

TOM 7

ΓΕΟΜΕΧΑΝΙΚΑ

Смолий И.С. асп., кафедры строительства, геотехники и геомеханики
Волкова В.Е. д.т.н., профессор кафедры строительства, геотехники и геомеханики
(Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск,
Украина)

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНЫХ БАЛОК ОТКРЫТОГО СЕЧЕНИЯ

Одним из перспективных направлений усиления балочных пролетных строений конвейерных галерей является изменение их расчетной схемы путем введения дополнительных связей в опорных сечениях балок. Замена шарнирных узлов балочных конструкций на жесткие защемления позволяет увеличить несущую способность конструкции без увеличения собственного веса конструкций. Однако, такие конструкции становятся весьма чувствительными к перемещениям опор и температурным воздействиям.

Объектом исследования являлись сварные балки двутаврового пролетом 12 м. В работе рассмотрен вариант конструктивного решения двутавровой металлической балки с переменным поперечным сечением по длине. Высота балки составляла 2,1 м, толщина полков $t_f=64$ мм. Балка укреплялась поперечными ребрами жесткости толщиной 17 мм через каждые 3 м. Балка имела приведенную гибкость в середине пролета $\overline{\lambda}_{нс} = 3,2$, и в приопорных участках $\overline{\lambda}_{во} = 2,5$, толщина стенок 21 и 27 мм соответственно. Сброс сечения был принят на расстоянии 3,2 м от края балки.

Метод конечных элементов ориентирован на применение исключительно компьютерных технологий. Он объединяет в себе особенности метода сосредоточенных масс и метода обобщенных координат. МКЭ позволяет построить удобную и обоснованную модель системы. [1, с. 16-17]. При моделировании конструкция рассматривается как некоторая совокупность конструктивных элементов, соединенных между собой в узловых точках. При заданных соотношениях между силами и перемещениями для каждого отдельного элемента, можно исследовать поведение конструкции в целом [2, с.11].

Расчеты проводились методом конечных элементов в среде ПК SCAD. Для определения частот и форм собственных колебаний использовался блочный метод Ланцоша. Как показано в [3], применение метода Ланцоша в анализе динамических систем имеет ряд преимуществ, особенно для систем с густым спектром низших частот.

Результаты получены на основе использования программного комплекса SCAD, реализующего для динамического анализа метод Ланцоша [3, с. 102-105]. В исследовании применялась прямоугольная сетка конечных элементов. Использовались конечные элементы – пластины размером 100x100 мм [2]. Нормами рекомендуется анализировать 3-5 низших форм колебаний. Во избежание накопления ошибок интегрирования, в моделировании задавалось 10 форм колебаний. Для дальнейших исследований использовались первые 5 форм. Практическая сходимость результатов исследований обеспечивается совпадением полученных значений при изменении сетки конечных элементов [4].

При моделировании были получены следующие результаты. Собственные частоты для различных вариантов граничных условий балки показаны в таблице 1. Собственные формы колебаний балки показаны на рисунках 1 и 2.

Введение дополнительных закреплений, препятствующих повороту опорных сечений, приводит к существенному увеличению частоты первой формы колебаний балок. Данная форма соответствует изгибным колебаниям в вертикальной плоскости. Следует отметить, что частоты изгибных колебаний в горизонтальной плоскости, а

именно второй формы колебаний близки. С увеличением порядкового номера формы, расхождения частот колебаний уменьшаются.

Таблица 1

Сравнение частот

Форма	Шарнирное закрепление, частота колебаний, Гц	Жесткое закрепление, частота колебаний, Гц	Расхождение частот, %
1	4,464683	17,30019	287,49
2	20,62797	21,3149	3,33
3	21,80108	27,75358	27,30
4	28,35302	32,62286	15,06
5	32,74477	34,24625	4,59

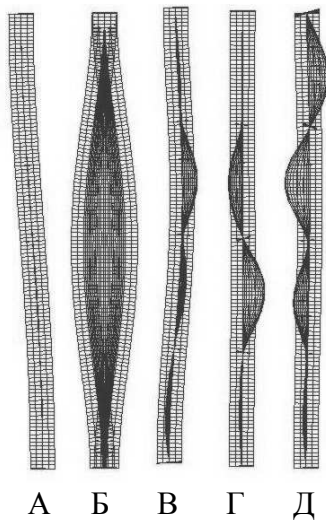


Рисунок 1 Собственные формы колебаний балки при шарнирном закреплении (А – Д - формы 1 -5 соответственно)

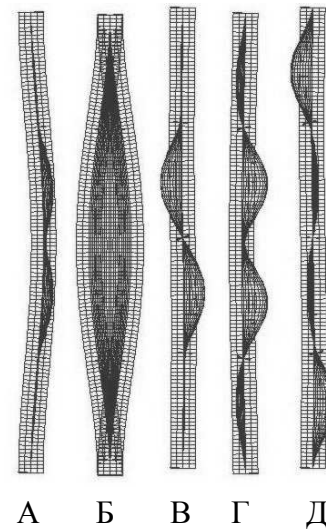


Рисунок 2 Собственные формы колебаний балки при жестком закреплении (А – Д - формы 1 -5 соответственно)

Исходя из результатов исследования можно сделать вывод о том, что введение дополнительных связей и замена шарнирного закрепления сварной балки открытого сечения на жесткое защемление приводит к образованию дополнительных узлов на низших первых формах колебаний. Начиная с третьей формы проявляется увеличение амплитуды колебаний в середине пролета. Однако, уже на пятой форме, амплитуды колебаний стенки балки в середине пролета значительно снижаются для балок с жестким защемлением, что в свою очередь позволяет снизить расход материала в данной части балки.

Список литературы

1. Клааф Р., Пензиен Дж Динамика сооружений: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с. – Первод изд.: Dynamics of Structures/Ray W. Clough, Joseph Penzien. – New York, 1975.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст]: Монография / О.К. Зенкевич – Москва: Мир, 1975 – 543 с.
3. Фиалко, С., Реализация в программном комплексе SCAD блочного метода Ланцоша со сдвигами применительно к сейсмическому анализу сооружений [Текст]: Статья. / С. Фиалко – CADmaster, №5/2007
4. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З. Structure CAD для пользователя/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов – Киев, 2003. – 328с.

УДК 622.235.431.34

Романова А.С. асп., кафедри строительства, геотехники и геомеханики
Соболев В.В. д.т.н., профессор кафедри строительства, геотехники и геомеханики
(Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепрпетровск,
Украина)

ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ В ЗАРЯДАХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Актуальность исследования закономерностей зажигания взрывчатых веществ (ВВ) лазерным излучением заключается в изучении закономерностей развития быстрых химических реакций в энергонасыщенных системах и решения многих практических задач, направленных на создание новых и совершенствование целого ряда существующих «взрывных» технологий.

