

нению с открытыми подъемами); возможность многоцелевого использования подземных выработок: шахтных стволов для разведочных целей глубоких горизонтов месторождений, для целей дренажа и осушения месторождения и боковых пород, а также для разработки глубинной части месторождения подземным способом.

Выводы. Приведенная классификация способов вскрытия глубоких горизонтов карьеров, разрабатывающих крутопадающие залежи полезных ископаемых, позволяет более четко производить сравнительную экономическую эффективность того или иного способов вскрытия месторождения и устанавливать область его применения.

Список литературы

1. Новожилов М.Г. Технология и комплексная механизация открытых разработок //
2. М.Г. Новожилов, В.С. Хохряков, Г.Д. Пчелкин и др. – М.: Недра.- 1971. – 552 с.
3. Кумачев К.А., Майминд В.Я. Проектирование железорудных карьеров. М.: Недра.- 1981. - 464 с.
4. Щелканов В.А. Подземные выработки на карьерах. М.: Недра.- 1982.- 128 с.

*Рекомендована до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 22.10.2014*

УДК 622.831

© В.В. Фомичев, В.А. Соцков, А.А. Слива

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЛЕПОЛИМЕРНЫХ АНКЕРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Проанализированы существующие схемы моделирования сталеполлимерного анкера в задачах геомеханики, использующие различные методики постановки эксперимента и условия контактов на поверхности шпура и анкера. Определен оптимальный тип конечных элементов для построения сетки для увеличения точности описания геометрии анкера при задании начальных и граничных условий.

Проаналізовано існуючі схеми моделювання сталеполімерного анкера в задачах геомеханіки, що використовують різні методики постановки експерименту та умови контактів на поверхні шпуру і анкера. Визначено оптимальний тип кінцевих елементів для побудови сітки для збільшення точності опису геометрії анкера при завданні початкових і граничних умов.

Authors analyzed the existing modeling scheme of resin-grouted bolt in problems of geomechanics, using different techniques and contacts conditions of the experiment on the surface of the hole and bolt. The optimal type of finite element mesh generation to improve the accuracy to describe the geometry of the bolts when setting the initial and boundary conditions.

Актуальность. Исследования поведения сталеполлимерного анкера установленного в горной породе [1] показали, что активная фаза сопротивления ан-

кера горному давленню наступає після частинного разупрочнення оточуючих його горних порід. В результаті чого відбувається не тільки перерозподілення зусиль в конструкції самого анкера, але і по всьому контуру виробки. Проведення моделювання для різних горно-геологічних умов показало найбільшу адекватність наступних розрахункових схем [1,2]: перша – анкер представляється як сталевий стержень щільно встановлений в шпур того ж діаметра (Рис. 1, а); друга – к попередній схемі додається опорна шайба більшого діаметра жорстко або через болтове з'єднання контактуюча з анкером (Рис. 1, б); третя – аналогічна другій, але включає в себе збільшення діаметра шпура до натуральних розмірів і заповнення його моделлю затверділого полімерного складу (Рис. 1, в).

Кожна з запропонованих схем забезпечує прийнятну точність по розподіленню напружень в тілі анкера. Але поле розподілення напружень в породах, примикаючих до контуру шпура анкера, може змінюватися кардинально, як по розміру, так і по абсолютній величині і природі головних напружень. В абсолютних значеннях зменшення напружень може становити до 2 раз, а розмір зони стискаючих напружень відносно загальної зони впливу анкера в окремих розрахунках досягає 23-31%.

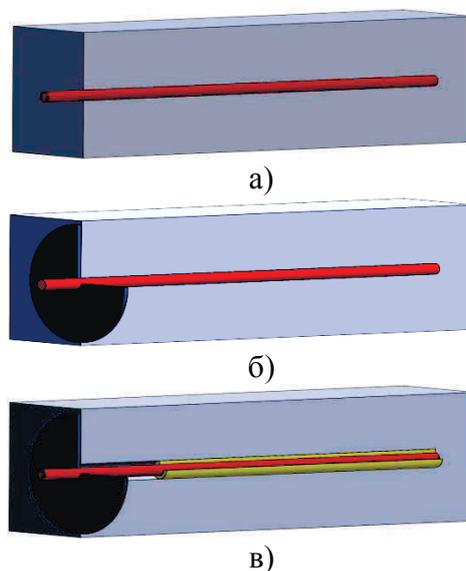


Рис. 1. Схеми моделювання сталеполімерного анкера в задачах геомеханіки використовують різні методи постановки чисельного експерименту

Постановка задачі. Вивчення впливу умов контакту сталеполімерного анкера з приконтурним породним масивом на результати проведення чисельного експерименту в нелінійній постановці.

