

УДК 622.831

А.А. Неверов, С.А. Неверов, Е.В. Денисова

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С ЗАКЛАДКОЙ И ОБРУШЕНИЕМ ПОД ОХРАНЯЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Выемка слепых рудных залежей* под охраняемыми объектами обычно ведется геотехнологиями с полной закладкой очистного пространства. Высокая стоимость компонентов твердеющей закладки заставляет искать пути уменьшения ее расхода. В этой связи применительно к отработке пологопадающих рудных тел предложен способ комбинированной разработки [1–3] с закладкой и обрушением (рис. 1). Сущность его заключается в разделении залежи на участки, отрабатываемые с твердеющей закладкой и обрушением. В первую очередь извлекаются запасы, на месте которых формируются искусственные целики. Во вторую – с отставанием отрабатываются временные рудные целики под обрушенными породами кровли в форме устойчивого свода равновесия шатрового типа. Высота свода определяется заполнением породами выработанного пространства на мощность залежи. Установленная последовательность разработки должна предусматривать статическое деформирование налегающего массива горных

– этажным или подэтажным обрушением.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов этой технологической схемы было проведено численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) [4]. Рассматривались три группы задач для условий тектонического ($q = 2$) и гравитационного ($q = 0.33$) исходного полей напряжений. Первая группа – определение НДС в массивах при неотработанных рудных целиках и заложенных камерах. Вторая группа – тоже в результате выемки одного целика. Третья – при отработанных целиках. Расчеты выполнялись по упругой модели для условий плоского деформированного состояния. Условия на границе расчетной области определялись напряженным состоянием нетронутого массива.

Горный массив представляет собой сплошную среду с жестко сцепленными по контактам разномодульными слоями пород. В задачах предполагается, что закладка несет определенную нагрузку и имеет сцепление с рудным телом и вмещающими

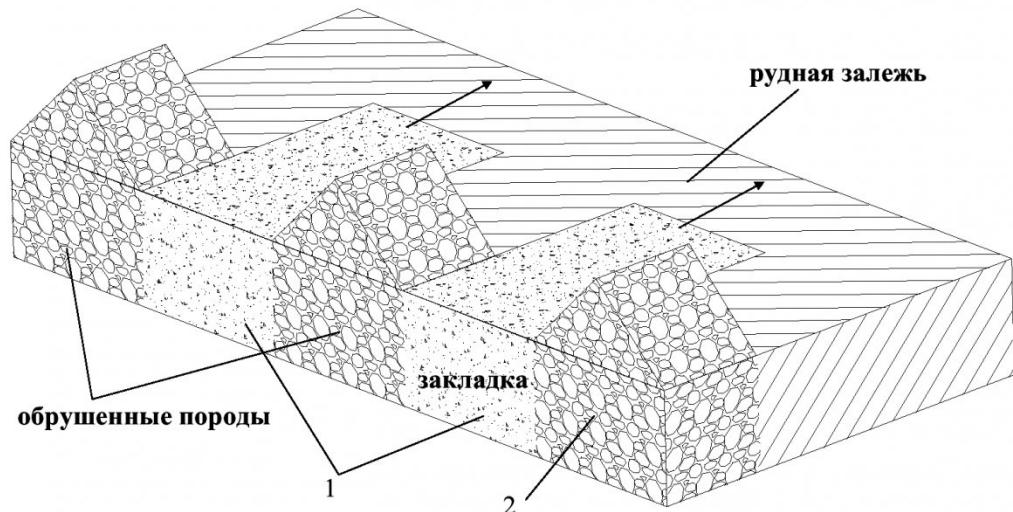


Рис. 1. Комбинированный способ разработки с закладкой и обрушением: 1 – участки, отрабатываемые системами разработки с закладкой выработанного пространства; 2 – то же системами с обрушением

пород и плавное его оседание.

В зависимости от горно-геологических условий, выемка участков с твердеющей закладкой может осуществляться слоевыми или камерными системами. Отработка временных рудных целиков

породами. Последнее позволяет принять ее низкомодульным упругим материалом, обеспечивающим сплошность очистного пространства с окружающим массивом. В первом приближении можно считать, что отсутствуют какие-либо разрывные смещения по контактам закладки и вмещающих пород.

Рудный, породный массивы и закладка моделировались упругими, изотропными, линейно-деформируемыми, однородными материалами с

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.»

Таблица. Физико-механические свойства массивов

Наименование	Объемный вес, кг/м ³	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости (E), ГПа
Рудный массив	4000	0.22	50
Породный массив	2700	0.25	60
Закладка	1900	0.33	5

физико-механическими свойства представлена-ми в таблице

Основными геометрическими параметрами расчетных вариантов рассматриваемого способа разработки являются: глубина разработки $H = 600\text{--}1200$ м; ширина заложенных камер $B_k = 60$ м; ширина временных рудных целиков $B_u = 30\text{--}60$ м. Результаты расчетов приведены в виде картин изолиний компонент главных напряжений (МПа). За максимальное главное напряжение принималось σ_1 , за минимальное – σ_3 , растяжение – со зна-ком «минус».

