

УДК 622.831.3

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕКРЫТИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ОБОЛОЧКОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

**Бейсембаев К.М., Шманов М.Н., Шарипов Р.**

*Карагандинский государственный технический университет, Караганда,  
e-mail: kakim08@mail.ru*

Рассмотрены конструктивно-технологические схемы применения оболочек для перекрытия выработок и крепления кровли, а также особенности и некоторые результаты моделирования в 3 d особенностей взаимодействия таких систем с боковыми породами. Учтены возможности расслоения пород при контроле этого процесса за счёт имитаторов и показан неоднозначный характер распределения напряжений и деформаций в сложных расчетных схемах, что актуализирует задачу ведения горных работ с постоянным расчётом и прогнозированием состояния массива на основе моделирования. При этом крепление кровли может производиться облегченной крепью, а негативных прогнозах применением мобильных анкерных средств и мощных стационарно переносных крепей.

**Ключевые слова:** оболочка, работа, проскальзывание, модель, напряжения.

## FEATURES OVERLAPPING MINING SHELL STRUCTURES

**Beysembayev K.M., Shmanov M.N., Sharipov R.**

*Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: kakim08@mail.ru*

The schemes are considered the shells to cover the excavation and mining roof support . The method and the results of 3d- modeling of the interaction of shells with rock walls . Take into account the possibility of stratification of rocks . Control of the bundle is made virtual simulator . The ambiguity , complex distribution of stresses and strains in the model. Proved the relevance of mining operations with a constant calculation and prediction of the state of the array simulation. It is shown that the attachment of the roof can be made easily attached , and with a negative outlook model mobile anchor means and partly by heavy stationary , portable crepe.

**Keywords:** shell, work, slip model, voltage.

### Постановка задачи

В шахтах для перераспределения воздушных потоков по выработкам используются перемиčky, они обеспечивают перекрытие направления проветривания, регулирование расхода воздуха и должны легко переустанавливаться. Но перемиčky изготавливаются в виде стационарных конструкций из железобетона и снабжаются регулируемыми шлюзами. Возможны и иные конструкции возводимых только для перекрытия взрывной волны, например, в Караганде А. Плотниковым был предложена оболочка в виде парашюта. Исследования в 70-е годы, выявили недостатки: парашют свободно не раскрывается, прилипает к стенке выработки, скомкивается, рвутся стропы. Разработка в ИПКОН НАН РК оболочечных конструкций для крепи безлюдной выемки (Жихорь Е.А., Шманов М.Н.) позволило рассмотреть такие конструкции

и в качестве перемиček. рис.1, например, в виде цилиндров, обращенных к выработке дном или цилиндрической поверхностью (а, в) сферы б. В случае выполнения конструкции в виде тора [1], профилирование внутренней поверхности отверстия позволяет создать возможность перераспределения давления потока воздуха и обеспечить его плавное гашение. Оболочки могут применяться и в качестве крепи (г) горных выработок стационарных или передвижных, для последнего случая они предлагались в ИПКОН НАН РК как безразгрузочная крепь при безлюдной выемке угля, рис. 2. Идея заключалась в том, что протяженный тороид за счет выворачивания внутренней поверхности перекачивается по кровле и по чаше внешними поверхностями. Механизм выворачивания, размещался внутри тороида и представлял собой бесконечную ленту, укрепленную на комбайне впереди торои-

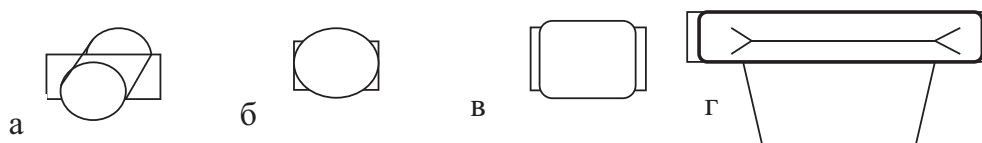


Рис. 1. Формы оболочек для перекрытия выработки: а, в – цилиндрические, б – в виде шара, г – тороидальная

