

УДК 622.001.5.061.6162.53.083.082.3

Бедарев Николай Тимофеевич, доцент, к.т.н.  
Любимов Олег Владиславович, доцент, к.т.н.  
(Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске)  
Bedarev Nikolay, associate professor, PhD  
Lyubimov Oleg, associate professor, PhD  
(Prokopyevsk branch of KuzSTU)

**НОВЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ ИЗ  
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО  
МАССИВА ПРИ ИМИТАЦИИ ОТРАБОТКИ СИНКЛИНАЛЬНЫХ  
СКЛАДОК С НАЛИЧИЕМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

**NEW RESOURCES FOR APPLICATION OF MODELS FROM  
EQUIVALENT MATERIALS FOR RESEARCH OF STRESS-STRAIN  
STATE OF THE MINING MASSIF DURING THE IMITATION OF THE  
DEVELOPMENT OF SYNCLINES WITH GEOLOGICAL  
DISLOCATIONS**

Общеизвестно, что проведение в условиях шахт и рудников натурных исследований напряженно-деформированного состояния горного массива остается сложным по причине дороговизны и длительности в различных горно-геологических условиях. Это тем более важно, что в случае нового горнодобывающего предприятия выбор средств механизации должен в целом быть определен до начала его строительства.

Существенным дополнением, а иногда практически альтернативой вышеназванным исследованиям является использование физических моделей из эквивалентных материалов, отличающихся относительной малозатратностью, достоверностью и наглядностью, сопоставимой с результатами математического моделирования [1, 2].

В Прокопьевском филиале Кузбасского государственного технического университета накоплен большой опыт проведения исследований отработки мощных крутых пластов [3 - 6] на моделях из эквивалентных материалов; на основании проведенных исследований был получен патент [7].

Поскольку в Кузбассе имеются многочисленные залежи пластов в синклинальных и антиклинальных складках, было принято решение о проведении соответствующих исследований [8]; предложены методы и средства для имитации отработки синклинальных складок на моделях из эквивалентных материалов.

С целью обеспечения возможности имитации отработки полезных ископаемых, залегающих в виде синклинальных складок предложено устройство (рис. 1) [9], включающее стенд 1, выполненный из металлических профилей в виде прямоугольника с отверстиями для крепления опалубки; передвижную опалубку 2, выполненную из съемных профилей также с отверстиями для поэтапного крепления ее с двух сторон стендса по мере послойной укладки материала-эквивалента полезного ископаемого 3 и вмещающих пород 4, 5, 6, места под дополнительные приспособления для имитации напора недостающего материала-эквивалента 7. Стенд снабжен дополнительными прорезями 8 для удобства передвижки и крепления опалубки 2, повторяющей контур синклинальной складки и выполненной из двух шарнирно соединенных частей, устанавливаемых параллельно крутой и пологой ветвям синклинальной складки, также дополнительно снабженных прорезями 9 для удобства изменения углов наклона крутой и пологой частей синклинальной складки и перемещения и укрепления опалубки на прямоугольном стенде; в центре оси синклинальной складки, над вмещающими породами, установлено ограждение 10, повторяющее размеры зоны нарушения 11, извлекаемое после формовки слоя, не искаженного геологическим нарушением, с последующим заполнением образовавшегося пространства материалом-эквивалентом смятых пород с заданными компрессионными характеристиками. При этом функцию оси синклинальной складки и одновременно направляющих ограждения, выполняют две параллельные струны 12, натянутые между верхней и нижней границами стендса 1.