История исследования лазерного инициирования химических реакций в зарядах взрывчатых веществ начинается с 60-х годов прошлого столетия [1, 2]. Использование лазерного излучения в качестве фактора возбуждения химических превращений в зарядах ВВ обусловлено, как минимум, двумя причинами: 1 – параметры лазерного воздействия нельзя достичь никакими другими способами и 2 – с помощью локального лазерного воздействия можно инициировать детонацию в микроскопических объемах ВВ, а путем нелокального – можно осуществлять одновременный подрыв поверхности любой конфигурации площадью, равной нескольким квадратным метрам.

Таким образом, становится очевидной необходимость в создании принципиально новой системы, которая характеризовалась бы более высокой степенью безопасности, прецизионным взрыванием, отсутствием высокочувствительных первичных взрывчатых веществ, возможностью контроля целостности взрывной сети и более глубоким физическим потенциалом. Так, в первой половине 90-х годов прошлого столетия в Горном университете разработан и изготовлен первый в мире экспериментальный образец абсолютно устойчивой к электромагнитным наводкам оптической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ – ОПСИН [3]. Взрывание зарядов ОПСИН осуществляется путем передачи светового импульса от оптического квантового генератора (ОКГ) к оптическим детонаторам (ОД) посветоволоконной сети или непосредственно через воздушную атмосферу.

Цель работы – проведение исследований для разработки рекомендаций по усовершенствованию оптической системы в целом.

Оптическая схема экспериментальной установки. Проблема введения излучения в оптическое волокно возникает из-за того, что диаметр лазерного луча (~5 мм) в десять раз больше диаметра сердцевины оптического волокна (~0,5 мм). На рис. 1 представлена схема введения излучения в оптическое волокно. Луч лазера фокусируется линзой 1 на торце сердцевины волокна 3. При такой схеме минимальный размер изображения в фокусе определяется кáустикой. Но поскольку лазерный луч представляет собой пучок монохроматических параксиальных лучей, то кáустикой можно пренебречь.

Для получения требуемых параметров излучения в качестве активных элементов выбраны стержни $\phi 5 \times 100$ мм из фосфатного стекла марки ЛГС-55 с концентрацией ионов неодима 4%. Оптическую накачку предполагается осуществлять импульсными ксеноновыми лампами типа ИФП-1000-2А с габаритными размерами светящейся области $\phi 7 \times 75$ мм.

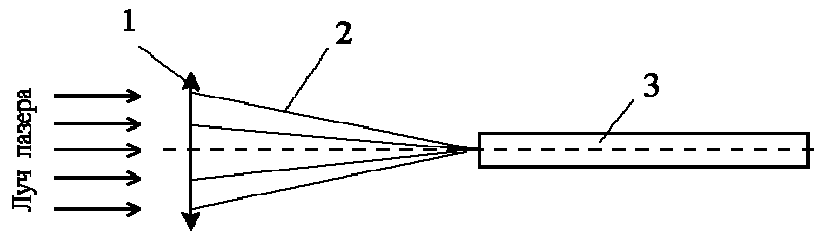


Рисунок 1 – Ввод излучения с помощью линзы: 1 – собирающая линза; 2 – луч лазера; преломленный линзой; 3 – оптическое волокно

Питание импульсных ламп предусматривается осуществлять от конденсаторов типа К75-11 емкостью 100 мкФ и номинальным напряжением 2 кВ. Эти конденсаторы характеризуются высокой удельной энергоемкостью – 91 Дж/кг, как следствие, небольшой массой – 2,2 кг.

Экспериментальный образец ОКГ. Предполагается, что установка будет содержать три лазера, работающих согласованно в заданной временной последовательности.

Оптическая головка помещалась в экспериментальную установку, схема которой показана на рис. 2.

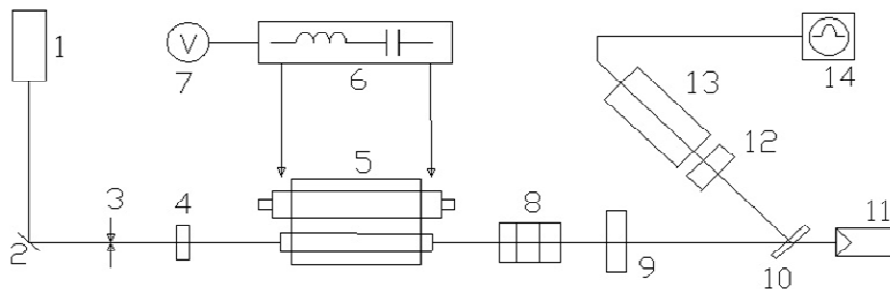


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

1 – He-Ne лазер; 2 – поворотные зеркала; 3 – экран с диафрагмой; 4 – зеркало $R=99\%$ для $\lambda=1,06$ мкм; 5 – оптическая головка; 6 – блок питания лазера; 7 – вольтметр; 8 – кювета с просветляющимся красителем; 9 – выходное зеркало; 10 – стеклянная делительная пластинка; 11 – калориметр ИКТ-1Н; 12 – светофильтр; 13 – фотоэлемент ФК-19; 14 – осциллограф С8-12

Для исследования оптимальных условий работы узлов ОКГ был изготовлен экспериментальный лазер. Целью этого этапа работы являлись:

- отбор активных элементов с близкими характеристиками;
- определение оптимальных коэффициентов отражения и допустимых углов разъюстировки зеркал резонатора;
- определение оптимального коэффициента пропускания пассивного затвора, используемого как модулятора добротности;
- определение требуемой продуктивности в разрядном контуре лампы накачки;
- определение порогового и рабочего значений энергии накачки, обеспечивающей генерацию моноимпульса излучения.

Определение оптимального коэффициента отражения плоского выходного зеркала осуществлялось путем измерения энергии генерации моноимпульса для различных коэффициентов отражения выходного зеркала. На рис.3 показана зависимость энергии генерации от коэффициента отражения выходного зеркала. На основании этой зависимости для выходного зеркала был выбран коэффициент отражения 39%, что соответствует максимуму кривой.

