

УДК 622.831

В.И. Серяков

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНЫХ БУРОВЗРЫВНЫХ СКАЛОУБОРОЧНЫХ РАБОТ

Представлена технология образования подводных траншей. Определены параметры буровзрывных скалоуборочных работ. Разработаны конструкции зарядов взрывчатого вещества.

Ключевые слова: технология, взрыв, масса, замедление, заряд.

Целью решения задач о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород в зонах подработки является оценка объемов возможных разрушений среды над выработанным пространством, прогноз деформаций налегающей толщи, в том числе и земной поверхности [1-3]. Для описания особенностей разрушения горных пород под действием различного рода нагрузок предложен ряд теоретических моделей, в большинстве которых применяются достаточно сложные соотношения, требующие детального знания деформационных и прочностных характеристик горных пород [4]. При решении практических вопросов отработки конкретных месторождений данные о строении налегающей толщи, ее механических параметрах получают по результатам испытаний кернов при бурении незначительного числа геологических скважин. В такой ситуации правомерным является применение относительно простых моделей разрушения горных пород, позволяющих на основе недостаточной информации о геометрических и механических параметрах подработанного массива, давать объективную оценку геомеханического состояния пород налегающей толщи.

Среди таких подходов наиболее распространен и применим итераци-

онный алгоритм с изменяемыми на каждой итерации механическими свойствами массива в окрестности выработанного пространства [5, 6]. При выполнении в некоторой части области моделирования одного из критериев прочности (на растяжение, сжатие или сдвиг; энергетического или деформационного) материал считается разрушенным, а его модуль Юнга E в области разрушения уменьшается в R раз: $E_1 = RE$. Величина $R < 1$ устанавливается на основе рассмотрения характера зависимости σ - ϵ для данного материала, либо из некоторых других физических соображений [5]. На допредельной стадии деформирования методика изменения E соответствует алгоритму метода переменных модулей решения нелинейных задач механики твердого тела и механики горных пород [7, 8]. При использовании метода конечных элементов это означает изменение матрицы жесткости расчетной системы. С вновь сформированной матрицей жесткости и теми же краевыми условиями производится новый расчет напряженно-деформированного состояния рассматриваемой области. Далее описанный алгоритм повторяется. Итерации продолжаются до тех пор, пока два последующих приближения не будут отличаться на некоторую малую величину.

В рамках этого же алгоритма осуществляется моделирование процесса обрушения подработанных пород в выработанное пространство. Значение модуля упругости в зоне обрушения принимается равным нулю.

Наглядная физическая сущность данного подхода, сравнительная простота реализации, возможность получать решения качественно и количественно согласующиеся с экспериментальными данными и результатами натурных наблюдений способствовали применению этого метода в различных задачах механики горных пород. При использовании же его для расчета напряженного состояния массива горных пород в зонах подработки возникает ряд трудностей, преодолеть которые пока не представляется возможным.

Главная трудность заключается в том, что изменением модуля Юнга в зоне разрушения за счет возникновения критических растягивающих напряжений рассчитать напряженно-деформированное состояние массива, в котором усилия в направлении действия растяжения обращались бы

в ноль, не удастся. Вместе с тем, зоны действия растягивающих напряжений, формирующиеся в подработанном массиве, занимают его значительную часть и играют определяющую роль в протекании процесса деформирования и разрушения налегающей толщи [3, 9].

В [3] предложен метод расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработанного пространства, в котором реализован новый подход к моделированию процесса разрушения налегающих пород, позволяющий преодолеть указанные трудности. Динамика перераспределения напряжений вследствие разрушения осуществляется с помощью итерационного метода начальных напряжений. Матрица жесткости расчетной системы формируется один раз и в процессе проведения итераций не изменяется. На рис. 1, 2 приведены некоторые результаты моделирования последовательности развития разрушения в подработанном массиве горных пород.

