

# II МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

## II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ДОНБАССА"



**XVI** Международная научно-практическая конференция  
Автоматизация  
технологических объектов  
и процессов. Поиск молодых



**VII** Международная научно-техническая конференция  
Информатика,  
управляющие системы,  
математическое и компьютерное  
моделирование



**II** Международная научно-практическая конференция  
Металлургия XXI века глазами молодых

## Том 1. Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве

г. Донецк 2016

**СОДЕРЖАНИЕ**

<i>Радченко А. Г., Савченко А.В., Богак М.Ю., Радченко А.А.</i> Влияние процессов флюидизации на формирование выбросоопасности песчаников, порфиритов и солей.....6	
<i>Туманов В.В., Камбурова Л.А., Лобков Н.И., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Объединение научно-технического и экономического потенциалов стран Содружества – настоятельное веление времени.....11	
<i>Пылько Е.А.</i> Проблемы государственного управления структурными преобразованиями в угольной промышленности.....15	
<i>Радченко А. Г., Мартынов Г.П., Радченко А. А., Ершова Г.А.</i> Роль метаморфизма, тектоники и флюидов в формировании и проявлении выбросоопасности углей Донбасса.....20	
<i>Антипов И.В.</i> Закономерности изменения напряженно-деформированного состояния горного массива в зоне выемки угля и крепления очистного забоя...25	
<i>Балагуров А.В.</i> Моделирование геомеханических процессов в горном массиве.....31	
<i>Драган Л.А., Хохлова Е.В.</i> Классификация отказов горно-шахтного оборудования.....36	
<i>Козырь С.В., Малиновский С.В.</i> Разработка методики инструментальных наблюдений в очистном забое шахты им. М.И. Калинина.....41	
<i>Лобков Н.И.</i> Особенности формирования разрушающих напряжений в породном массиве в выработках на добычном участке.....46	
<i>Савенко А.В.</i> Сдвигание земной поверхности под влиянием очистных работ на большой глубине.....50	
<i>Талпа Б.В.</i> О возможности комплексной полной переработке горелых пород террикоников Донбасса.....55	
<i>Соленый С.В., Ковалев А.П., Демченко Г.В.</i> Блок мониторинга и защиты узлов газоснабжения.....58	
<i>Касьяненко А.Л., Соловьёв Г.И., Малышева Н.Н.</i> Исследование особенностей деформирования пород почвы выработки, вмещающих прочный слой.....63	

<i>Овчаренко В.Л.</i>	
К вопросу о «Методике качественной и количественной оценки пере- смотра «Правил безопасности в угольных шахтах» .....	71
<i>Кременев О.Г., Дервянский В.Ю., Сергеев В.А., Овчаренко В.Л.</i>	
О методологии разработки инструкций по охране труда для рабочих подземных профессий и работников шахтной поверхности угольных шахт.....	81
<i>Кременев О.Г., Овчаренко В.Л.</i>	
Расчет эффективной дозы облучения горняков, обусловленной долго- живущими радионуклидами в угольных шахтах.....	95
<i>Кавера А.Л.</i>	
Классификация вентиляционных соединений.....	110
<i>Дрибан В.А., Хохлов Б.В.</i>	
Мониторинг вертикальных шахтных стволов при восстановлении гор- ных предприятий.....	114
<i>Горохов Е.В., Губанов В.В.</i>	
Проблемы обеспечения безопасности и долговечности высотных со- оружений горной промышленности.....	119
<i>Подтыкалов А.С.</i>	
Прогнозная оценка поведения пород кровли при выемке крутых пла- стов Донбасса.....	124
<i>Дрипан П.С.</i>	
Исследования способа закрепления анкера методом прессовой посад- ки .....	132
<i>Ворхлик И.Г., Выговская Д.Д., Выговский Д.Д., Марюшенков А.В.</i>	
Пути повышения коэффициента машинного времени работы комбайна по выемке угля – основное условие увеличения нагрузки на очистной забой.....	136
<i>Выговский Д.Д., Выговская Д.Д., Белоусов В.А.</i>	
Методика оценки сравнительной эффективности технологических схем комплексно-механизированной выемки угля.....	144
<i>Нескреба Д.А., Поляков П.И.</i>	
Основы механики разрушения несплошных сред природного массива, как фактор влияния на слоистую структуру природного массива.....	150
<i>Васютина В.В., Ульшина А.О.</i>	
Особенности геомеханических процессов при мокрой консервации шахт.....	153