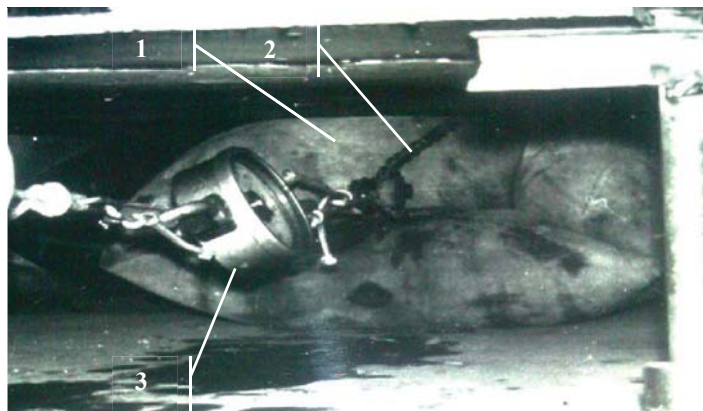


Рис. 2. Тороидальная оболочка в нагрузочном стенде (ИПКОН НАН РК): 1 – оболочка; 2 – тяговое устройства для передвижки выворачиванием; 3 – динамометр

дов, которая при сматывании сцепляясь с внутренней поверхностью тора выворачивает его и он перекачивается вслед за комбайном. Тороид может размещаться и на боковых уступах (г) специально подготавливаемых комбайном, что позволяет создать поверхности для распора оболочки. Транспортно-выемочное оборудование располагается под баллонами и мобильной крепью, опирающейся на уступ. Нарушенная наклонная часть и кровля в случае необходимости укрепляется легкими конструкциями в т.ч. и анкерами.

Тороидальная конструкция, по мнению некоторых авторов (Варежа Ж.П. ТОО ИПКОН, Караганда) в случае использования как перемычки позволяет предотвращать распространение ударной волны от взрыва воздушно-метановой смеси за счёт особенностей деформации и перераспределения потока. При нагружении упругого тела происходит деформация некоторой его части и последняя накапливает упругую энергию за счёт действующей силы и силы инерции возникающей в движущейся части. Накопление деформации приводит к возрастанию сопротивления и к остановке её движения. Энергия деформации от силы инерции обеспечит движение в обратном направлении, в момент уменьшения давления потока - так возникают колебания. Аналогично, хотя и при разных значениях давления оболочка нагружается и со стороны кровли. Исследования колебаний систем достаточно полно проведены для тонких тел простой и сложной конструкции без учёта их текущего разрушения. В частности, они учтены при проведении в пакете Ansys, так называемого модального анализа для изучения достаточно большого количества форм деформированного тела. Нами же ранее были проведены исследования формообразования сложных не тонких тел и разно-

образии их форм получено при приобретении им большей степени свободы, т.е. при освобождении от некоторых связей при достижении критического уровня связей [6,7].

Рассматривая же давление потока воздуха на оболочку совершающую работу  $A$ , можно её разложить на работу от статической деформации тела  $A_c$ , работу на проскальзывание вдоль выработки  $A_{пр}$  (в отличие от железобетонной перемычки в оболочечной гашение энергии взрыва достигается не только за счёт упругой деформации, но и проскальзывания по стенкам выработки, которое произойдёт, если за счёт упругих деформаций удар не будет погашен) и динамическую составляющую  $A_d$ , что приводит к выражению:

$$A = A_c + A_d = \int_0^{m_{пл.}} m_0 dx dy + 2N_n f_{тр} \Delta_x + m_0 a_x$$

где  $m_{вр.}$  – высота выработки;

$m_0$  – масса баллона;

$N_n$  – вертикальное давление по сопряжению баллона с кровлей и почвой;

$f_{тр}$  – коэффициент трения;

$\Delta_x^{пр}$  – величина проскальзывания баллона;

$a_x$  – ускорение проскальзывания.

При моделировании этого процесса следует исходить из схемы взаимодействия оболочки с боковыми породами; давление в оболочке можно принимать допустимым при настройке предохранительного клапана на соответствующую величину, однако лучшие и более точные результаты будут достигнуты при моделировании и вычислениях текущего давления исходя из общего расчёта включая расчёт напряжённо-деформационного состояния (НДС). Тогда имеются возможности по управлению горным давлением и гашением ударной волны для тех случаев, когда давление и конвергенция пород таковы, что предельное значение давле-

ния, исходя из прочности оболочки на разрыв, ещё не достигнуто. При этом надо рассмотреть НДС вокруг выработки в зоне сопряжения с баллоном при его расположении вдоль и поперек выработки при различных типах оболочек.

В первом приближении расчетная схема, рис. 3 выбрана в виде блока пород состоящего из верхнего, среднего, нижнего слоёв, с различными основными характеристиками  $E$ ,  $\mu$ ,  $\rho$  (модуль упругости - деформации, коэффициент Пуассона, плотность), табл.1.