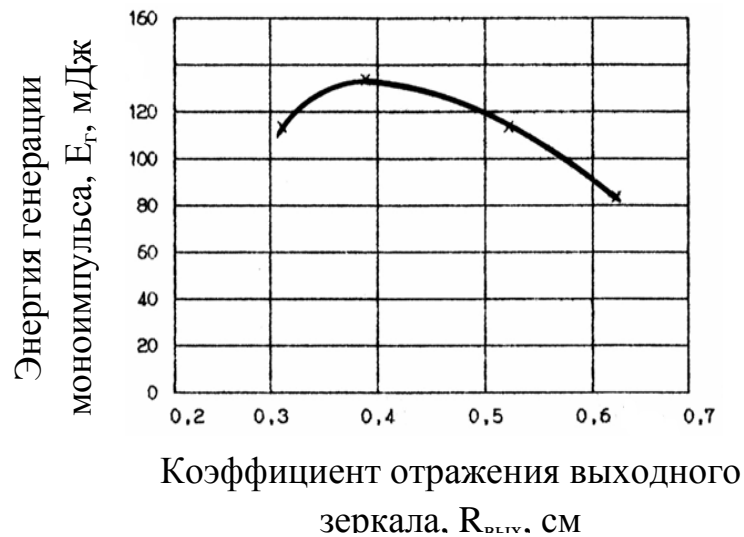


Рисунок 3 – Залежність енергії від коефіцієнта відбиття вихідного дзеркала резонатора

В результаті досліджень генерації в режимі модульованої добротності була прийнята наступна схема відносного розташування елементів лазера. Резонатор був утворений плоскими дзеркалами з коефіцієнтами відбиття 99 % і 39 %, відстань між якими становила 31 см. Стержень з паралельними торцями, нахиленими приблизно на 5 кутових хвилин до осі стержня, встановлювався так, щоб його торці були перпендикулярні осі резонатора. Кювета з красителем встановлювалась з боку вихідного дзеркала з нахилом приблизно 1° до осі резонатора.

Встановлено, що час наростання інтенсивності випромінювання становить приблизно 22 нс, а ширина імпульсу на половині висоти дорівнює 12 нс.

Конструкція ОКГ, рис. 4. Основним несучим елементом конструкції повинна бути масивна плита з дюралюмінію з розмірами 425×130×330 мм. Зверху на цій плиті розміщується оптична система лазерної установки. Знизу до плити кріпляться накопительні конденсатори, що займають приблизно 2/3 об'єму електричного відсіку, блок живлення та панель управління лазерної установки.

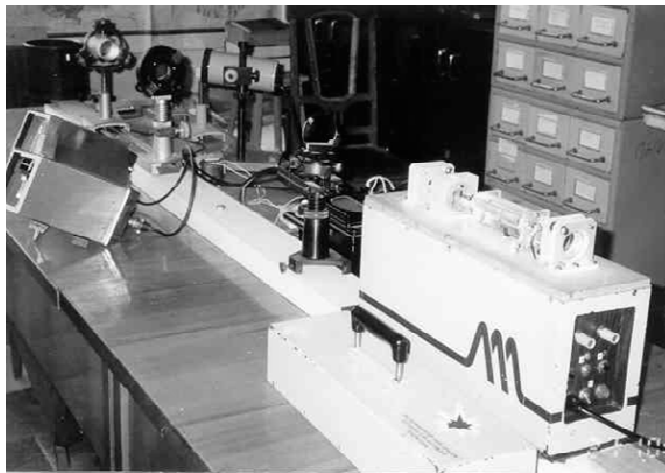


Рисунок 4 – Експериментальний зразок оптичного квантового генератора (блок управління)

Исследование рабочих параметров экспериментального ОКГ. В табл. приведены результаты измерений пороговой энергии накачки $E_{\text{пор}}$, порогового напряжения $U_{\text{пор}}$ и энергии генерации $E_{\text{Г}}$ для трех лазеров. Номер каждого лазера указан на блоке оптических головок. Энергия накачки считалась равной энергии, запасаемой в накопительном конденсаторе. Энергия генерации измерялась калориметром ИКТ-1Н при рабочем напряжении на накопительных конденсаторах 1550 В.

Таблица

Пороговая энергия накачки

Параметры	Лазер 1	Лазер 2	Лазер 3
Пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$, В	1400	1450	1400
Энергия накачки $E_{\text{пор}}$, Дж	98	105	98
Энергия генерации $E_{\text{Г}}$, мДж	180	170	220

Выводы.

Разработан способ введения излучения в оптическое волокно, изготовлен и испытан трехканальный экспериментальный образец ОКГ с электронной коммутацией между каналами, обеспечивающей плавную регулировку задержки срабатывания каналов в диапазоне 0-80 мс с точностью срабатывания $\pm 0,1$ мс. ОКГ работает от сети постоянного тока 12 В или сети переменного тока 220 В. Потребляемая мощность не более 100 Вт. Размеры 425×130×330 мм, вес 13 кг, энергия лазерного излучения в трех каналах ОКГ не менее 450 Дж. Длина волны излучения 1,06 мкм, длительность импульса в канале ОКГ – 12 нс.

Результаты исследований являются основой для экспериментальной доработки системы в целом и проведения опытно-промышленных испытаний.

Список литературы

1. Бриш А.А., Галеев И.А., Зайцев Б.Н. и др. Возбуждение детонации конденсированных ВВ излучением оптического квантового генератора // Физика горения и взрыва. – 1966. – № 3. – С. 132–133.
2. Бриш А.А., Галеев И.А., Зайцев Б.Н. и др. О механизме инициирования конденсированных ВВ излучением ОКГ // Физика горения и взрыва. – 1969. – № 4. – С. 475–480.
3. Sobolev V. OPSIN – a new system of blast-hole change blasting in explosives / V. Sobolev, A. Chernay, N. Studinski // 5-th International symposium on mine planning and equipment + selection. San Paulo. – Brazil, 1996. – P.441–443.

УДК 534.2

Куливар В.В. студент гр. ГБ-15-1М

Соболев В.В. д.т.н., профессор кафедры строительства, геотехники и геомеханики
(Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск,
Украина)

ЭФФЕКТ ПРОНИКАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ В МЕТАЛЛЫ НА СВЕРХБОЛЬШИЕ ГЛУБИНЫ

Исследования новых явлений и закономерностей в области физики и химии ударно-волновых процессов представляют большой научный и практический интерес для специалистов, решающих технические проблемы применения взрыва и ударных волн в горном деле, различных направлениях в машиностроении, науках о Земле, военном деле и др.

Ударные волны в зависимости от физических параметров и физико-химических характеристик твердого тела, в котором они распространяются, могут принципиально изменять структуру вещества на субкристаллическом, атомном и электронном уровнях. Характерной особенностью ударно-волнового процесса является короткое время (10^{-12} с) нарастания высокого давления и примерно такого же порядка время действия фазы сжатия вещества во фронте ударной волны, что превышает время возможных элементарных химических реакций. Кроме этого, распространяются ударные волны со скоростью всегда превышающей скорость распространения упругих волн в данном веществе.

Причиной возникновения ударных волн в твердых телах может быть воздействие мощного лазерного излучения, контактное действие взрыва заряда взрывчатого вещества, высокоскоростное соударение твердых тел как макро- так и микроскопических размеров, при этом воздействие на твердое тело осуществляется одиночными ударниками (металлические пластины, шарики), а в случае использования микрочастиц применяют главным образом коллективное метание (детонационное напыление, взрывное легирование, взрывное ускорение кумулятивными зарядами и т.п.).

