита в кровле пласта, который остается свободным от граничных условий. На нижней плоскости модели запрещены деформации по горизонтальной и вертикальной осям.

После постановки граничных условий модели были присвоены деформационные характеристики и плотность, которые задавались в соответствии с данными лабораторных исследований материалов и горных пород. Их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства материалов для модели

Порода или материал	Плотность $\rho \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности		Модуль упругости $E_{см.}$ , ГПа	Коэффициент Пуассона $\nu_{см}$
		$\sigma_{сж.}$ , МПа	$\sigma_{р.}$ , МПа		
Песчаник	2,5	60	7	16	0,15
Алевролит	2,6	45	5	12	0,24
Уголь	1,3	15	2	3, 5	0,29
Разрушенная порода	2,0	15	0	2	0,45
Дерево	0,9	40	15	2	0,2
Низкопрочная полоса	2,0	10	1	1	0,25
Высокопрочная полоса	2,2	20	2	2	0,25
Влажный алевролит	2,5	15	2	4	0,3

При задании деформационных свойств конечных элементов пластинчатого типа, кроме статического модуля упругости, статического коэффициента Пуассона и плотности, следует задавать толщину пластины, которая принята в данном исследовании равной ширине рамы крепления СВП-27, то есть 149,5 мм (в модели – 150,0 мм). Таким образом, после задания модели деформационных свойств получена карта жесткостей, соответствующих породам с учетом их состояния и искусственным материалам.

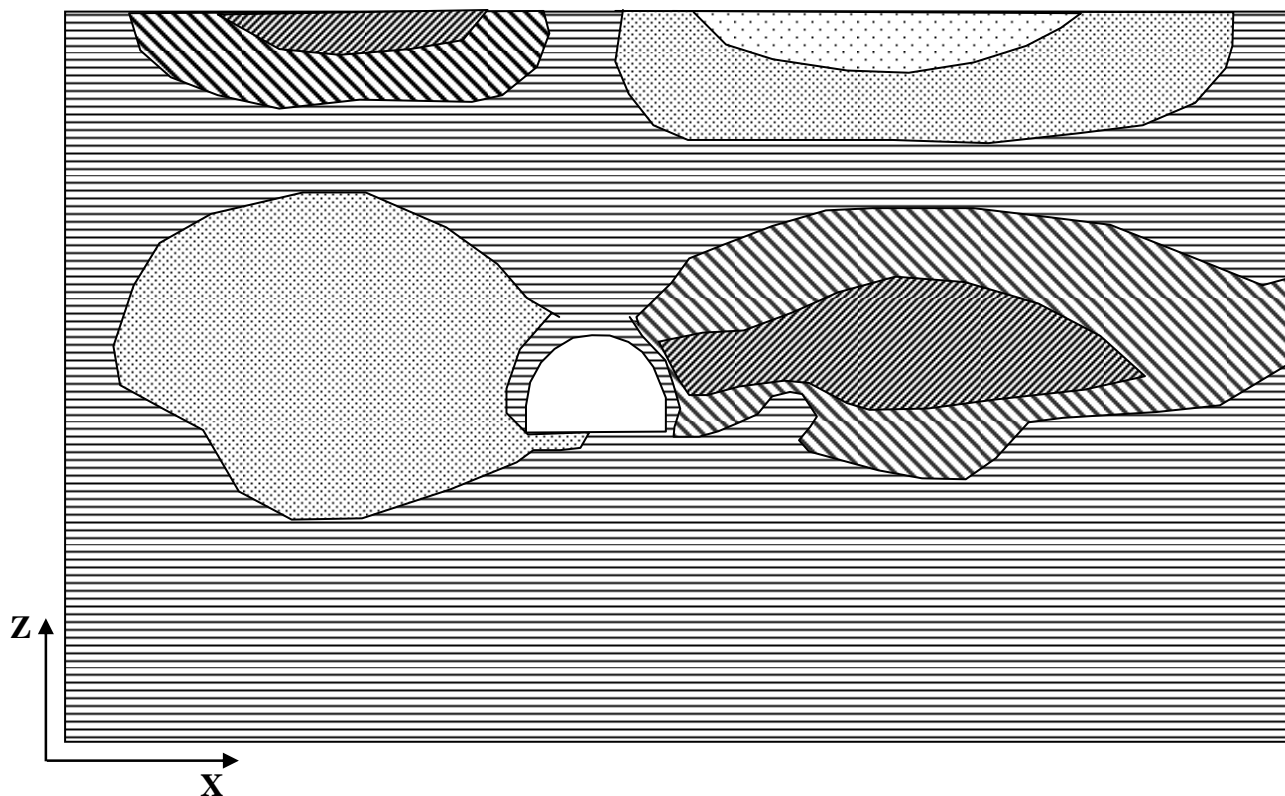
Для границ слоев алевролита присвоено свойство проскальзывания, моделирующее поведение слоистого массива, который постепенно обламывается над выработанным пространством. Метод конечных элементов, как один из численных методов механики сплошной среды, оперирует понятием сплошности, то есть образование трещин или пустот в ходе расчета континуальной модели затруднительно. Исследуя среды с трещиноватостью или пустотами, следует задавать эти неоднородности как геометрические тела, то есть в процессе статического численного анализа их возникновение невозможно. Однако, в ходе анализа решения, полученного при расчете, можно однозначно выделить области концентрации напряжений и путем сравнения величин компонент напряжений или их эквивалентных величин, спрогнозировать некоторые параметры трещинообразования, например, направление распространения трещины.