Пласт разделяет нижний и средний слой. Выработка пройдена в середине пласта. В её центре расположена перемычка в виде шаровой оболочки, находящейся под допустимым давлением [Р]. Задачей расчета является определение НДС и, в частности, компонент напряжений по линии над контактом оболочки и кровли вдоль сече-

ния выработки на высоте 24, 5 м. от оси ОХ к боковому краю модели (направление II) и по вертикали от центральной части контакта оболочки и кровли (направление I). При этом следует учесть возможность отслоения среднего слоя от верхнего начиная от центра к краям модели за счёт имитатора отслоения, или наличие весьма тонкого по сравнению с основными слоями слоя типа глины с модулем упругости, который в сотни раз меньше, чем у окружающих слоев. Имитировать отслоение можно, потому что расчётные нагрузки между слоями в зоне пропластка будут на порядки меньше, чем в других и они практически не повлияют на НДС массива. Но знак напряжения при много-цикловых расчётах позволяет судить в каждом отдельном цикле о том, что соседние слои находятся в состоянии отслоения или наступило закрытие трещины при смыкании пород этих слоёв. Такая информация

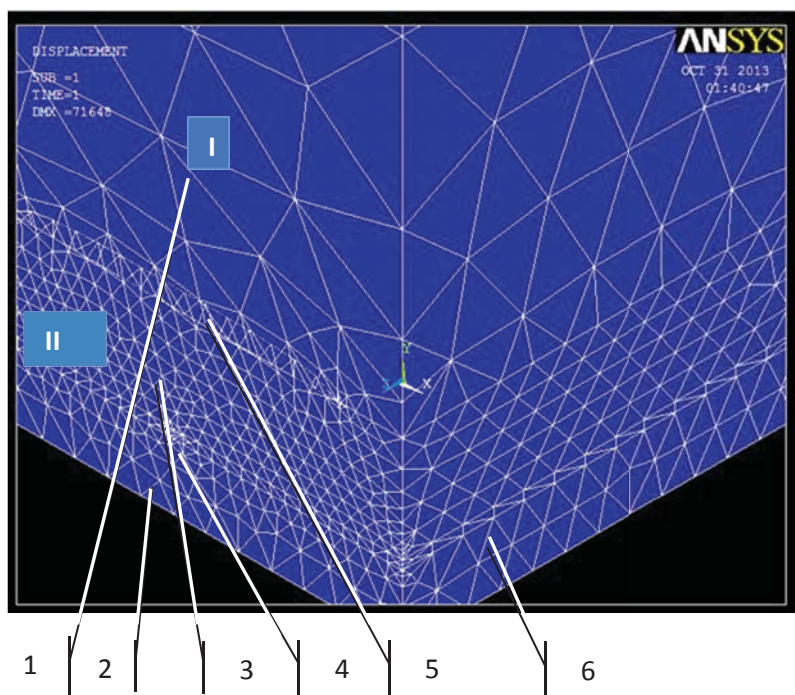


Рис. 3. Расчетная твёрдотельная пространственная модель: 1 – верхний слой, 2 – нижний слой, 3 – средний слой, 4 – выработка, 5 – пропласток – имитатор отслоения, 6 – пласт

Таблица 1

Основные характеристики материала модели

№	Верхний слой	Средний слой	Нижний слой	Низкомодульный слой	Пласт
Модуль упругости, Па/м <sup>2</sup>	7e <sup>4</sup>	3e <sup>3</sup>	3e <sup>5</sup>	1e <sup>1</sup>	1e <sup>4</sup>
Коэффициент Пуассона	0.2	0.35	0.25	0.4	0.3
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	3000	4000	3000	-	3000

была необходима в автоматизированной системе расчёта для подготовки следующего после текущего расчетного цикла с целью изменения параметров расчётной схемы, при определении траектории формоизменения системы над забоем, как методом “виртуальных датчиков” - имитаторов отслоений, так и более точным методом “пылесоса” [6,7]. С этой целью были проведены испытания для широкого диапазона модулей упругости с отличием в 300-600 и 3000-6000 раз и установлено влияние модуля упругости на напряжения, что позволило выбрать характеристики имитатора.

#### Анализ результатов

На рис. 4 и 5 зависимости напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , для случая отслоения и его отсутствия НДС вдоль направления II- позволяет характеризовать опорное давление.