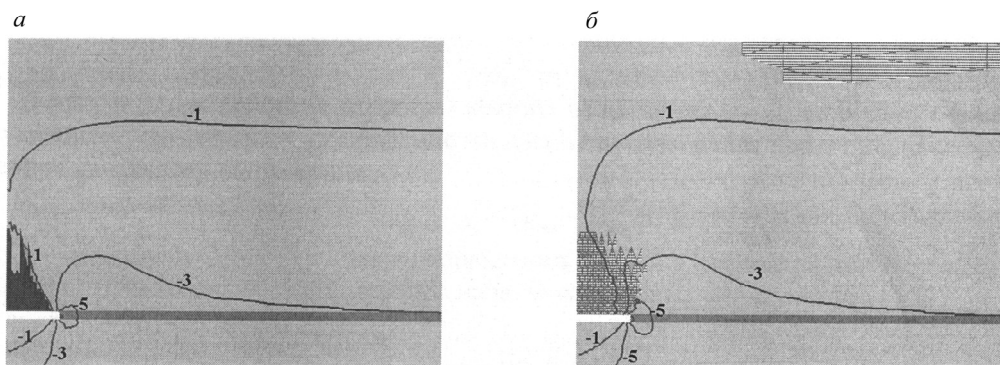


Рис. 1. Вид зоны обрушения при моделировании только процесса обрушения пород в выработанное пространство (а); конфигурация областей разрушения вследствие превышения напряжениями предела прочности пород на растяжение (б); в обоих вариантах приведены изолинии главного напряжения σ_1

Прочность на растяжение подработанных горных пород в приведенных вариантах расчетов близка к нулю $\sigma_p = 0.1$ МПа. Моделирование только обрушения пород в кровле выработанного пространства (рис. 1, а), либо только их разрушения за счет растяжения (рис. 1, б) приводит к тому, что процесс разрушения в обоих вариантах охватывает лишь небольшую область подработанных пород. Результат совместного моделирования обрушения горных пород над выработанным пространством и разрушения среды за счет действия растягивающих напряжений показан на рис. 2. Полученный характер распределения полей напряжений и конфигурация зон разрушения и обрушения соответствует реально наблюдаемым картинам деформирования массива [10]. Это есть следствие учета при моделировании двух основных факторов, влияющих на механическое поведение подработанного массива: а) обрушение пород в выработанное пространство; б) разрушение массива за счет действия растягивающих напряжений, возникающих за счет прогиба пород в выработанное пространство.

Применение метода начальных напряжений для описания разрушения горных пород позволяет рассчитать равновесное состояние среды, в котором в направлении действия одного из главных напряжений нет растягивающих значений, превышающих критический уровень. По направлению же действия второго главного напряжения деформирование пород происходит с прежним модулем упругости, хотя и в этом направлении материал претерпевает разрушение. Данную особенность геомеханического состояния массива можно описать, применяя также процедуру метода начальных напряжений, что позволяет не менять матрицу жесткости расчетной системы.

Схема реализации предложенного подхода показана на рис. 3. Расчет напряженно-деформированного состояния на всех итерациях производится с модулем Юнга равным $E_{исх}$. В тех областях массива, где главное напряжение $\sigma_1 > \sigma_{кр}$, материал считается разрушенным, и значение начального напряжения

$$\sigma_1^H = \sigma_1. \quad (1)$$

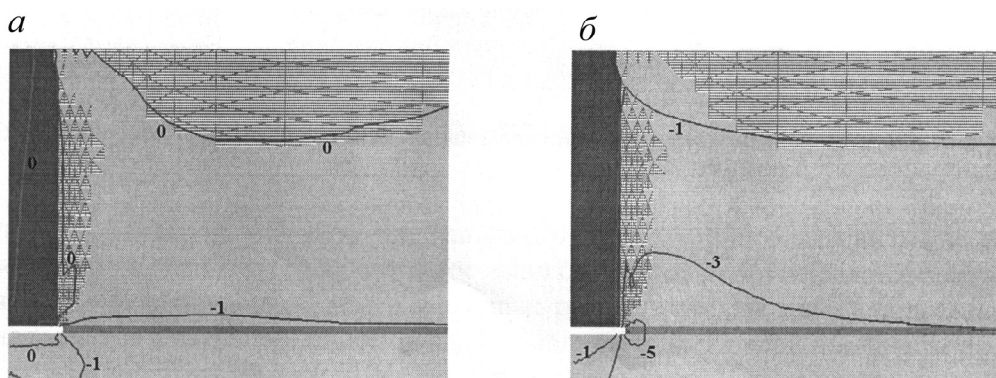


Рис. 2. Конфигурация областей обрушения и разрушения над выработанным пространством и изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) [МПа] после выполнения 100 итераций

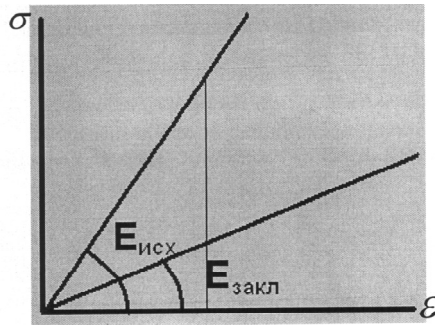


Рис. 3. Схема применения метода начальных напряжений при изменении модуля Юнга в разрушенных областях