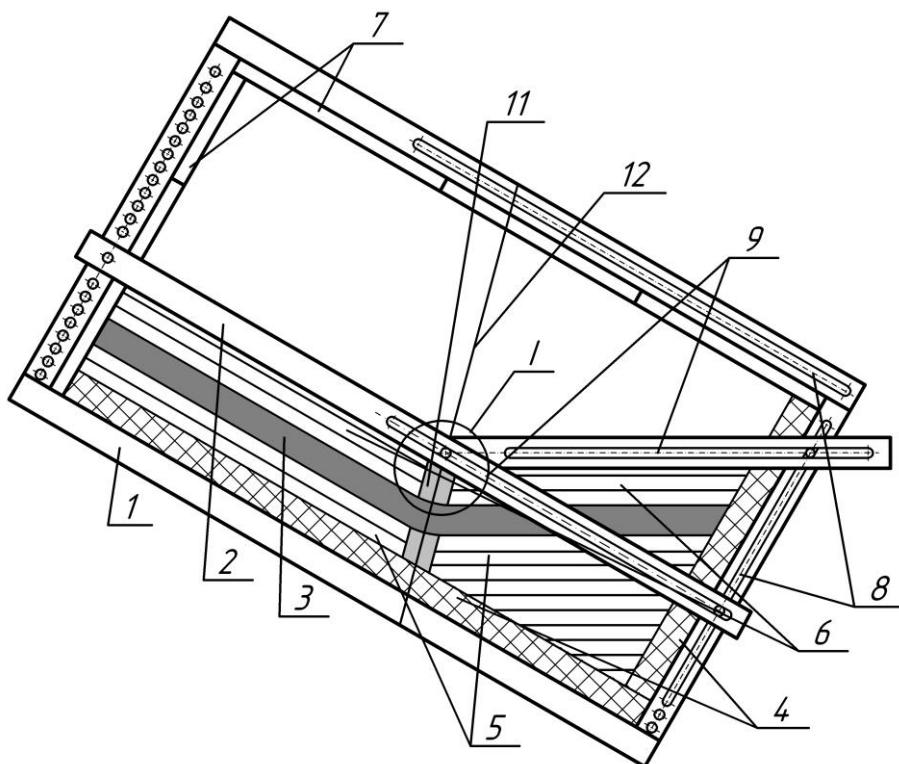


Рис. 1.

Первоначально по методике прототипа сформированы несколько слоев почвы 4. Далее, соответственно разворачивая стенду (рис. 1), в горизонтальном положении формируют слои почвы 5, а затем пласт полезного ископаемого 3 в соответствии с моделируемыми условиями залегания (крутою и пологую часть синклинали), и, наконец, слои кровли 6 пласта до мест под дополнительные приспособления для имитации напора недостающего материала-эквивалента 7. Слои почвы 4 совместно со сформированными местами под дополнительные приспособления для имитации напора недостающего материала-эквивалента 7 создают граничные условия модели (рис. 2).

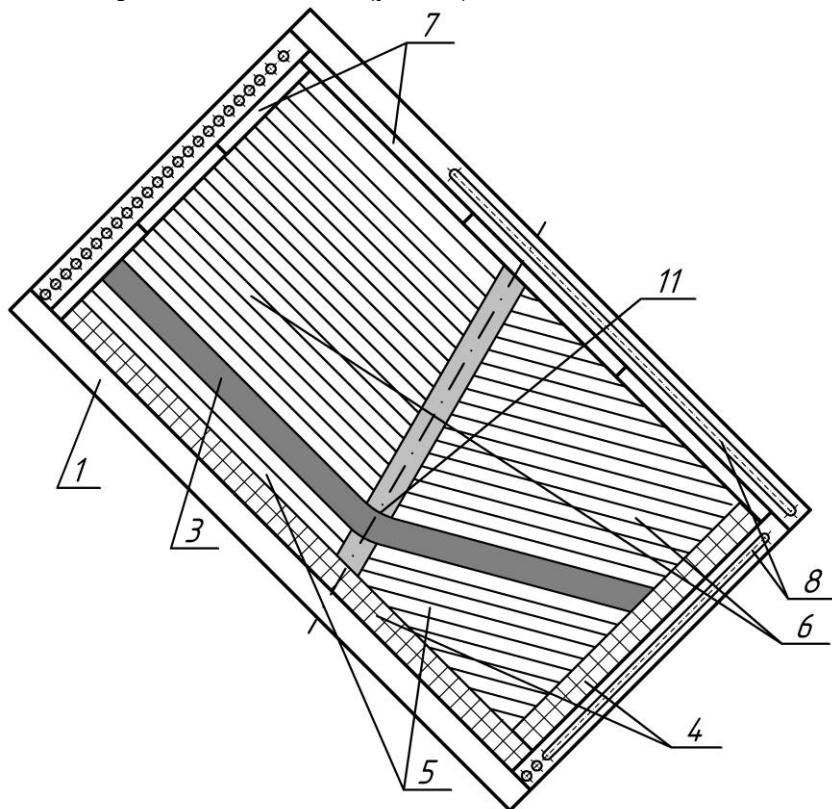


Рис. 2.