<i>Севрюков А.О.</i>	
Влияние разрывного мелкоамплитудного нарушения на устойчивость выработки при одностороннем пересечении выработкой нарушения.....	158
<i>Соловьев Г.И.</i>	
Методика определения параметров продольно-балочной крепи усиления.....	163
<i>Ролдугин О.Г.</i>	
Новый способ и устройство для измерения смещения краевой части угольного пласта в очистных забоях.....	169
<i>Высоцкий С.П., Гулько С.Е.</i>	
Совершенствование технологий водоснабжения Донбасса за счет использования альтернативных источников.....	174
<i>Головнева Е.Е., Лабинский К.Н.</i>	
Лабораторные исследования ударных волн, возникающих при взрыве промышленных ВВ, для определения их параметров.....	183

УДК 552.124.2:539.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ  
ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ, ВМЕЩАЮЩИХ ПРОЧНЫЙ  
СЛОЙ**

**А.Л. Касьяненко, Г.И. Соловьёв, Н.Н. Малышева**  
Донецкий национальный технический университет

*В данной работе проведены аналитические исследования с применением численных методов для установления особенностей механизма деформирования пород почвы, вмещающих прочный слой с целью обоснования способа охраны и его параметров.*

В работе [1] было установлено качественное изменение смещений пород почвы горной выработки непосредственным силовым воздействием системой «крепь усиления – прочный слой» согласно разработанному способу обеспечения устойчивости горных выработок [2]. Проведенные исследования позволили сделать вывод, что непосредственное силовое воздействие на прочный слой позволяет управлять НДС пород почвы выемочной выработки.

Целью данной статьи является определение особенностей механизма деформирования пород почвы, вмещающих прочный слой и определения параметров способа минимизации смещений при силовом управлении геомеханической системой «крепь усиления – прочный слой» для обоснования рациональных параметров способа.

Поставленная задача решалась путем проведения аналитических исследований с применением численных методов.

Наиболее удобным и широко используемым для решений прикладных задач горной геомеханики является метод конечных элементов (МКЭ), который в настоящее время активно применяется в научных исследованиях [3, 4].

В настоящее время существует большое количество систем автоматизированного проектирования (САПР) или CAD (Computer-Aided Design), использующихся обычно совместно с системами автоматизации инженерных расчетов и анализа (CAE), которые позволяют выполнять задачи моделирования процессов в различных комбинированных средах.

К наиболее распространенным CAE-системам можно отнести ANSYS, LS-DYNA, Plaxis, Abaqus, SolidWorks и др.

Анализ программных пакетов позволил выбрать САЕ-систему SolidWorks Simulation (COSMOSWorks) [5,6] как оптимальную и удовлетворяющую всем необходимым условиям моделирования.

Для решения поставленной задачи были выполнены аналитические исследования по определению параметров влияния прочного слоя на смещения контура почвы горной выработки методом конечных элементов с использованием программного комплекса SolidWorks Simulation (COSMOSWorks). Для реализации численной модели была разработана расчетная схема, представленная на рис. 1.

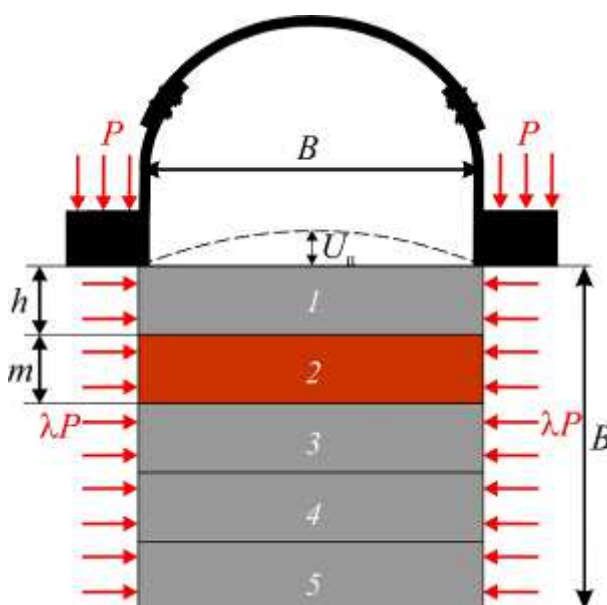


Рис. 1. Расчетная схема для определения смещений пород почвы:

1-10 – номера слоев,  
B – ширина выработки,  
 $U_n$  – измеряемые смещения по центру выработки,  
m – толщина прочного слоя,  
h – глубина залегания прочного слоя,  
P – боковое давление,  
 $\lambda$  – коэффициент бокового распора

В расчетной схеме использовались следующие допущения:

- деформирование почвы рассматривалось как совокупность деформаций отдельных слоев;
- величина смещений нижнего слоя в направлении перпендикулярном и параллельном слоистости принималась равной нулю;
- в каждом слое при изгибе возникали нулевые смещения вблизи нижнего контакта слоя;
- при складкообразовании слои плотно ложились друг на друга и функция нормальных составляющих вектора смещений была непрерывной;
- функции горизонтальных смещений и горизонтальных деформаций (в направлении напластования) были непрерывны только в пределах слоя, деформирующегося без расслоений по внутренним контактам напластований.

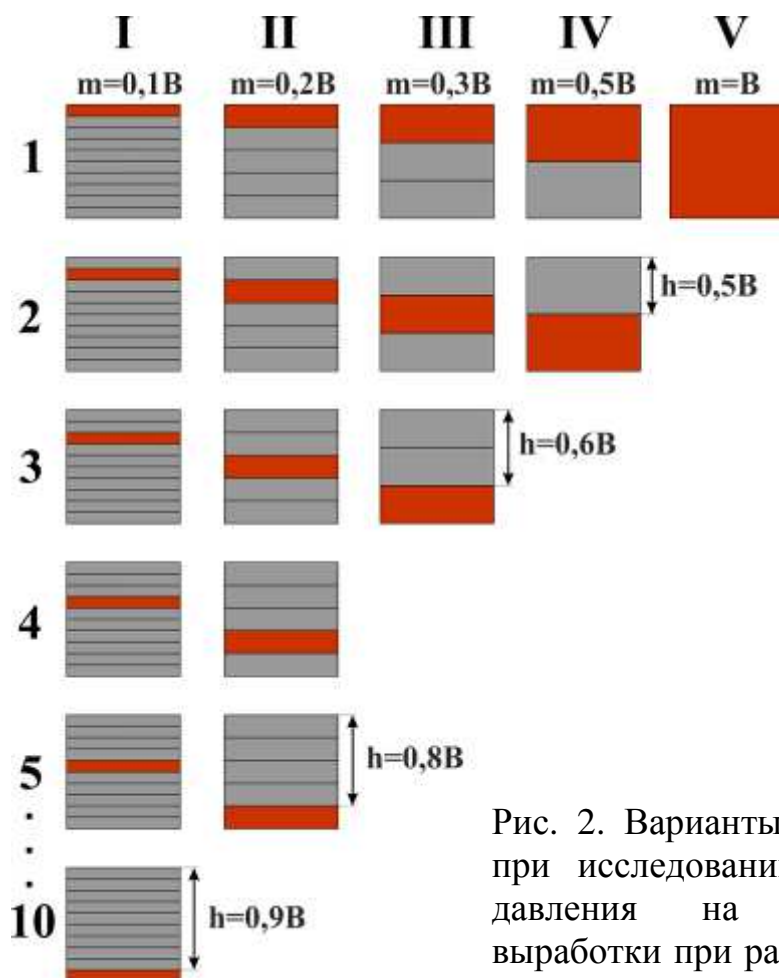


Рис. 2. Варианты численных моделей при исследовании влияния бокового давления на смещения почвы выработки при различной толщине ( $m$ ) и глубине залегания ( $h$ ) прочного слоя

Для соответствия расчетной модели натурным характеристикам моделируемой подготовительной выработки (конв. штр. 8-й западной лавы пласта  $m_3$  шахты им. Е. Т. Абакумова) было принято условие, что непосредственная почва представлена аргиллитом, а в качестве прочного слоя использовался слой известняка [7]. Характеристики пород, принятые в модели представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика породы почвы модели

Тип пород	Прочность на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$ , МПа	Прочность на одноосное растяжение, $\sigma_{р}$ , МПа	Удельная плотность, $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Модуль упругости, $E$ , ГПа	Коэффициент Пуассона
Алевролит	30	4	2530	50	0,23
Известняк	120	13	2780	90	0,31

Для определения величины смещений поверхности почвы по центру подготовительной выработки  $U_{\text{п}}$  от двух влияющих факторов – глубины залегания прочного слоя от поверхности почвы  $h$  и его мощности  $m$  были приняты размеры плоской модели:  $B \times B \times 0,1B$ , где  $B$  – ширина выработки.