Взрывное ускорение микрочастиц кумулятивными зарядами бризантных взрывчатых веществ относится к наименее изученным процессам, особенно в случае метания микрочастиц размером менее 200 мкм и проникания их в металлические мишени на сверхбольшие глубины (явление СГП) [1]. Микрочастицы порошка, размещенные в кумулятивной выемке взрывного ускорителя, в результате сжатия кумулятивной полости, претерпевают интенсивное трение, сильные деформации, нагрев, но при этом в процессе сжатия и разгона не образуют сплошную кумулятивную струю, а остаются в дискретном состоянии. Как мы предполагаем, причиной является трибоэлектрический эффект: каждая микрочастица в результате интенсивного трения приобретает максимальный поверхностный заряд. Поскольку микрочастицы изготовлены из одного материала, то знак заряда будет либо отрицательным, либо положительным для всех микрочастиц. За счет отталкивания одноименных зарядов микрочастицы не объединяются в крупные агрегаты, представляя собой поток дискретных частиц.

Особенностью обработок в режиме сверхглубокого проникания (СГП) является совместное действие на микроструктуру металлов динамического давления, проникающих микрочастиц и высокоэнергетических тяжелых ионов [2]. Экспериментально установлено [3], что эффект сверхглубокого проникания микрочастиц является результатом движения микрочастиц в объеме металлической

преграды с предварительно дестабилизированной микроструктурой, вызванной действием ударных волн, что способствует значительному увеличению масштаба зон с фазовыми и структурными превращениями.

Цель работы – изучить закономерности проникания микрочастиц свинца и карбида кремния в преграды, изготовленные из алюминия и сплава алюминия с 12% кремния.

Поток микрочастиц фракций 10...100 мкм останавливается в алюминиевой мишени на глубине ~100 мм, а в мишени из сплава АК–12 микрочастицы проникают на максимальную глубину 160...180 мм. Вероятно, это обусловлено различными значениями механических констант исследуемых материалов.

Исследования материалов, подвергнутых импульсному воздействию сгустком микрочастиц, показали существенную перестройку в структуре алюминия и его сплавов. Так, в канальных зонах, сформированных вдоль пути проникающих микрочастиц, обнаружены прилегающие к центральной части зон новые нанокристаллические фазы. Механизм возникновения таких фаз, вероятно, обусловлен спонтанным зародышеобразованием при "пересыщении" жидкой системы и связан непосредственно с флуктуационными явлениями. Таким образом, в процессе СГП в материале мишени вдоль "трассы" микрочастицы формируется новая структура. В пространстве такая структура представляет собой коаксиально расположенные зоны новообразованных фаз и перестроенной структуры материала мишени.

Зависимости значения микротвердости Al и сплава АК–12 от глубины проникания микрочастиц карбида кремния показаны на рис.1.

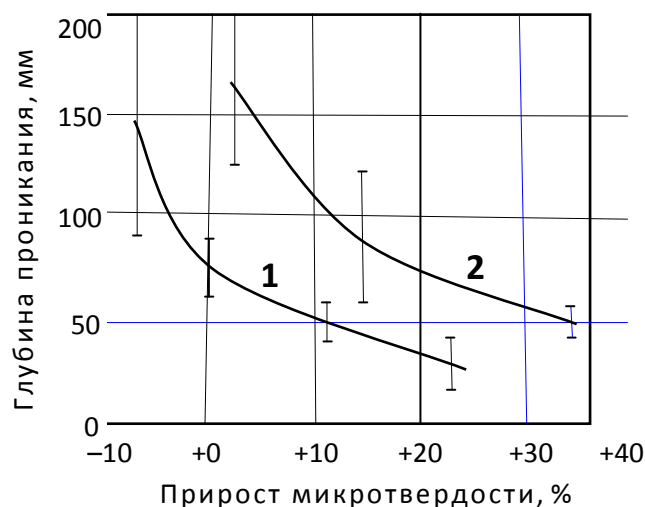


Рисунок 1. Изменение микротвердости алюминия и его сплава от глубины проникшей микрочастицы; 1 – алюминий; 2 – сплав алюминия с 12% кремния

Микротвердость по длине образцов сплава АК–12 увеличивается: на глубинах от 40 до 60 мм составляет 35%, на глубинах 60–120 мм – 15%; в дальнейшем до глубины 200 мм прирост снижается до 4%.

В образцах алюминия увеличение микротвердости на 22% произошло до глубины 40 мм, а затем прирост снижается до 11% на глубине 60 мм и 0% на глубине 80 мм. Далее при расстояниях от поверхности, начиная с 80 мм до 200 мм, наблюдается снижение микротвердости относительно исходной величины примерно на 7%.

Металлофизический анализ микроструктуры алюминия до и после ударно-волнового легирования алюминия и его сплава элементами микрочастиц выявил две армирующие зоны, с преимущественной ориентировкой вдоль и поперек направления проникающих микрочастиц. Зоны, образованные в поперечном направлении, вероятно, являются результатом прохождения микрочастиц, изменивших траекторию движения в

результате торможения. Однако не исключена возможность образования тяжелых ионов, которые изменяют микроструктуру вокруг траектории собственного пути перемещения в радиусе нескольких сотен межатомных расстояний.

Доля поперечных каналов в алюминии и его сплавах составляет ~20% от количества продольных зон. Диаметр поперечных зон составляет 2...10 мкм, плотность не превышает 400 мм^{-1} , т. е. доля новой структуры не превышает 1%. Такого содержания армирующего материала недостаточно, чтобы существенно влиять на свойства композиционной системы.

Для выявления новообразованных фаз используется электрохимическое травление. Зоны легко выделяются при шлифовке и полировке, поскольку механические, химические и физические свойства материалов в зонах движения микрочастиц заметно отличаются от свойств материала преграды. Зоны каналов, образовавшиеся при взаимодействии алюминиевой мишени с частицами свинца, растворяются значительно медленнее, чем алюминий. Фазы в этих зонах выделяются над поверхностью шлифа и имеют другую отражательную способность. В зонах, возникших при взаимодействии алюминия с микрочастицами SiC, процесс растворения идет значительно быстрее, чем в алюминии. Поэтому контуры этих зон хорошо видны, они находятся ниже поверхности шлифа и имеют одинаковую с матрицей отражательную способность. Объем армирующего материала в алюминиевой матрице составляет примерно 8...10 %. При такой доле армирующего материала можно предполагать его заметное влияние на свойства композиционной системы в целом.