Для ориентации крутой и пологой частей используется ось синклинальной складки, визуализированная в виде двух параллельных струн 12, натянутых между верхней и нижней границами прямоугольного стенда 1 (рис. 1). Они же служат направляющими для ограждения 10 в зоне нарушения 11, повторяющего ее размеры и совместно с профилями стенда 1 и опалубкой 2 ограничивающего пространство, в котором формируются пласт 3, слои почвы 4 и кровли 5. После формирования очередного пласта ограждение 10 вынимается по направляющим струнам 12, а в зоне нарушения 11 размещается и трамбуется материал-эквивалент смятых пород с заданными компрессионными характеристиками (рис. 1, 2).

С целью снижения трудоемкости и повышения производительности при формировке моделей с наличием синклинальных складок, за счет облегчения формовки слоев синклинальной складки на первом этапе предложено устройство (рис. 3) [10], включающее стенду 1 в виде прямоугольника с

отверстиями 2 и прорезями 3 для перемещения и крепления опалубки, передвижную опалубку в виде двух шарнирно соединенных частей 4 и 5 также с отверстиями 6 и прорезями 7 с возможностью изменения углов наклона крутой и пологой частей синклинальной складки, поэтапного перемещения и крепления опалубки с двух сторон стенда по мере послойной укладки материала-эквивалента полезного ископаемого 8 и вмещающих пород: почвы 9 и кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки, установленное в центре оси синклинальной складки, над вмещающими породами ограждение 12, повторяющее размеры зоны нарушения, извлекаемое после формовки слоя, не искаженного геологическим нарушением, с последующим заполнением образовавшегося пространства материалом-эквивалентом смятых пород с заданными компрессионными характеристиками, места под дополнительные приспособления 13, имитирующие напор недостающего материала-эквивалента. На этапе формовки горизонтальных слоев кровли дополнительная поперечная пластина 14 и ограждение 12, повторяющее размеры зоны нарушения, зажаты между частями передвижной опалубки 4 и 5 на всю длину формовки горизонтальных слоев кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки. Передвижная опалубка дополнена боковыми пластинами, имеющими форму, учитывающую конечные параметры синклинали и зоны нарушений, и снабженными в нижней части перекрываемыми отверстиями для удержания – выпуска сыпучего материала 17.

Первоначально на слоях неструктурированного материала, расположенных по длинной и короткой стороне стенда 1, формируется почва 9. Далее, соответственно разворачивая стенд 1, формируют пласт ископаемого 8 в соответствии с моделируемыми условиями залегания.

Для реализации этапа формовки горизонтальных слоев кровли с наибольшей производительностью стенд 1 разворачивается в горизонтальное положение (фиг. 3, а). Прикрепляют через отверстия 2 и прорези 3 к стенду 1 расположенные с двух его сторон боковые пластины, имеющие форму, учитывающую конечные параметры синклинали и зоны нарушений, и снабженные в нижней части перекрываемыми отверстиями. Эти отверстия, будучи перекрытыми на данном этапе, служат для удержания сыпучего материала 17, которым заполняют пространство между боковыми пластинами, создавая тем самым опору для послойной укладки кровли.

Далее, дополнительная поперечная пластина 14 и ограждение 12, повторяющее размеры зоны нарушения, зажимаются под углом, зависящим от угла синклинальной складки, между частями передвижной опалубки 4 и 5 на всю длину формовки горизонтальных слоев кровли. Тем самым ограничивают пространство, в котором и осуществляют, при постепенном передвижении части 4 опалубки вверх, производительную формовку горизонтальных слоев послойной укладкой материала-эквивалента кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки.