Наукова новизна полягає в визначенні комплексу конфігурацій розрахункової області сталеполімерного анкера в геомеханічній моделі повторно використовуваної виробки з урахуванням різних нелінійних характеристик приконтурного породного масиву.

Основная часть. При достаточной простоте геометрического моделирования сложно спрогнозировать реакцию сталеполимерного анкера во времени и при выборе упругопластической схемы поведения пород горного массива. Если при упругом расчете схема воздействия начальных условий приложения нагрузки не может изменяться, в силу отсутствия значительных деформаций в продольном и поперечном сечениях анкера (Рис. 2, а), то в случае значительных относительных перемещений, и вектор приложения нагрузок, и величина зоны контактного взаимодействия с горными породами, могут изменяться, причем далеко не всегда по линейному закону (Рис. 2, б) [2,3]. Это вынуждает при проведении вычислительного эксперимента применять не статичные условия контакта между элементами модели анкера и моделью горного массива.

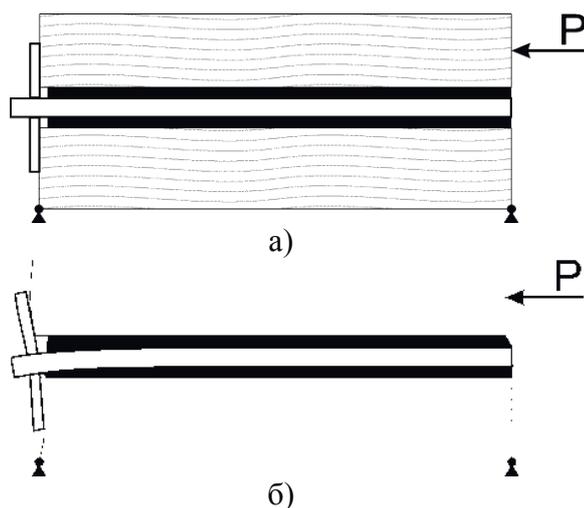


Рис. 2. Возникновение особенностей взаимодействия элементов расчетной схемы при упругом типе расчета (а) и при упругопластическом (б)

Рассмотрим физику процесса взаимодействия анкера и поверхности породного слоя. В момент установки сталеполимерного анкера между сталью, полимерной композицией и образующими поверхность шпура породами устанавливаются связи на основе химико-молекулярного воздействия. Как правило, контакт между сталью и полимером имеет более равномерный и прогнозируемый характер. Контакт между полимером и горным массивом хаотичен, как в смысле геометрии, сколы и микротрещины на поверхности шпура, так и механики материалов. В результате, для реализации адекватного моделирования условий эксплуатации сталеполимерного анкера приходится, даже в рамках одной расчетной модели использовать широкий набор начальных условий и типов контактов (Рис. 3).

Простейший «жесткий» тип контакта (Рис. 3, а) используется повсеместно в задачах геомеханики решаемых в упругой постановке, где малые перемещения позволяют пренебрегать разностями физических величин с обеих сторон контакта. Простое проскальзывание (Рис. 3, б), наоборот применяется при решении задач геомеханики, когда анкер располагается в слабых и частично раз-

рушенных породах горного массива. В этом случае, перемещение анкера вдоль шпура должно проходить без значительного сопротивления со стороны породного массива. По сути, это моделирование анкеров выпадающих из своих шпуров. Наиболее распространенным подходом в выборе типа контакта является проскальзывание с учетом силы трения (Рис. 3, в). Такой тип контакта можно использовать при решении задач геомеханики в упругой и упругопластической постановке. Когда условия постановки задачи определяют возможность больших перемещений в области установки анкера [4]. Величина силы трения, в этом варианте, выступает в качестве определяющего условия потери совместности деформаций поверхностей шпура и анкера. Использование «горячей» посадки (Рис. 3, г) характерно для задач, решаемых с учетом фактора времени, и в тех случаях, когда способ установки анкера связан с активным воздействием на поверхность шпура элементов конструкции анкера (например, установка анкера взрывом).