Полученные зависимости изменения скорости коррозии в стационарных условиях, рис. 2, могут быть объяснены следующим образом. Без наложения внешнего электрического тока коррозия алюминиевого сплава в кислой среде протекает с водородной поляризацией. Возникают микрогальванические пары, роль катодных участков принадлежит более электроположительным зернам кремния, анодные участки – алюминий. На катодных участках происходит передача электронов от окисляемого алюминия к восстанавливаемым ионам H^+ . Проведение обработки порошком SiC приводит к появлению на поверхности электрода зон, обогащенных углеродом, который является электроположительной примесью, а также будет являться катодным участком. В отличие от кремния, углерод электропроводен и обладает значительно более низким перенапряжением выделения водорода. Это облегчает процесс передачи электронов и приводит к ускорению процесса коррозии. Небольшая латентность в первые 100 мин, по-видимому, может быть обусловлена закрытостью зон поверхностными оксидами, которые с течением времени растворяются, обнажая на поверхности островки углерода.

Насыщение поверхности алюминиевого сплава такой электроположительной примесью как свинец приводит к увеличению скорости коррозии электрода, что обусловлено большей разностью потенциалов алюминия и свинца по сравнению с парой алюминий-графит. Однако при длительном воздействии коррозионной среды на образец, обогащенный свинцом, скорость коррозии образца снижается, а изменение массы образца существенно уменьшается. На стадии 350-1100 минут скорость коррозии таких образцов при длительном воздействии среды становится значительно ниже, чем у образцов, обработанных SiC, и приближается к скорости коррозии необработанного алюминия в диапазоне времени 1100 минут. Скорость коррозии образцов, обработанных в режиме СГП порошками SiC, после 1100 минут продолжает увеличиваться – $18 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, т.е. по сравнению с начальной стадией увеличилась в 4,27 раза.

Скорость коррозии образцов, обработанных в режиме СГП сгустками Pb (после 1100 минут травления) стабилизируется на уровне $13 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, т.е. по сравнению с начальной стадией (до 100 мин) выросла в 3,08 раза. Затем скорость коррозии материала, обработанного свинцом, становится ниже по сравнению со скоростью травления исходного материала и остается практически постоянной еще ≈ 800 мин.

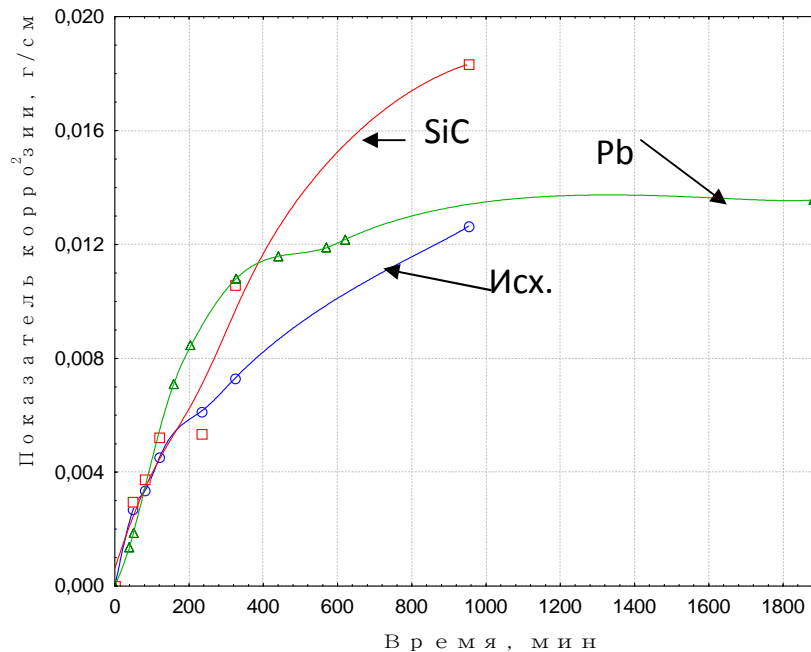


Рисунок 2. Изменение во времени массового показателя коррозии образцов, изготовленных из исходного сплава АК-12, и после обработки этого сплава карбидом кремния (SiC) и свинцом (Pb): а – в течении 350 минут, б – в течении 1800 минут

Рост скорости коррозии исходного материала на последней стадии составил 6,34 раза. Таким образом, кривые потери массы при коррозии в большом интервале времени (≈ 1800 минут) для исходного материала и образцов из сплава АК12 при обработке порошками SiC или Pb существенно отличаются, как будто образцы из разных матричных материалов. Представленные объяснения полученных результатов являются довольно грубыми. Например, доказано, что реальный химический состав образца, обработанного свинцом, получается в зонах армирования формируемого композиционного алюминиевого материала сложным и неравномерным [1].

В объеме металлических мишеней при длительном воздействии (200 – 300 мкс) ударных волн создаются условия дополнительного энергетического насыщения структурного пространства. В состоянии дестабилизации и приобретенного запаса дополнительной внутренней энергии микроструктура металла приобретает новые физические свойства. Например, способность "легко" выделять часть внутренней энергии на активизацию и значительное увеличение масштаба физико-химических превращений, стимулированных проникающими в металл твердыми микрочастицами и высокоэнергетическими тяжелыми ионами. Металлическая мишень в результате таких воздействий оказывается пронизанной линейными каналами (зонами) на глубину до 200 мкм, образованными нанокристаллическими фазами и новыми структурами. Формирование таких структур в материале мишеней происходит вдоль траектории движения твердых микрочастиц и высокоэнергетических ионов, устойчиво регистрируемых в режиме сверхглубокого проникновения

Список литературы

1. Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. – Минск: НИИ ИП с ОП, 1998. – 210 с
2. Некоторые закономерности процесса сверхглубокого проникновения твердых микрочастиц в металлы / В.В. Соболев, В.И. , С.М. Ушеренко // Strategy of Quality in Industry and Education // X International Conference. June 6-13, 2014, Varna, Bulgaria. –, Varna, 2014. – Pp. 152–160.
3. Соболев В.В. Физика сверхглубокого проникновения микрочастиц в металлы / В.В. Соболев, С.М. Ушеренко // Межд. Конф. Ударные волны в конденсированных средах, Киев, Украина, 16-21 сентября 2012. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2012. – С. 171–179.

Причина Е.С., кафедра строительства, геотехники и геомеханики
(Государственный ВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепропетровск, Украина)

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА ОТ ОТМЕТКИ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

При выполнении исследования преследовалась цель для условий склона балки Тоннельная в г. Днепропетровске, на которой была опробована усовершенствованная методика расчета устойчивости [1], установить зависимость между коэффициентом устойчивости склона и отметкой уровня грунтовых вод.

Для этого были использованы данные и линии скольжения, полученные в ходе расчета склона по методике на основе гипотезы о представлении линии скольжения в виде степенной функции [1-2]. Линии характеризуют четыре случая обрушения:

- несоблюдение равновесия удерживающих ($T_{уд}$) и сдвигающих сил ($T_{сдв}$);
- несоблюдение равновесия удерживающих и сдвигающих сил по оси ОХ;
- несоблюдение равновесия удерживающих и сдвигающих сил по оси ОУ;
- несоблюдение равенства удерживающего и опрокидывающего моментов.