При отсутствии отслоения имеем скачок давления у торца выработки, а по остальной части массива вблизи пласта оно распределено относительно равномерно, соответственно 5,95 и 4,7 МПа (в 1,27) раз выше,  $\sigma_x$  в зоне выработки имеет несколько скачков, что объясняется а одной стороны опускаем пород и с другой поддержкой их баллоном. Значения  $\sigma_x$  в равномерно-нагруженной зоне над пластом примерно в 2,05 раз меньше чем  $\sigma_y$  в этой же зоне. Включение в расчет низко модульной зоны приводит к существенному перераспределению напряжений, так вдоль вертикальной линии I величина скачка напряжений  $\sigma_x$  в зоне перехода средний слой - верхний слой увеличивается с 0,34 до 1,017 МПа т.е. в ~ 3 раза;  $\sigma_y$  вдоль этой оси также изменились.

Так максимальное значение для этой зоны уменьшилось с 3,84 до 2,04 МПа т.е. в ~ 1,84 раза. Логично предположить, что уменьшение  $\sigma_y$  происходит в результате разуплотнения пород вдоль линии I, т.к. нижняя поверхность слоя при отслоении в большей степени смещается в выработку. Сравнивая графики опорного давления логично предположить, что перераспределение давления вызвано, тем, что средний слой за счёт более жесткого прикрепления соединён с верхним вблизи краев модели, что и определило в них большую концентрацию напряжений.

#### Заключение

Проанализированы некоторые оболочечные конструктивные схемы и особенности их нагружения в режимах агрегатной крепи и перемычек горных выработок, которые учитывают возможность восприятия давления боковых пород. Характеристики пород существенно влияют на перераспределение НДС, при развитии отслоения. Зависимости сложны и неоднозначны, что требует для определения конкретного состояния расчётных моделей использующихся постоянно как одна из систем идентификации.

Использование имитаторов, и в частности, отслоения позволяет упростить автоматизацию их учёта в 3d моделях при многоциклических расчётах, когда наряду с отслоением возможно и восстановление ранее утраченных контактов. Использование имитаторов сопряжено с необходимостью постоянного контроля точности расчётов в особых зонах, что недостаточно обеспечено и в пакетах типа Ansys.

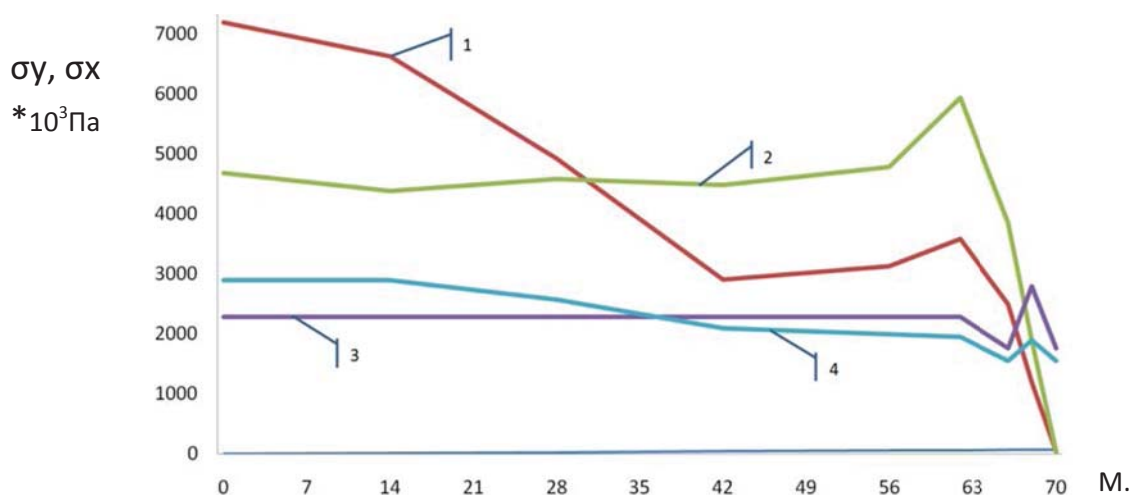


Рис. 4. Распределение напряжений  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  вдоль линии параллельной пласту от центра выработки до края модели, близких к опорному давлению: 1 –  $\sigma_y$  при отслоении среднего слоя пород, 2 –  $\sigma_y$  без отслоения; 3 –  $\sigma_x$  без отслоения, 4 –  $\sigma_x$  с отслоением