На рис. 2 представлены варианты численных моделей для исследования влияния бокового давления на смещения почвы выработки при различной толщине ( $m=0,1 \text{ч} 0,9B$ ) и глубине залегания ( $h=0,1 \text{ч} 0,9B$ ) прочного слоя.

В процессе моделирования римскими цифрами обозначались номера моделей, а арабскими - количество проведенных опытов при различном сочетании глубины залегания  $h$  и мощности прочного слоя  $m$ .

Для исследования были приняты пять вариантов моделей, для различной толщины прочного слоя: I –  $0,1B$ ; II –  $0,2B$ ; III –  $0,3B$ ; IV –  $0,5B$ ; V –  $B$ ; причем вариация глубины залегания прочного слоя в почве для каждой заданной толщины изменялась от контура почвы до глубины равной  $B$ . Вариация мощности и глубины залегания прочного слоя позволила установить рациональное сочетание этих параметров, обеспечивающих минимальную величину выдавливания почвы. В натуральных условиях глубина залегания слоя в почве пласта чаще всего изменялась в небольших пределах.

На рис. 3 представлены результаты реализации 63-х численных моделей программным комплексом SolidWorks Simulation (COSMOSWorks) при различной толщине ( $m$ ) и глубине залегания ( $h$ ) прочного слоя.

На основании представленных на рис. 4 результатов исследований установлено, что минимальная величина выдавливания породного контура почвы подготовительной выработки наблюдается при залегании прочного слоя на глубине не более  $(0,3 \text{ ч } 0,5)B$  и его мощности не менее  $0,5B$ .

Для установления степени влияния толщины и глубины залегания прочного слоя на смещения контура почвы подготовительной выработки была предложена зависимость, которую можно записать в виде:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (1)$$

Для определения зависимостей изменения величины смещения контура почвы от мощности и глубины расположения в ней прочного слоя на основании анализа результатов численного моделирования были построены регрессионные уравнения (табл. 2).