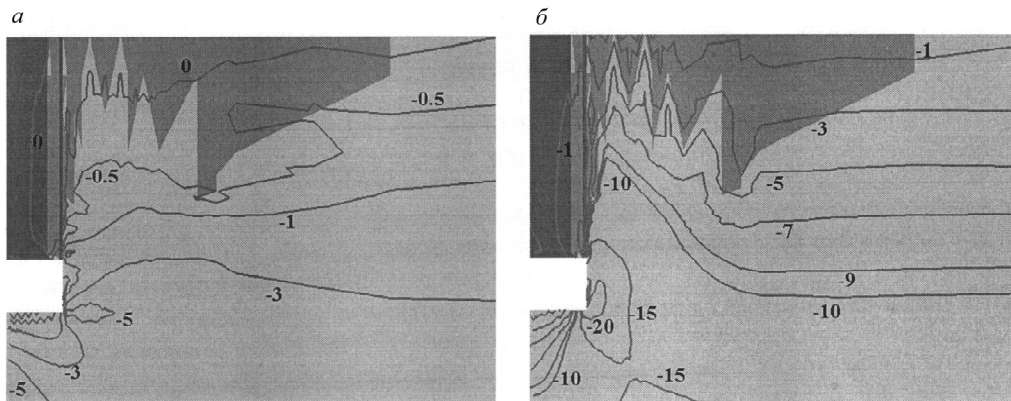


Рис. 4. Конфигурация областей обрушения и разрушения над выработанным пространством и изолинии главных напряжений σ_1 (а) и σ_2 (б) [МПа] при использовании предлагаемого метода

В направлении действия второго главного напряжения $\sigma_2 < 0$ материал также считается разрушенным, что вызывает уменьшение модуля Юнга материала в этом направлении до $E_{закл}$. Величина начального напряжения

$$\sigma_2^h = (E_{исх} - E_{закл}) \varepsilon_2, \quad (2)$$

где ε_2 — деформация, рассчитанная в направлении действия главного напряжения σ_2 .

Далее производится расчет вектора начальных узловых сил с учетом (1), (2)

$$F\{\sigma^h\} = \int_V [B]^T \begin{Bmatrix} \sigma_1^h \\ \sigma_2^h \end{Bmatrix} dv$$

и применяется процедура метода начальных напряжений

$$[K]\{\delta\} = \{F\} + \{F\}_{\{\sigma^h\}}$$

где $[K]$ — матрица жесткости расчетной системы, не меняющаяся в процессе проведения итераций, $[B]$ — матрица, связывающая смещения и деформации в конечном элементе, $\{F\}$ — вектор узловых сил, определяе-

мый массовыми силами и граничными нагрузками.

Расчеты показали сходимость предлагаемого итерационного алгоритма и возможность получения с его помощью напряженного состояния массива, отвечающего сформулированным требованиям к деформированию массива в зонах разрушения. На рис. 4 показаны некоторые результаты расчетов с использованием пред-

лагаемого метода. Предел прочности на растяжение налегающих пород в этом варианте был принят равным нулю. В зоне разрушения отсутствуют области с действием растягивающих напряжений, а учет изменения модуля Юнга в направлении действия второго главного напряжения позволяет получить динамику распространения зоны обрушения до земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. Л.: Недра, 1989.
2. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвигение и разрушение горных пород. М.: Наука, 2005.
3. Серяков В.М. К расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород над выработанным пространством // ФТПРПИ. — 2009. — № 5.
4. Каргашов Ю.М., Матвеев Б.В., Михеев Г.В., Фадеев А.Б. Прочность и деформируемость горных пород. М. Недра, 1979.
5. Муздакбаев М.М., Никифоровский В.С. О прочности материалов на сжатие // ПМТФ. — 1978. — № 2.
6. Павлова Л.Д., Фрянов В.Н. Прогноз параметров зон разрушения подработанных пород кровли пласта на основе энергетической деформационной теории // ГИАБ — 2004. — № 9.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
8. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987.
9. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве. М.: Наука, 1968.
10. Борисов А.А. Механика горных пород и пластов. М.: Недра, 1980.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Серяков В.М. — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией ИГД СО РАН.



ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) И «ЛЕНМЕТРОГИПРОТ-РАНС»			
МАСЛАК Владимир Александрович	Геомеханическое обоснование параметров конструкций пилонной станции метрополитена с малоосадочной технологией строительства	25.00.20	к.т.н.