Аналогичный набор данных для расчета, но с уже учетом координат линий скольжения был заложен в расчет по методу ломаной поверхности скольжения.

Сначала были рассчитаны коэффициенты устойчивости ($K_{уст}$) для каждой линии скольжения при последнем зафиксированном уровне грунтовых вод [3-4]. Далее были выполнены расчеты устойчивости с учетом повышения уровня грунтовых вод до ближайшей верхней границы раздела слоев до тех пор, пока не было достигнуто состояние полностью обводненного склона.

После того, как были получены результаты в виде коэффициента устойчивости для всех значений отметок уровня грунтовых вод (УГВ), для каждой линии УГВ было найдено среднее значение ее отметки от дневной поверхности (табл.1). Далее для четырех случаев обрушения склона были построены зависимости между значениями коэффициентов устойчивости склона и усредненными отметками уровня грунтовых вод. Один из случаев представлен на рис. 1-2.

Таблица 1

Координаты кривой зависимости коэффициента устойчивости от отметки уровня грунтовых вод

Усредненные отметки уровня грунтовых вод, м	$K_{уст}$ склона как отношение $T_{уд}/T_{сдв}$	$K_{уст}$ склона как отношение $T_{уд}/T_{сдв}$ по оси ОХ	$K_{уст}$ склона как отношение $T_{уд}/T_{сдв}$ по оси ОУ	$K_{уст}$ как отношение удерживающего и опрокидывающего моментов
3,46	1,420	1,410	1,135	1,460
1,57	1,395	1,382	1,135	1,430
0,60	1,364	1,352	1,135	1,426
0,01	1,049	1,037	0,751	1,087

Полученные графики свидетельствуют о том, что коэффициент устойчивости склона находится в логарифмической зависимости от отметки уровня грунтовых вод с величиной достоверности аппроксимации в промежутке $R^2 = 0,92-0,98$ для всех четырех случаев потери склоном состояния устойчивости. При этом при отметке УГВ,

соответствующей полному водонасыщению, наблюдается обрыв в значении коэффициента устойчивости. При отсутствии отметки абсолютного водонасыщения склона в построении зависимости величина достоверности аппроксимации равна $R^2 = 0.999(9)$.

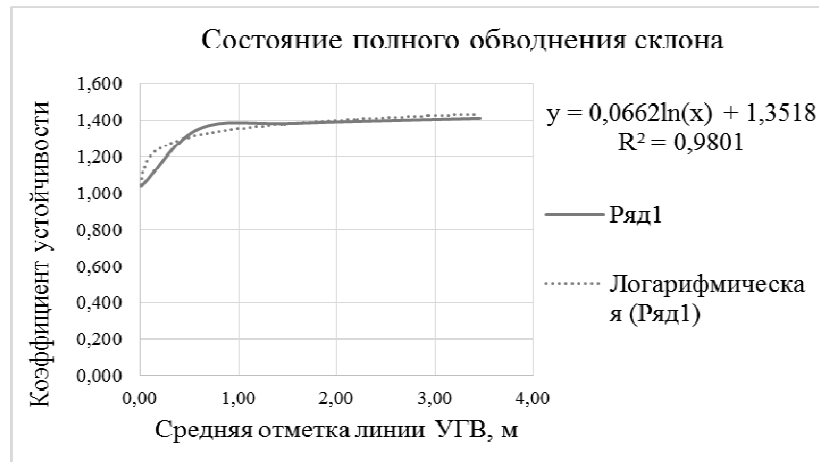


Рисунок 1 – Зависимость между значениями коэффициентов устойчивости склона и отметками уровня грунтовых вод при несоблюдении равновесия удерживающих и сдвигающих сил по оси ОХ

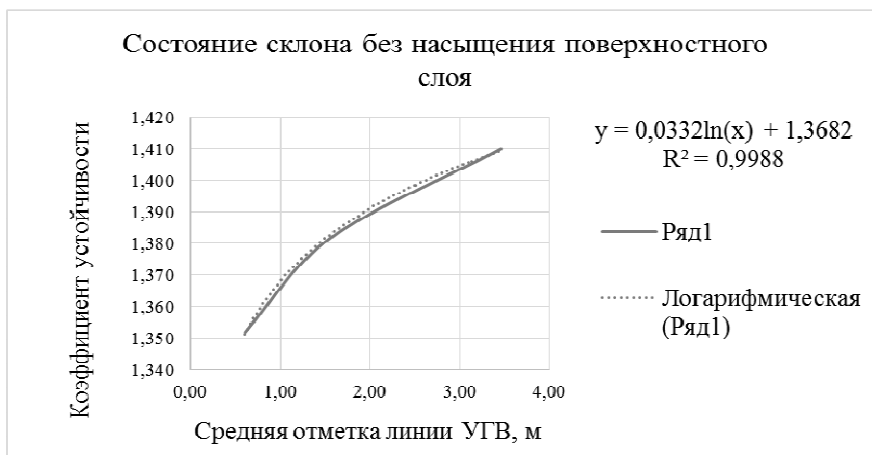


Рисунок 2 – Зависимость между значениями коэффициентов устойчивости склона и отметками уровня грунтовых вод (без насыщения поверхностного слоя) при несоблюдении равновесия удерживающих и сдвигающих сил по оси ОХ

Список литературы

1. Определение коэффициента устойчивости откосов и склонов в рамках гипотезы о поверхности скольжения в виде степенной функции / Шаповал В.Г., Шаповал А.В., Причина Е.С. // Світ геотехніки. – Запоріжжя: 2014. – Вип. 4(44). – С. 22 – 26
2. Науково-технічний звіт по об'єкту: "Інженерний захист правого схилу балки Тунельна в районі залізничного тунелю в м.Дніпропетровську, вишукувальні роботи". (в трьох книгах) Книга 2 – інженерно-геологічні роботи (текст звіту з табличними, текстовими і графічними додатки). - «Укрвосток-ГІІНТИЗ», Днепропетровский филиал, г. Днепропетровск, 2010г.
3. Шаповал В.Г., Седин В.Л., Шаповал А.В., Моркляник Б.В., Андреев В.С. Механика грунтов. Учебник. Днепропетровск: Пороги, 2010- 168 с..
4. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Хозяйкина Н.В. Механика грунтов: учебный посібник. К.: Новий друк, 2008. - 128 с. іл. Рос.