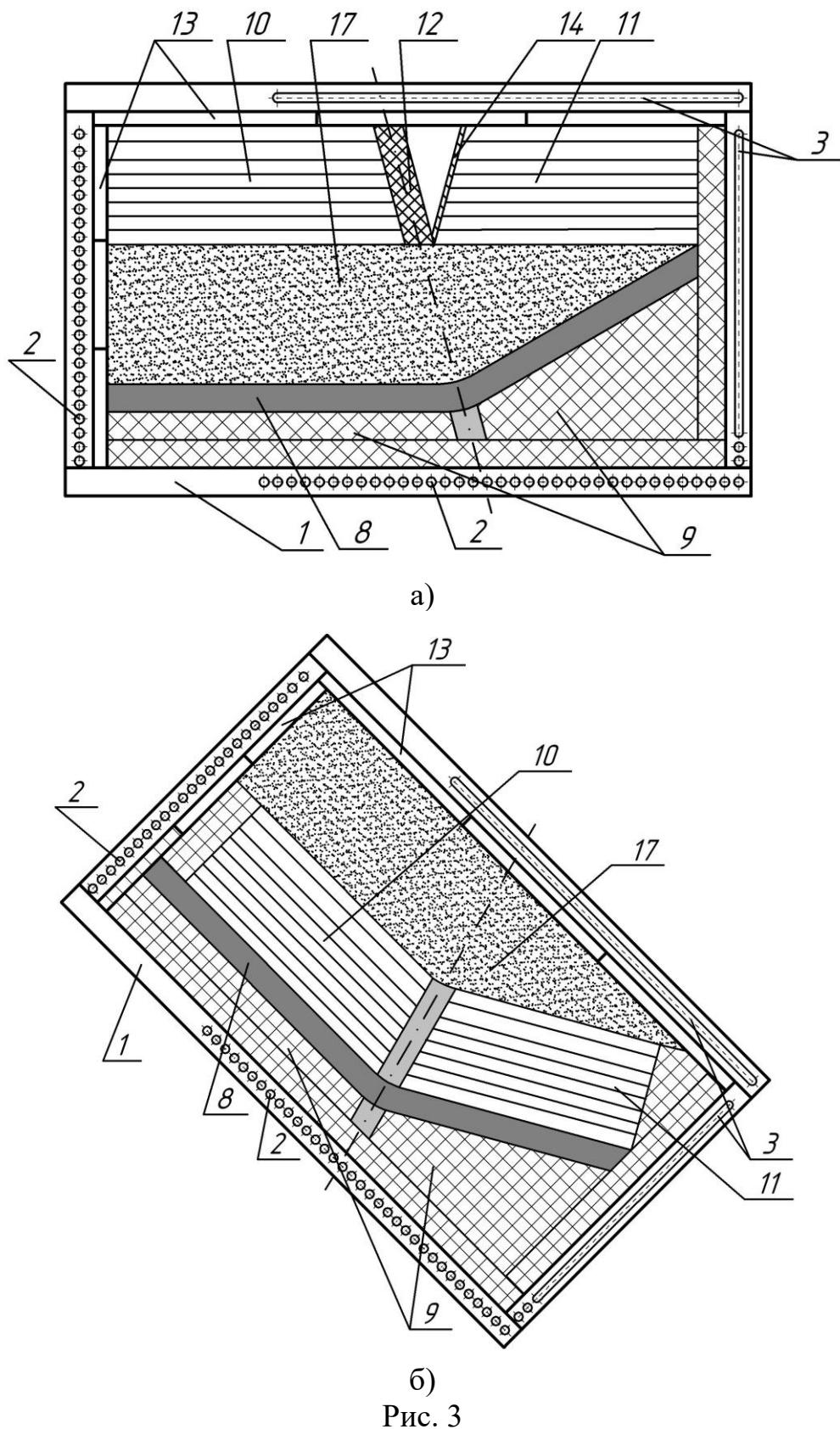


Рис. 3

Для дальнейшей подготовки модели к отработке отверстия в боковых пластинах открывают для выпуска сыпучего материала. При этом сформированные слои кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки начинают опускаться, занимая свое место в модели. Поскольку стенд

1 по-прежнему находится в горизонтальном положении, сформированные слои кровли крутой части 10 опускаются поступательно, а сформированные слои кровли пологой части 11 поворачиваются относительно своего угла. Дополнительная поперечная пластина 14, выполнившая свою функцию, извлекается до окончательного опускания, а ограждение 12, повторяющее размеры зоны нарушения,— после окончательного опускания заформованных слоев кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки, с последующим заполнением образовавшегося пространства материалом-эквивалентом смятых пород с заданными компрессионными характеристиками и с учетом угла разворота.