После операций по присвоению модели деформационных характеристик, к ней прикладываются нагрузки в виде веса массива налегающих пород. Давление массива пород можно рассчитать по формуле  $\sigma = \gamma H$ , где  $\gamma$  – объемный вес налегающих пород,  $H$  – глубина заложения. Это давление прикладывается равномерно к верхней границе модели.

Вся графическая информация комплекса для значений перемещений и компонент напряжений приводится в виде изолиний и изополей. Изополе ограничивается двумя изолиниями с граничными значениями параметра.

При решении задачи задавалось 14 градаций для величин напряжений и деформаций. С учетом трудности представления результатов в первоначальной форме для данной публикации был произведен специальный перерасчет с выделением всего четырех градаций.

Распределение упругих горизонтальных деформаций вокруг выработки представлено на рис. 3.



Границы изополей деформаций (мм):

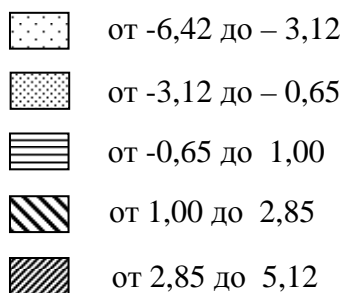


Рис. 3 – Характер распределения горизонтальных деформаций

Необходимо обратить внимание, что кажущаяся значительная асимметрия деформаций вокруг выработки обусловлена выбором начала системы координат, удобным с точки зрения вычислительного процесса. Радиальные по отношению к контуру выработки деформации с одинаковым модулем по разные стороны вертикальной оси выработки имеют различные знаки и поэтому различным образом представлены на рис. 3. Тем не менее, даже в таком виде, картина распределения деформаций позволяет сделать некоторые выводы;