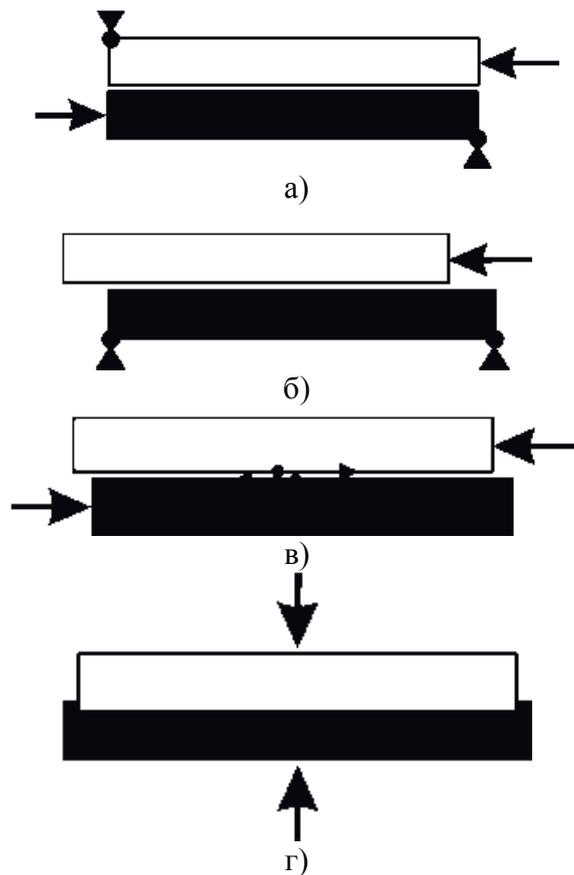


Рис. 3. Моделирование различных условий контактов на поверхности шпура анкера и горных пород: «жесткий» (а); простое проскальзывание (б); проскальзывание с силой трения (в); «горячая» посадка (г)

В простейшей геометрической схеме моделирования сталеполимерного анкера существует одна контактная поверхность, для которой, в условиях высокой поперечной нагрузки или значительной жесткости окружающих пород, задают контакт с соблюдением сплошности модели системы «анкер - порода»

(Рис. 1, а). В случае, когда ожидается или возможна потеря контакта между породами и телом анкера, прибегают к комбинированной схеме, в которой часть поверхности модели шпура находится в жесткой связи с анкером, а часть этой поверхности образует контакт с анкером в условиях взаимного проскальзывания. Геометрические размеры таких областей, точнее их взаимоотношение, регулируется соотношением относительного удлинения анкера и столба породы, с учетом пластических характеристик связывающего полимерного состава. Математически такое соотношение описывается следующим уравнением

$$K_a = \frac{[(\sigma_{zT} - \sigma_z) + (\sigma_{cT} - \sigma_c)] \cdot \Delta l}{|E_z - E_c|^{1,62} \cdot l}; \quad (1)$$

где σ_{zT}, σ_{cT} - пределы текучести полимерного состава и примыкающих в шпур горных пород, соответственно; σ_z, σ_c - максимальные значения главных напряжений в конне контакта полимерной смеси и горной породы, соответственно, в модели заполнителя и модели породного слоя; E_z, E_c - модули упругости материала полимерного заполнителя и горной породы, соответственно; $l, \Delta l$ - длина анкера и его относительное удлинение под действие нагрузки.

Если учитывать предварительное натяжение анкера, то в расчетной схеме это условие, как правило, реализуется путем приложения необходимого усилия по нормали на обоих торцах анкера. В упругой постановке при наличии незначительных полных перемещений такой подход обеспечивает достаточную адекватность получаемых результатов расчетов. Однако, величина самих усилий выбирается только на основе показателя начального натяжения анкера задаваемого как начальное и граничное условие. Такой подход не является в полной мере адекватным относительно распределения усилий и перемещений на поверхности контура выработки, и в случае значительных усилий предварительного натяжения анкера, следует переходить ко второй геометрической схеме моделирования сталеполимерного анкера.

Во второй расчетной схеме сталеполимерного анкера моделирование предварительного натяжения происходит благодаря наложению контактных условий для опорной шайбы анкера (см. рис. 1, б). Применяются два основных подхода: первый – анкер устанавливается в шпур таким образом, чтобы внутренняя поверхность опорной шайбы углубилась в породный контур выработки (так называемая «горячая» посадка), величина углубления определяет величину предварительного натяжения; второй – шайба и стержень анкера контактируют через «болтовое соединение», усилие на котором и определяет усилие натяжения анкера, при этом контакт между опорной шайбой и горным массивом не может быть жестким.

В вариантах расчета взаимодействия анкеров и породного массива встречаются задачи, когда перерезывающие усилия, воздействующие на модель анкера, являются преобладающими относительно продольной нагрузки. В таких случаях на несущую способность анкера значительно влияет прочностные и

деформационные характеристики полимерной композиции используемой при его установке, как результат для обеспечения адекватности расчета приходится прибегать к третьей схеме моделирования анкера (см. рис. 1, в). Благодаря использованию такой схемы становится возможным сложное моделирование перемещения контура анкера с относительно большими деформациями в любом из выбранных направлений. Как правило, контакт между анкером и полимером выбирается жестким, а вот для контакта между полимером и породами используются либо жесткая связь, либо «горячая» посадка. В совокупности с экспериментальным подбором механических характеристик модели полимерной композиции, такая система контактов позволяет «плавно» учитывать особенности состояния реального горного массива (трещиноватость, трансверсальность, масштабный эффект и обводненность) при моделировании.