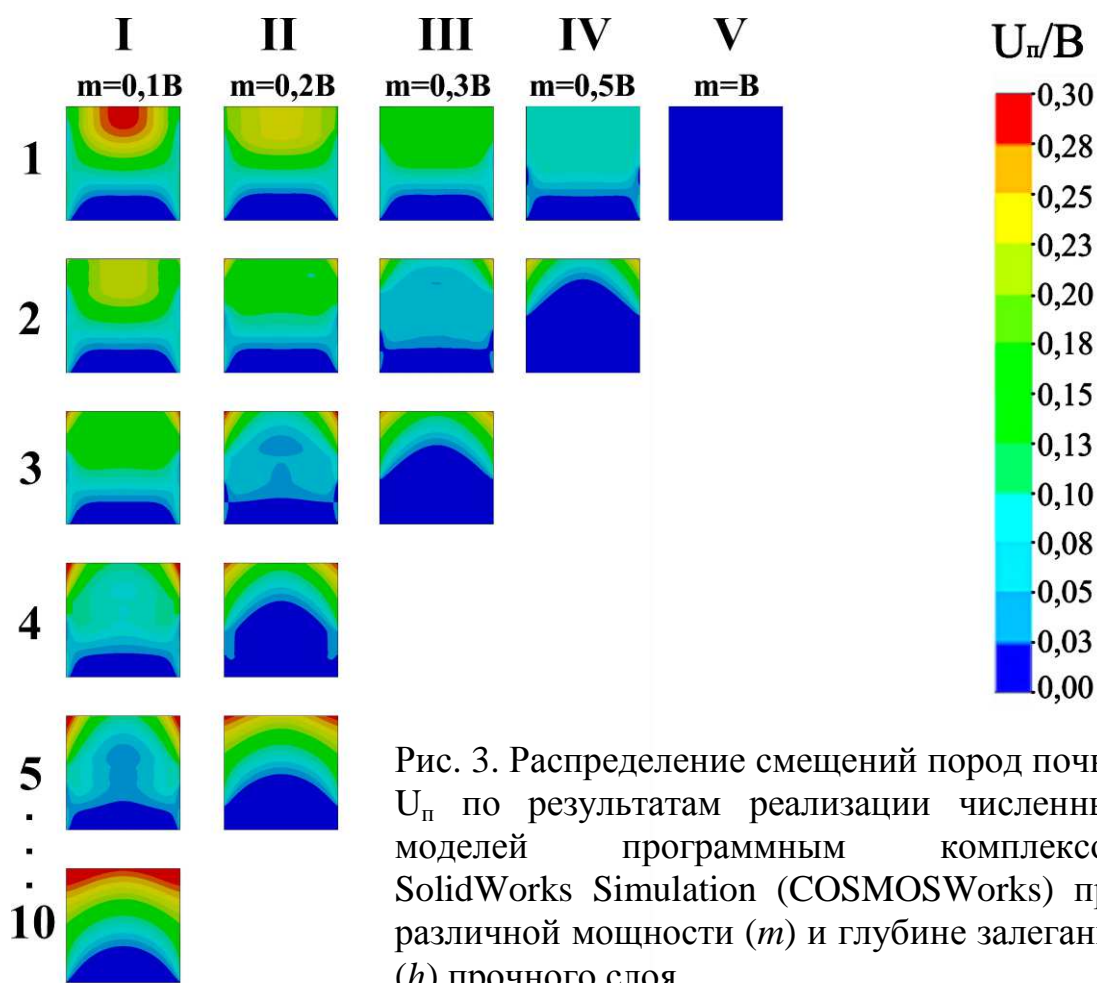


Таблица 2  
Регрессионные уравнения для определения величины смещений почвы в зависимости от глубины его залегания и мощности прочного слоя

$m/B$	Уравнения регрессии	Достоверность аппроксимации
0	$U_{II} = 0,0236h^2 - 0,0278h + 0,0141$	RI = 0,7486
0,1	$U_{II} = 0,0271h^2 - 0,0244h + 0,0109$	RI = 0,8967
0,2	$U_{II} = 0,0286h^2 - 0,0219h + 0,0091$	RI = 0,9998
0,3	$U_{II} = 0,0278h^2 - 0,0183h + 0,007$	RI = 0,9998
0,4	$U_{II} = 0,0253h^2 - 0,0148h + 0,0055$	RI = 0,9984
0,5	$U_{II} = 0,0217h^2 - 0,0115h + 0,0043$	RI = 0,9975
0,6	$U_{II} = 0,0173h^2 - 0,0083h + 0,0032$	RI = 0,9954
0,7	$U_{II} = 0,0125h^2 - 0,0055h + 0,0023$	RI = 0,9854
0,8	$U_{II} = 0,0075h^2 - 0,0028h + 0,0015$	RI = 0,9581
0,9	$U_{II} = 0,0032h^2 - 0,001h + 0,0008$	RI = 0,8947

По полученным уравнениям регрессии были построены графики зависимостей величин смещений контура почвы от глубины залегания и мощности прочного слоя (рис. 4) и установлены их минимальные значения (табл. 3).