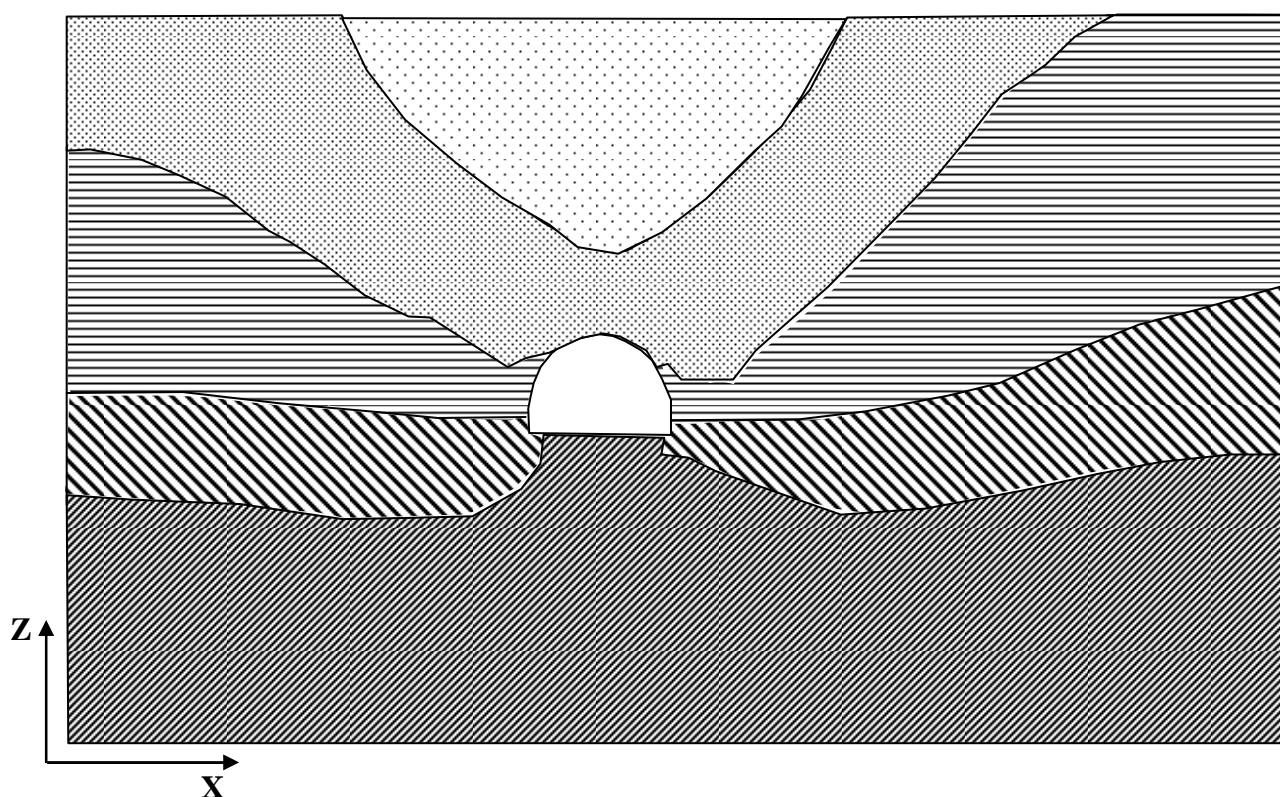
а) область интенсивных горизонтальных деформаций в массиве вокруг охраняемой выработки вытянута в сторону выработанного пространства и в меньшей степени – в сторону угольного целика;

б) в массиве, непосредственно над сводом выработки, горизонтальные деформации незначительны;

в) наблюдается чередование зон с различной величиной горизонтальной деформации в вертикальном направлении, как над выработанным пространством, так и над симметрично расположенным относительно выработки участком;

г) в почве выработки горизонтальные деформации выявлены лишь в приконтурном слое и быстро затухают по мере удаления от контура выработки.

Картина для вертикальных деформаций массива и крепи представлена на рис. 4.



Границы изополей деформаций (мм):






	от -50,9 до -40,0
	от -40,0 до -29,1
	от -29,1 до -18,2
	от -18,2 до -10,9
	от -10,9 до 0

Рис. 4 – Характер распределения вертикальных деформаций в пределах расчетной области

Анализ распределения вертикальных деформаций в соответствии с рис. 4 позволяет сделать следующие выводы:

а) наиболее значительные вертикальные деформации ожидаются над сводом выработки (с учетом того, что выработанное пространство уже заполнено обрушенной породой);

б) над выработкой, на большом удалении от ее контура распределение деформаций практически симметрично по отношению к вертикальной оси выработки и приобретает асимметричный характер по мере приближения к неоднородностям в массиве;

в) ближняя зона в почве охраняемой выработки характеризуется резкой асимметрией деформаций, а по мере удаления от контура выработки степень асимметрии снижается;

г) наличие литой полосы приводит к уменьшению модуля вертикальных деформаций в почве пласта, непосредственно под полосой.