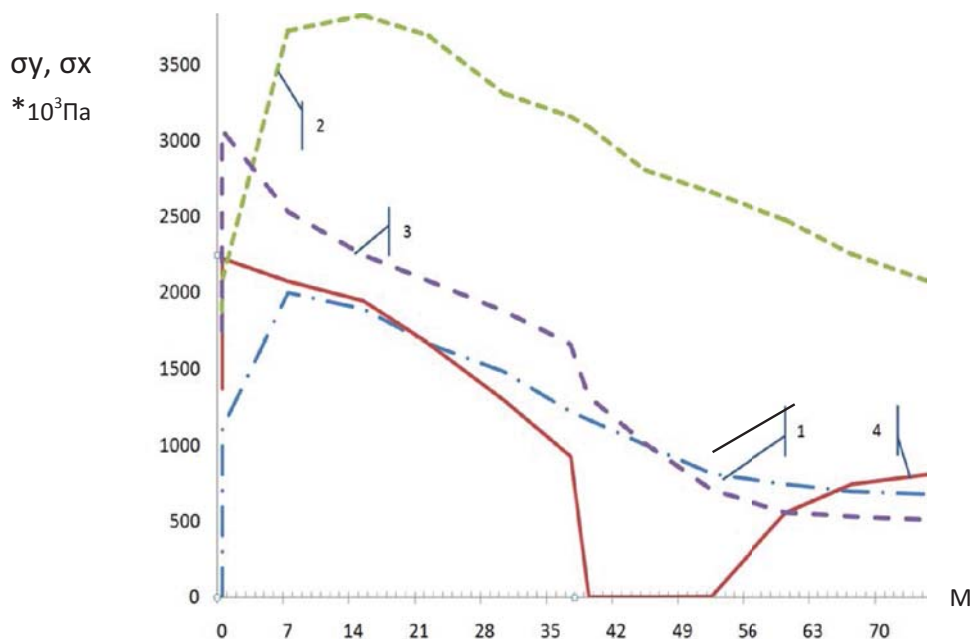


Рис. 5. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  вдоль вертикальной линии от центра выработки через средний и верхний слой: 1 –  $\sigma_y$  с отслоением среднего слоя пород, 2 –  $\sigma_y$  без отслоения; 3 –  $\sigma_x$  без отслоения; 4 –  $\sigma_x$  с отслоением

Применение камер [4] вместо громоздких лав, где горное давление управляется временными целиками, а мощная мобильная крепь применяется эпизодически при прогнозировании опасных ситуаций расчётными методами и на основе сейсмопродувивания массива позволит в несколько раз снизить расходы на добычу. При проектировании таких систем следует исходить из описания к [2,4], где приведена технология и организационные элементы работы при учёте геомеханических процессов сопровождающих выемку в режиме обратной связи системы управления с массивом. При этом для эффективного транспортирования угля применяется обработка камер длиной до 30 м. и работой в обе стороны от центральной выработки, что существенно снижает затраты на транспортирование и упрощает возможности автоматизации работ [5].

Но при этом потребуются изменение подходов к добыче полезных ископаемых в сторону рационального использования добываемого сырья и полостей в недрах, коренной пересмотр в применении систем надёжного прогнозирования геомеханической ситуации в очистном забое с корректировкой параметров выемки в каждом добычном цикле с учётом подвигания забоя [3]. В этих условиях разработка новых средств крепления и перекрытия выработок включая и оболочковые конструкции, с возможностью дополнительной анкеровки неу-

стойчивых пород в выработках на основе прогнозирования в расчётных моделях является важной задачей развития горного комплекса Казахстана.

**Список литературы**

1. Жихорь Е.А., Ершов Ю.И., Рогов Е.И., Разумов В.А. Агрегат для выемки угля // Авторское свидетельство СССР. – 1985. – № 1162991. – Бюл. № 23.
2. Жихорь Е.А., Шманов М.Н., Бейсембаев К.М. Способ добычи угля в сложных условиях и механизированная крепь // Патент СССР. – 1993. – № 1833471. – Бюл. № 29.
3. Бейсембаев К.М., Векслер Ю.А., Жетесов С.С., Каппасов Н., Мендикенов К.К. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы // Известия высших учебных заведений Горный журнал. – 2013. – №3. – С. 69-76.
4. Шманов М.Н., Бейсембаев К.М. Приоритетные направления развития крепей для короткозабойных технологий // Уголь. – М.: Недра, 1992. – № 8. – С. 37-39.
5. Перминов К.М., Андрейко С.С. Разработка технологии добычи калийной руды с применением изгибающегося конвейерного поезда // Известия высших учебных заведений Горный журнал. – 2013. – №3. – С. 4-9.
6. Бейсембаев К.М. Проблемы расчёта аттрактора сложной системы // Международный научный журнал Актуальные проблемы современности. – Караганды, Болашак-баспа. – 2010. – № 7 (57). – С. 11-16.
7. Бейсембаев К.М., Исабеков М.У. Информационные технологии в моделировании экономических процессов // Пути экономического развития Казахстана в новом тысячелетии. – Астана, 2000. – С.114 – 123.