Далее, с сохранением мест под дополнительные приспособления 13, имитирующие напор недостающего материала-эквивалента, небольшие по размерам боковые зазоры между стендом 1 и опустившимися заформованными слоями кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки заполняют неструктурированным материалом. Выше опустившихся заформованных слоев кровли крутой 10 и пологой 11 частей синклинальной складки прикрепляют через отверстия 2 и прорези 3 боковые пластины, снабженные в нижней части перекрываемыми отверстиями. Эти отверстия, будучи вновь перекрытыми, служат для удержания сыпучего материала 17, создавая тем самым ограждение пород кровли. После этого полностью заформованная в устройстве, готовая к отработке модель разворачивается в рабочее положение (фиг. 3, б).

В процессе реализации физических моделей с применением вышеописанных средств решены следующие задачи.

1. Выявлен характер расслоения кровли, а также величины ее смещений в крутой и пологой части синклинальной складки, установлены зоны формирования повышенного горного давления и определены коэффициенты концентрации напряжений.

2. Зафиксировано место максимального смещения кровли в пологой части синклинальной складки и установлена его величина (в натуре).

3. Представлено возможным предотвращение перемещения горных пород, включая зону геологического нарушения, при управлении горным давлением в нижнем подэтаже крутой части синклинальной складки перепуском обрушенных пород, выполняющих роль закладочного массива.

4. Намечены дальнейшие исследования, направленные на изучение антиклинальных нарушений горного массива.

#### Список литературы

1. Kostyuk S., Bedarev N., Lyubimov O., Shaikhislamov A. The Mine Working's Roof Stress-strain State Research in the Perspective of Development of New Coal Deposits of Kuzbass. – E3S Web of Conferences **21**, 01002 (2017) The 2nd International Innovative Mining Symposium. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101002.

2. Семенцов В.В. Обоснование параметров разработки мощных крутых газоносных пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения системами с подэтажным обрушением и выпуском угля. Автореферат диссертации к.т.н. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – 24 с.
3. Костюк С.Г. Имитация отработки мощных крутопадающих пластов на моделях из эквивалентных материалов / Костюк С.Г., Бедарев Н.Т., Любимов О.В., Семенцов В.В. – Ялта-Днепропетровск, 2011. С. 243-250.
4. Бедарев Н.Т. Обоснование параметров разработки мощных крутых пластов системами с подэтажным обрушением на основе физического моделирования / Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Семенцов В.В. – Горный информ.-аналит. бюллетень №4. Москва: Горная книга, 2012. С. 5-10.
5. Kostyuk S., Bedarev N., Lyubimov O., Shaikhislamov A. The Relationship Between the Manifestations of Rock Pressure and the Relative Deformation of Surrounding Rocks. – E3S Web of Conferences **15**, 01009 (2017) The 1st International Innovative Mining Symposium. DOI: 10.1051/e3sconf/ 20171501009.
6. Kostyuk S., Bedarev N., Lyubimov O., Kovalyov N. Searching for the Optimal Parameters of the Thick Steep Seams' Under-Level Development. – E3S Web of Conferences **41**, 01002 (2018) The IIIrd International Innovative Mining Symposium. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101002.
7. Пат. № 2477795 РФ: МПК Е21C 41/18 (2006.01). Способ отработки мощных крутых угольных пластов / Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Ренев А.А., Любимов О.В., Семенцов В.В.; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ); № 2011137752/03, 13.09.2011, опубл. 30.03.2013, бюл. № 8.
8. Костюк С.Г. Имитация отработки угольного пласта с наличием синклинальной складки на модели из эквивалентных материалов / Костюк С.Г., Ковалев Н.Б., Бедарев Н.Т., Любимов О.В., Семенцов В.В., Ситников Г.А. – Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2014. №5. С. 67-70.
9. Пат. № 136620 РФ: МПК G09B 23/00 (2006.01). Устройство для изучения проявлений горного давления на моделях / Бедарев Н.Т., Ковалев Н.Б., Костюк С.Г., Любимов О.В., Ренев А.А., Семенцов В.В.; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ); № 2013135404/12, 26.07.2013, опубл. 10.01.2014, бюл. № 1.
10. Пат. № 163535 РФ: МПК G09B 23/00 (2006.01). Устройство для изучения проявлений горного давления на моделях / Бедарев Н.Т. Костюк С.Г. Любимов О.В., Бородин И.В. Шайхисламов А.Р. Астафьева В.Г. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ); № 2016111485/12, 28.03.2016, опубл. 20.07.2016, бюл. № 20.