Совместный анализ рис. 3 и рис. 4 косвенно свидетельствует о наличии асимметрии деформаций в массиве и на контуре выработки. Для более детального представления о деформациях арочной крепи, как непосредственно наблюдаемой в выработке, был выполнен расчет суммарных деформаций с учетом их вектора и модуля. Ввиду относительной малости деформаций их наглядное отображение возможно только с искажением масштаба. При этом сохраняется качественная картина ожидаемых деформаций и возможность сопоставления с реально наблюдаемыми в шахтных условиях. Расчетное распределение деформаций по контуру выработки схематически представлено на рис. 5.

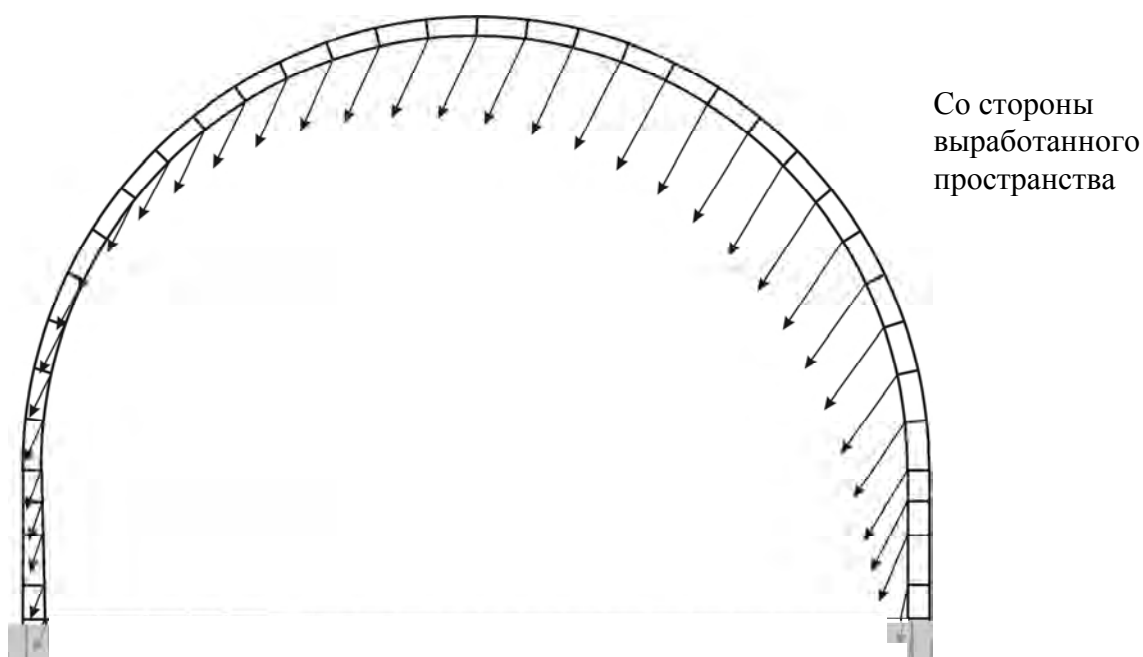


Рис. 5 – Схематическое распределение расчетных деформаций арочной крепи

В соответствии с рис. 5 наибольшие деформации должны наблюдаться в верхней части свода со стороны выработанного пространства. Такой характер деформаций дает и физическое моделирование (в натуральных условиях двойная полоса еще не апробирована). Наблюдаемая при нагрузке на модель форма выработки представлена на рис. 6.



Рис. 6 – Характер деформации контура выработки по данным физического моделирования

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Демченко А.И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005. – 240 с.
2. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов. / Булат А.Ф., Ильяшов М.А., Усаченко Б.М., Байсаров Л.В. и др. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2004. – 33 с.
3. Рикардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. – Рига: Зинатне, 1988. – 284 с.
4. Основы метода конечных элементов. / Большаков В.И., Яценко Е.А., Соссу Г. и др. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. – 255 с.