УДК 622.268.2

Прокудин А.З., аспирант каф. строительства, геотехники и геомеханики
Солодянкин А.В., д.т.н., проф., профессор каф. строительства, геотехники и геомеханики

(Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина)

ТОРКРЕТ ТЕХНОЛОГИИ В КАЧЕСТВЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПИКОТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ТАМПОНАЖЕ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

Капитальные горные выработки предназначены для транспортировки горной массы, материалов и перевозки людей при отработке запасов крыла или горизонта шахты. Такое назначение выдвигает высокие требования к устойчивости и пригодности технического состояния выработок на весь период эксплуатации. Однако в связи с тяжелыми горно-геологическими условиями Западного Донбасса [1,2], достичь последнего как показал опыт [3], является сложной задачей. Существующие крепи не в полной мере справляются с проявлением горного давления, что требует их совершенствования, модернизации или разработки принципиально новых их типов. Все большее предпочтение отдается мероприятиям, направленным на создание взаимодействующей системы "крепь-массив". На практике такие мероприятия реализуются в виде рамно-анкерных или металлических крепей с заполнением закрепного пространства твердеющими материалами. Основной принцип их работы заключается в обеспечении плотного контакта рамной крепи с приконтурным массивом и его упрочнении, в результате чего происходит более равномерное распределение нагрузки и рациональней используется материал самой крепи [4,5].

На шахтах Западного Донбасса, при креплении капитальных горных выработок, наибольшее распространение получила металлическая арочная крепь, зачастую с обратным сводом и железобетонной затяжкой межрамного пространства, с последующим тампонажем закрепного пространства. Многолетний опыт ее применения в рассматриваемых условиях, свидетельствует о высокой ее эффективности [6,7]. Одним из важных вопросов при возведении такой крепи является оптимальное отставание тампонажа от плоскости забоя. Данные исследований в этом направлении [8-11], весьма не однозначны, поэтому было принято решение провести ряд натурных наблюдений с целью уточнения рассматриваемого параметра, результаты которых представлены в работах [12,13]. Из них следует, что целесообразно производить тампонаж закрепного пространства на расстоянии не более 30...40 м от плоскости забоя выработки.

Однако большая доля ручного труда (в частности заделка щелей между смежными затяжками и рамой крепи), при производстве тампонажных работ, приводит к большому отставанию их от забоя. При этом уже реализуются значительные смещения породного контура, происходит деформация и разрушение элементов крепи, что делает невозможным проведение тампонажа без предварительного производства ремонтных работ. В работе [14], было предложено механизировать столь трудоемкую операцию посредством применения технологии торкретбетонирования. Опытное-промышленное внедрение данной технологии показало, что для выполнения пикотажных и тампонажных работ достаточно задействовать трех человек, при этом темпы их проведения составляют более 80 м.п./мес., и соизмеримо с темпами проведения выработки [13].

В ходе проведения исследований установлено оптимальное расстояния проведения тампонажа закрепного пространства, которое возможно только при

использовании механизированного пикетажа и составляет не более 30...40 м от плоскости забоя выработки. Такое своевременное выполнение тампонажных работ позволит вовремя обеспечить плотный контакт крепи с породным массивом и равномерно распределить нагрузку от горного давления на всю конструкцию арочной крепи, тем самым предотвратить её деформацию и продлить срок службы.

Список литературы

1. Выгодин М.А. Особенности деформирования слабометаморфизированных пород вокруг протяженных выработок шахт Западного Донбасса / М.А. Выгодин, А.В. Солодянкин, Е.В. Масленников, А.В. Мартовицкий, Р.Е. Алтухов, В.В. Панченко // Матеріали міжнар. конф. "Форум гірників - 2011". – Дніпропетровськ, 2011. – С. 50-57.
2. Рева С.Н. Исследование свойств и трещиноватость боковых пород, как основы для выбора рациональных крепей шахт Западного Донбасса. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04. - Днепропетровск, 1971. - 18 с.
3. Мартовицкий А. В. Обоснование комплекса эффективных мероприятий по повышению устойчивости выработок шахт ПАО "ДТЭК Павлоградуголь" / А. В. Мартовицкий // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2012. т.№ 3.-С.45-53
4. Максимов А.П., Евтушенко В.В. Тампонаж горных пород. Москва: Недра, 1978. 180 с.
5. Мусиенко С.П. Некоторые аспекты применения тампонажа при возведении геоконструктивных охранных систем горных выработок /С.П. Мусиенко, С.А. Кучеренко, С.Д. Гребенюк // Межведомственный сборник научных трудов «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2009. – В.83. – С.122-130.
6. Выгодин М.А. Обоснование параметров армопородных грузонесущих конструкций на базе рамно-анкерных крепей и технология их сооружения в выработках шахт Западного Донбасса. Дис...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1990. – 215 с.
7. Мартовицкий А.В. Геомеханические процессы при отработке угольных пластов струговыми комплексами в условиях шахт Западного Донбасса. Дис...докт. техн. наук: 05.15.09. – Днепропетровск, 2012. – 215 с.
8. Симанович Г.А. Методика определения условий применения тампонажа горных выработок / Г.А. Симанович, А.М. Симанович // Шахтное строительство. – 1985. - № 11. – С. 15-17.
9. Симанович Г.А. Рациональный способ тампонажа закрепного пространства горных выработок / Г.А. Симанович, С.В. Зиньковский // Шахтное строительство. – 1985. - № 1. – С. 15-16.
10. Заславский И.Ю. Экспериментальные исследования эффективности тампонажа закрепного пространства / И.Ю. Заславский, Н.Ф. Бородуля, С.Л. Резник, А.Г. Файвишенко // Шахтное строительство. – 1986. – № 4. – С. 14 -16.
11. Максимов А.П. Использование несущей способности пород в приконтурной зоне // Крепление, поддержание и охрана горных выработок. – Сб. науч. тр. ИГД СО АН СССР. – Новосибирск. – 1983. – С. 5-7.
12. Солодянкин А.В. Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, В.В. Коробченко, А.В. Смирнов, А.З. Прокудин // Щорічний науково-технічний збірник "Розробка родовищ - 2014". – Дніпропетровськ, 2014. – С. 171-178.
13. Солодянкин А.В. Шахтные исследования геомеханических процессов при проведении протяженных выработок в сложных горно-геологических условиях ПСП «Шахта имени Героев Космоса» / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, А.З. Прокудин // Щорічний науково-технічний збірник "Розробка родовищ - 2015". – Дніпропетровськ, 2015. – С. 349-354.
14. Прокудин А.З. Оптимизация технологических параметров крепления протяженных горных выработок в условиях ПСП «Шахтоуправление имени Героев Космоса» / А.З. Прокудин // Матеріали ХІ міжнародної науково-технічної конференції "Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин". – Кременчуг, 2015. - С. 100-102.

Логунова А.О., каф. строительства, геотехники и геомеханики
(Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск,
Украина)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛА ПАДЕНИЯ ПОРОД НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ

Устойчивость подготовительной выработки может быть обеспечена путем возведения систем рамно-анкерной крепи и соответствующих охранных конструкций со стороны лавы. Их различные комбинации позволяют достичь требуемого уровня сохранности повторно используемой выработки [1-5]. Но, поскольку угол падения пласта в пределах шахтного поля обрабатываемого шахтами ГП «Селидовуголь», меняется в пределах 6-18 градусов, то целью изложенного ниже этапа численных расчетов является оценка НДС системы «выработка – крепь – охранный конструкцией» при различных углах падения массива, которые принимались равными 0, 5, 10, 15, 20 и 25 градусов.