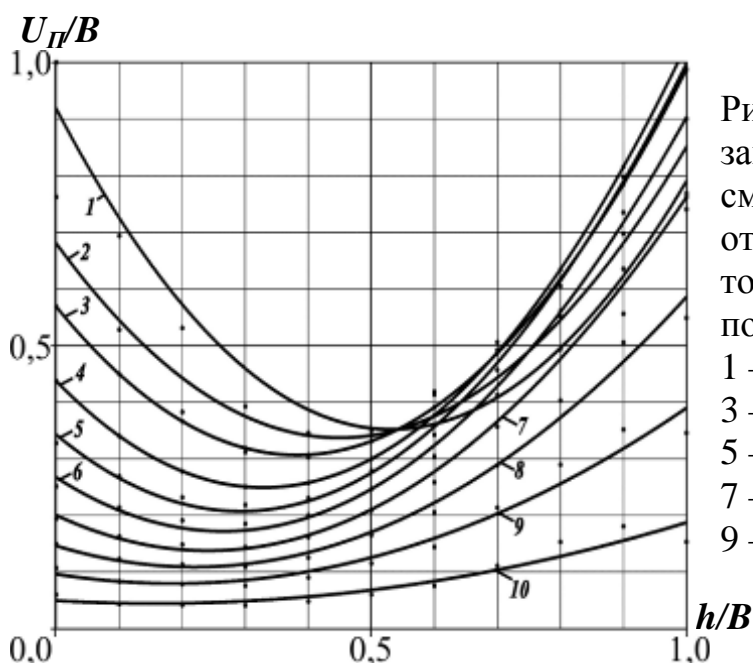


Рис. 4. Графики зависимости величины смещений контура почвы от глубины залегания и толщины прочного слоя почвы:

1 –  $m_1=0,1B$ ; 2 –  $m_2=0,2B$ ;  
3 –  $m_3=0,3B$ ; 4 –  $m_4=0,4B$ ;  
5 –  $m_5=0,5B$ ; 6 –  $m_6=0,6B$ ;  
7 –  $m_7=0,7B$ ; 8 –  $m_8=0,8B$ ;  
9 –  $m_9=0,9B$ ; 10 –  $m_{10}=1,0B$ .

Таблица 3

Определение оптимальных значений коэффициента влияния прочного слоя

Вид зависимости	Мощность прочного слоя, m	Глубина залегания прочного слоя, h	Минимальное значение смещений, $U_{П}/B$
$U_{П1} = f_1(m, h)$	0,1B	0,55B	0,355
$U_{П2} = f_2(m, h)$	0,2B	0,45B	0,337
$U_{П3} = f_3(m, h)$	0,3B	0,39B	0,312
$U_{П4} = f_4(m, h)$	0,4B	0,33B	0,253
$U_{П5} = f_5(m, h)$	0,5B	0,30B	0,211
$U_{П6} = f_6(m, h)$	0,6B	0,27B	0,173
$U_{П7} = f_7(m, h)$	0,7B	0,25B	0,137
$U_{П8} = f_8(m, h)$	0,8B	0,23B	0,112
$U_{П9} = f_9(m, h)$	0,9B	0,20B	0,081
$U_{П10} = f_{10}(m, h)$	1,0B	0,19B	0,043

Из представленных на рис. 5 графиков видно, что величина смещений почвы выработки уменьшается с увеличением мощности и снижением глубины залегания прочного слоя от контура почвы.