Из вышеизложенного, становится понятным, что формирование сетки конечных элементов, для общего случая моделирования сталеполимерного анкера, является задачей нетривиальной. Первая проблема общая для любого элемента крепи выработки - это малый размер конечного элемента в крепи выработки относительно размеров конечных элементов используемых при описании горного массива. В ряде случаев моделирования соотношение размеров конечных элементов может достигать 1 к 100 (от 20 мм до 2 м). В общем случае считается, что уменьшение линейных размеров конечного элемента всегда приводит к повышению качества получаемого результата. Это полностью соответствует реальности для относительно простых расчетов.

Как показал опыт проведения вычислительных экспериментов [1,4], для большинства решаемых задач оптимальным является выбор двадцатиузловых конечных элементов. Поперечное сечение анкера разбивается такими конечными элементами на четыре равных сектора, а ось симметрии анкера совпадает с общей кромкой всех четырех конечных элементов. Таким образом, весь анкер становится набором цилиндров определенной высоты состоящих из четырех одинаковых конечных элементов. Благодаря варьированию высоты таких цилиндров можно изменять плотность сетки конечных элементов подбирая оптимальное соотношение числа конечных элементов и точности описания геометрии анкера при задании начальных и граничных условий.

Вывод. Описание характера описания расчетной области моделирования сталеполимерного анкера, в условиях нелинейного поведения приконтурного породного массива представляет собой многопараметрическую оптимизационную задачу, решение которой заключается в поиске такой конфигурации модели, при которой её влияние на получаемый результат будет максимальным.

Список литературы

1. Бондаренко В.И. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород / Монография/ Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Черватюк В.Г. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.
2. V. Fomychov Bolt support application peculiarities during support of development workings in weakly metamorphosed rocks. / V. Fomychov, V. Pochepov, V. Lapko // Materials of VII Inter-

national scientific-practical conference “School Underground Mining - 2013” / “Mining of Mineral Deposits”. – Netherlands: CRC Press / Balkema. – P. 211-217.

3. Фомичов В.В. Математичні методи моделювання взаємодії кріплення та гірського масиву при вирішенні задач геомеханіки / Фомичов В.В., Лапко В.В., Мамайкин О.Р // Геотехнічна механіка ІГТМ ім. М.С. Полякова, – 2011. – Вип. 94. – С. 116-121.
4. Вивчаренко В.А. Обоснование рационального месторасположения надрабатываемых выработок на шахтах Западного Донбасса / Вивчаренко В.А., Соцков В.А./ Уголь Украины. 2015 №1-2. С.13-17.

*Рекомендована до публікації д.т.н.. Бондаренком В. І.
Надійшла до редакції 27.10.2014*

УДК 539.3:622.831.322

© А.Р. Сницер, В.В. Зберовский

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ СКВАЖИНЫ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГНЕТАНИИ ЖИДКОСТИ

Рассматривается задача о распределении напряжений вокруг скважины, пробуренной в угольном пласте, при гидроимпульсном воздействии. Напряжения определяются на основе решения динамической и статической краевых задач теории упругости. Представлены зависимости изменения напряжений от свойств угля, расстояния от оси скважины и частоты следования импульсов давления при нагнетании жидкости. Оценено влияние коэффициента бокового давления, границ кровли и почвы пласта на развитие, распределение и концентрацию напряжений в угольном пласте вокруг скважины.

Розглядається задача про розподіл напружень навколо свердловини, пробуреної в вугільному пласті, при гідроімпульсними впливі. Напруження визначаються на основі рішення динамічної та статичної крайових задач теорії пружності. Представлені залежності зміни напружень від властивостей вугілля, відстані від осі свердловини і частоти проходження імпульсів тиску при нагнітанні рідини. Оцінено вплив коефіцієнта бокового тиску, кордонів покрівлі і ґрунту пласта на розвиток, розподіл і концентрацію напружень у вугільному пласті навколо свердловини.

The problem of tensions distribution round the mining borehole in a coalbed at hydroimpuls pressure pumping is examined. Tensions are determined on the basis of decision of dynamic and static boundary problems of the theory of elasticity. Dependences of changes of tensions on properties of coal, distances from an axis of mining borehole and frequencies of the following of impulses of pressure at fluid pumping are represented. Influence of lateral pressure coefficient, boundaries of roof and soil of coalbed on development, distribution and concentration of tensions around a borehole in the coalbed are appraised.

Введение. Решение частных задач, в которых исследовались напряжения вокруг скважины в рамках теории упругости, приведено в работах [1-4].

До настоящего времени малоисследованным остается процесс передачи импульсов давления углепородному массиву в фильтрационной части скважины при гидроимпульсном воздействии. Не исследовано влияние импульсов