Для решения поставленной задачи использовался постадийный метод «нагружения», включающий 27 стадий расчёта. На первой стадии выполнялось численное моделирование нетронутого массива, на пятой стадии выполнялось моделирование установки анкеров 1-го уровня (в забое), на 6 стадии моделировалась установка рамной крепи, на 15 стадии установка в модель анкеров 2-го уровня – канатного (6) и стального анкера (7), установленных в кровлю выработки

На рис.1 Примеры общего вида модели на 1 этапе для случая падения угольного пласта разных углах падения.

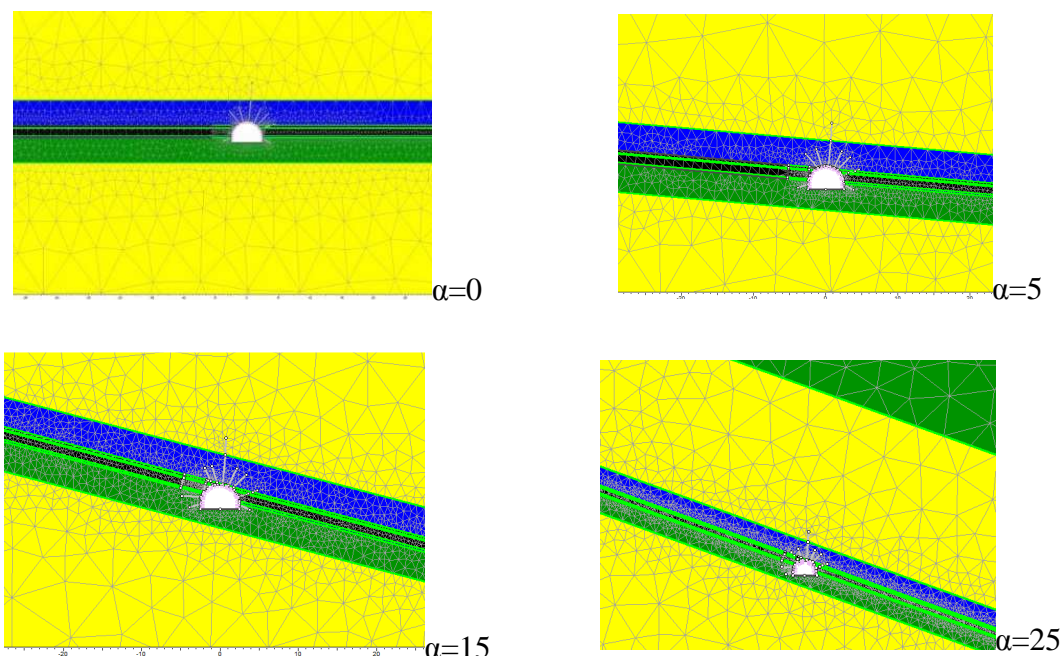


Рисунок 1. Пример общего вида модели на 1 этапе для случая падения угольного пласта разных углах падения

Результаты по перемещениям были сведены в табл. 1.

Из рис.2. видно, что при увеличении угла падения перемещения в почве практически не изменяются в диапазоне от 0 до 10 градусов, возрастая в диапазоне от 15 до 20 градусов.

Подобное поведение показывают и смещения в бортах выработки: в диапазоне – интенсивность изменения смещений также возрастает при величине угла падения, равном 15 градусам. При этом смещения с левого борта (со стороны лавы) начинают незначительно интенсифицироваться уже при достижении угла падения 5 градусов

Таблица 1.

Перемещения (27 стадия) при различных углах падения пласта.

смещения	углы падения					
	0	5	10	15	20	25
кровля	0,42	0,47	0,49	0,57	0,55	0,58
почва	1,50	1,57	1,69	1,66	2,07	2,15
левый бок	0,17	0,18	0,27	0,26	0,47	0,66
правый бок	0,16	0,17	0,18	0,2	0,37	0,51

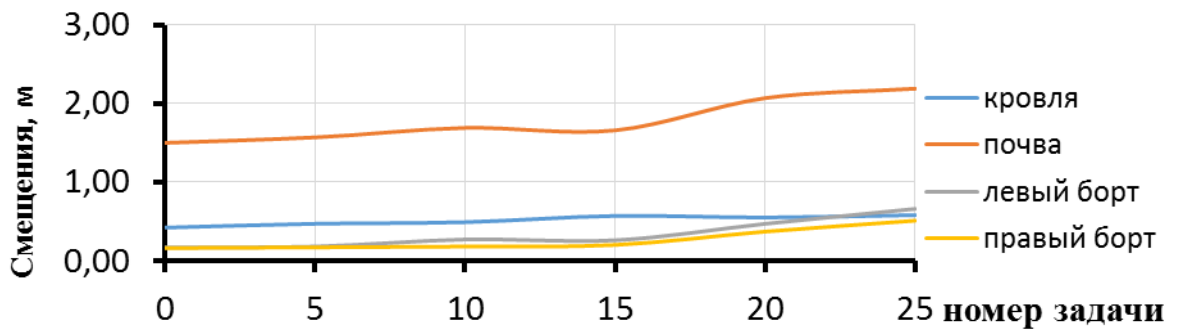


Рисунок 2. График смещений в на контуре выработки в зависимости от угла падения угольного пласта

В отличие от смещений по кровле и в бортах выработки, смещения в почве практически равны на всем диапазоне рассмотренных углов падения пласта.

Список литературы

1. Тупиков Б.Т. Устойчивость пластовых выработок в массиве на больших глубинах / Б.Т. Тупиков, В.Ф. Компанец // Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 28-32.
2. Халимендигов Е.Н., Янжула А.С., Халимендик А.В. Анализ состояния капитальных горных выработок в районе геологического нарушение типа «сброс» на примере «ШУ «Покровское». Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників-2011”. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2011. – С. 63-67.
3. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно – анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск, 2002.-372с.
4. Гапеев С.Н., Халимендик А.В., Халимендик А.В. К вопросу повышения устойчивости протяженных выработок и их сопряжений в условиях больших глубин разработки. Материалы 6-й Международной конференции. «Перспективы освоения подземного пространства» – Днепр.: НГУ, 2012 – С. 13-16.
5. Демин В.Ф., Терещук Р.Н.. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород вблизи горной выработки с анкерным креплением// Форум гірників – 2013: матеріали між нар. конф., 2-5 жовт. 2013р., м. Дніпропетровськ. – Д: Національний гірничий університет, 2013. – Т.2., с. 63-69.