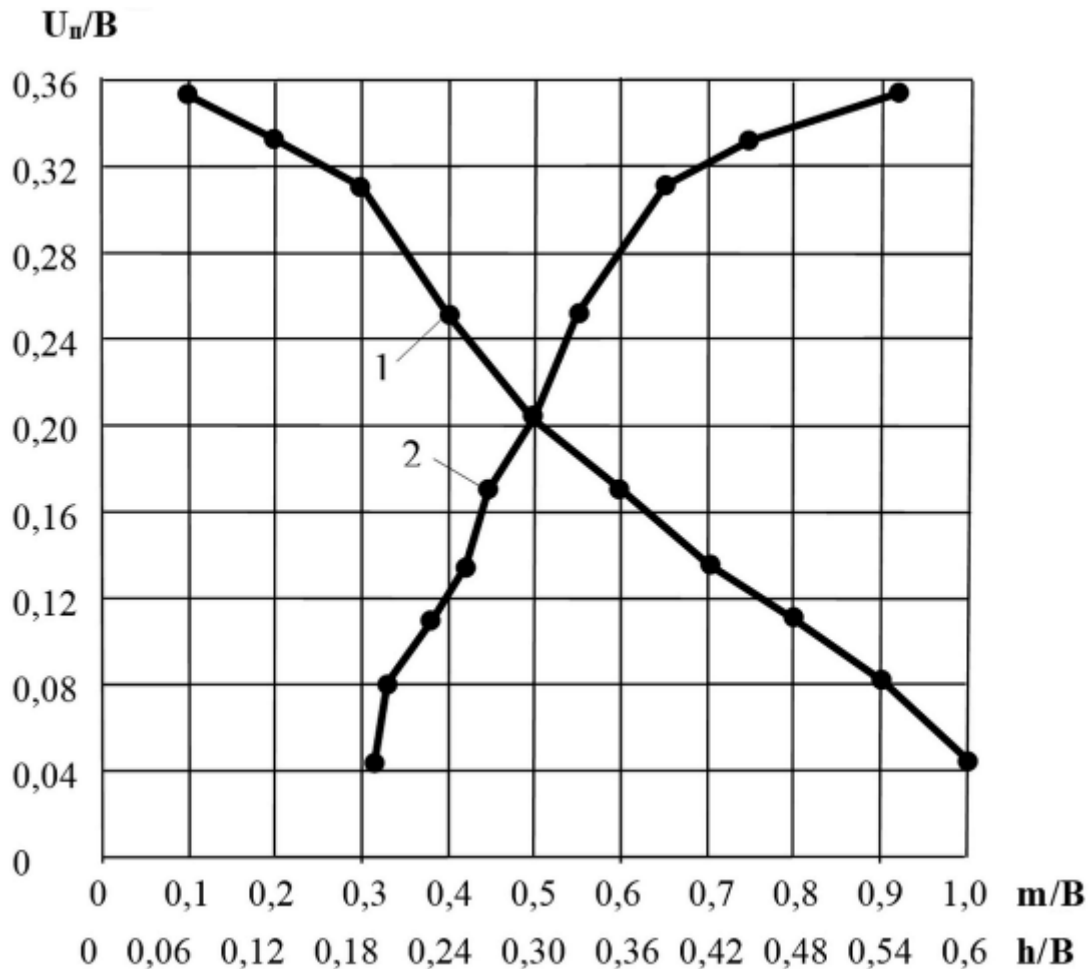


Рис. 5. Зависимость смещений почвы выработки от мощности (1) и глубины залегания прочного слоя от контура почвы (2)

По результатам выполненных аналитических исследований можно сделать следующие выводы:

- теоретически установлены функциональные зависимости величины пучения почвы выработки от расположения прочного слоя относительно почвы выработки  $h$ , его толщины  $m$ .

- увеличение толщины прочного слоя способствует уменьшению смещений почвы по сравнению с однородным массивом;

- прочный слой позволяет снизить смещения пород почвы при его залегании на глубине до  $0,5B$  от контура почвы и его мощности равной не менее  $0,1B$ .

- при глубине залегания прочного слоя равной  $0,6B$  и более мощность слоя не влияет на смещения почвы, и они не отличаются от сравнении с однородным массивом.

Таким образом, позитивное влияние прочного слоя на минимизацию смещений почвы в полость выработки проявляется при

глубине залегания прочного слоя до 0,5В с мощностью не менее 0,1В. При этом, чем мощнее прочный слой вблизи контура почвы, тем интенсивнее уменьшаются смещения почвы.

### Список литературы

1. Касьяненко, А.Л. Аналитические исследования влияния системы «крепь усиления-прочный слой» на выдавливание пород почвы горных выработок / А.Л. Касьяненко, И.С. Ковальчук // Инновационные перспективы Донбасса: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Донецк, 20-22 мая 2015 г. Т. 1: Проблемы и перспективы в горном деле и строительстве. - Донецк, 2015. - С.141-147.

2. Пат. 103110 Україна, МПК8 E21D 11/00, E21D 20/00, E21C 41/18. Спосіб охорони виїмкових виробок у шаруватих породах підшви, схильних до здимання [Текст] / Г.І. Соловйов, А.Л. Касьяненко, Е.В. Поляков; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № а201203091; заявл. 16.03.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17 – 8 с.

3. Кузнецов, Г. Н. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г. Н. Кузнецов, К. А. Ардашев, Н. А. Филатов и др. – М.: Недра, 1987. – 248 с.

4. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике – М.: Недра, 1987. – 221 с.

5. Paul M. Kurowski. Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional. Finite Element Analysis with COSMOSWorks 2005. – Schroff Development Corporation, 2005. – 248 с.

6. Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев // СПб.: БХВ – Петербург, 2008. – 1040 с.

7. Соловьёв, Г.И. О механизме упорно-жесткого противодействия выдавливанию крепких пород почвы конвейерного штрека в условиях пласта m3 шахты им. Е.Т. Абакумова / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко // Вісті Донецького гірничого інституту, Донецьк. – 2012. – №1. – С. 250-258. – ISSN 1999-981X.