

УДК 622.831

В.В. ФОМИЧЕВ (канд. техн. наук, доц.)**В.А. СОЦКОВ** (аспирант)

ГВУЗ «Национальный горный университет, г. Днепропетровск

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАЛЕПОЛИМЕРНОГО АНКЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МКЭ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ВЫРАБОТКИ

В статье проанализированы существующие схемы моделирования сталеполимерного 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.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, сталеполимерный анкер, метод конечных элементов.

Актуальность. Исследования поведения сталеполимерного анкера установленного в горной породе [1] показали, что активная фаза сопротивления анкера горному давлению наступает после частичного разупрочнения окружающих его горных пород. В результате чего происходит не только перераспределение усилий в конструкции самого анкера, но и по всему контуру выработки. Проведение моделирования для различных горно-геологических условий показало наибольшую адекватность следующих расчетных схем [1,2]: первая – анкер представляется как стальной стержень плотно установленный в шпур того же диаметра (Рис. 1, а); вторая – к предыдущей схеме добавляется опорная шайба большого диаметра жестко или через болтовое соединение контактирующая с анкером (Рис. 1, б); третья – аналогична второй, но включает в себя увеличение диаметра шпура до натуральных размеров и заполнение его моделью отвердевшего полимерного состава (Рис. 1, в).

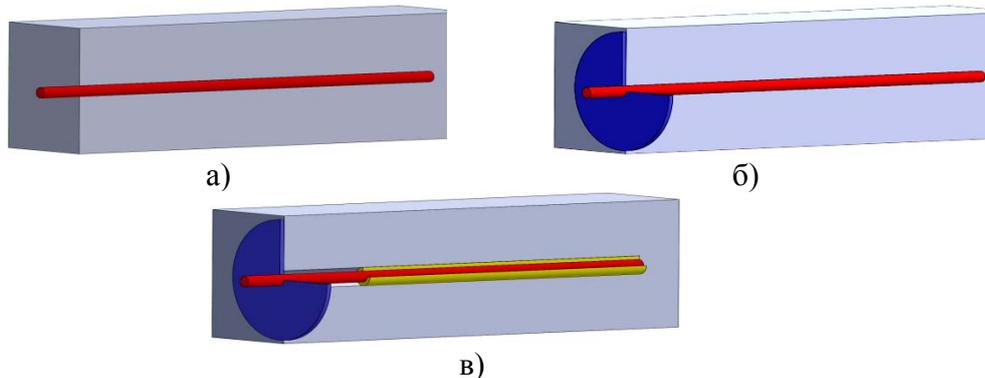


Рис. 1. Схемы моделирования сталеполимерного анкера в задачах геомеханики использующих различные методики постановки вычислительного эксперимента

Каждая из предложенных схем обеспечивает приемлемую точность по распределению напряжений в теле анкера. Но поле распределения напряжений в породах, примыкающих к контуру шпура анкера, может изменяться кардинально, как по размеру, так и по абсолютной величине и природе главных напряжений. В абсолютных значениях уменьшение напряжений может составлять до 2 раз, а размер зоны сжимающих напряжений относительно общей зоны влияния анкера в отдельных расчетах достигает 23-31%.

Постановка задачи. Изучение влияния условий контакта сталеполимерного анкера с приконтурным породным массивом на результаты проведения вычислительного эксперимента в нелинейной постановке.

Научная новизна заключается в определении комплекса конфигураций расчетной области сталеполимерного анкера в геомеханической модели повторно используемой выработки при учете различных нелинейных характеристик приконтурного породного массива.

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 шнура 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 шнура, 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).

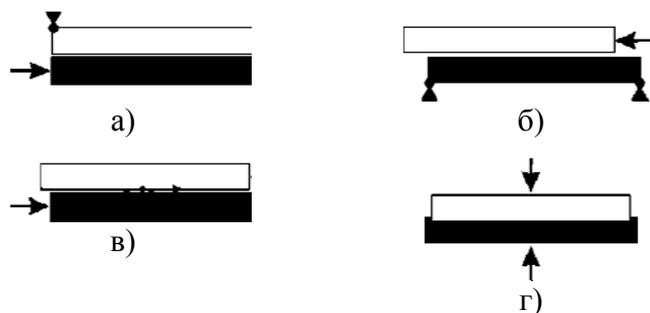


Рис. 3. Моделирование различных условий контактов на поверхности шнура анкера и горных пород: «жесткий» (а); простое проскальзывание (б); проскальзывание с силой трения (в); «горячая» посадка (г)

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 разрушенных 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).

В простейшей геометрической схеме моделирования сталеполлимерного 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 шпуру 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 от-

носителю 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 превалирующими 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 сталеполімерного 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 использованной литературы

1. Бондаренко В.И. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород. Монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.
2. V. Fomychov Bolt support application peculiarities during support of development workings in weakly metamorphosed rocks. / V. Fomychov, V. Pochevov, V. Lapko // Materials of VII International 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 / В.В. Фомичов, В.В. Лапко, О.Р. Мамайкин // Геотехнічна механіка ІГТМ ім. М.С. Полякова. – 2011. – Вип. 94. – С. 116-121.
4. Фомичёв В.В. Исследование особенностей моделирования взаимодействия анкера с окружающей породой численными методами / В.В. Фомичёв, В.Ю. Медяник, Т.В. Маслова // Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов: Сборник трудов III Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск: ГУ КузГТУ, 2011. – С. 190-193.

Надійшла до редакції 27.03.2014

В.В. Фомичов, В.О. Соцков

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛЕПОЛІМЕРНИХ АНКЕРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СІТКОВИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ В ЗАДАЧАХ ГЕОМЕХАНІКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТІЙКОСТІ ПОВТОРНО ВИКОРИСТОВУВАНИХ ВИРОБОК

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

Ключові слова: обчислювальний експеримент, сталеполімерний анкер, метод кінцевих елементів.

V.V. Fomychov, V.A. Sotskov

FEATURES OF RESIN-GROUTED ROOF BOLTS SIMULATION WHEN USING FEM FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF REUSABLE WORKINGS STABILITY

In articles 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.

Keywords: numerical experiment, resin-grouted roof bolt, finite element method