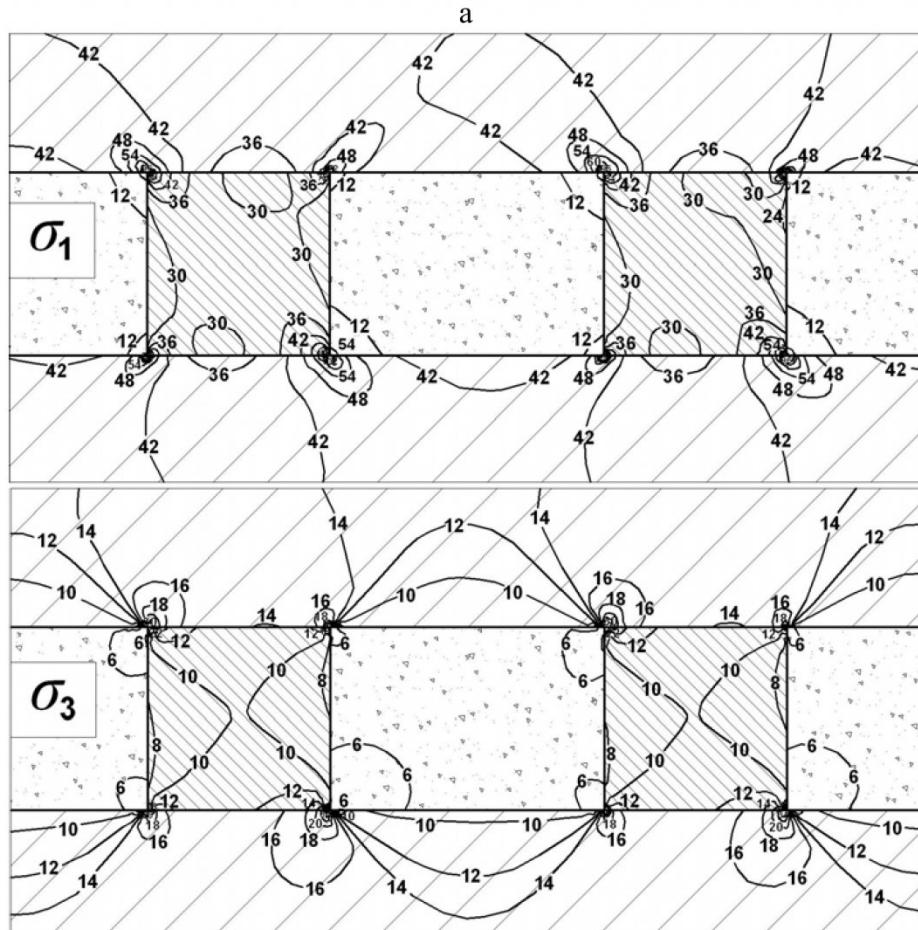
На рис. 2, 3 приведены сравнительные данные о распределении действующих напряжений в элемен-тах технологии в зависимости от исходного поля для первой и третьей групп задач при $H = 800$ м, $B_k = 60$ м, $B_u = 40$ м.

Анализ НДС элементов геотехнологии для первой группы задач (рис. 2) показал, что искусственные целики пригруженены несущественно (σ_1 до 8 МПа, σ_3 до 4–6 МПа) и испытывают состоя-ние двухосного сжатия. В данном случае, основ-

ную пригрузку воспринимают временные рудные целики, которая с увеличением глубины разработки (600–1200 м) возрастает почти в 2 раза (рис. 4 а). В условиях гравитационного исходного поля напряжений рост σ_1 в центральной части рудных целиков на 8–10% больше, чем в условиях $q = 2$.

Подобная ситуация наблюдается в искусст-венных закладочных массивах (рис. 4 б). Область растяжения отмечается в породах кровли и почвы заложенных камер в варианте $q = 0.33$, которая с глубиной усиливается до $\sigma_3 = -2 \div -5$ МПа. За счет высоких горизонтальных напряжений, действую-щих в массиве, при $q = 2$ значения σ_1 в налегаю-щей толще в 3.5–4.5 раза выше, чем в условиях гравитации. Поэтому зон с растягивающими на-пряженнями при $q = 2$ не возникает.

Принудительное обрушение пород кровли выполняет функции исключения заброса отбитой руды в выработанное пространство, а также под-бучивания обнажений искусственных целиков, повышая тем самым их прочность и устойчивость за счет бокового подпора.



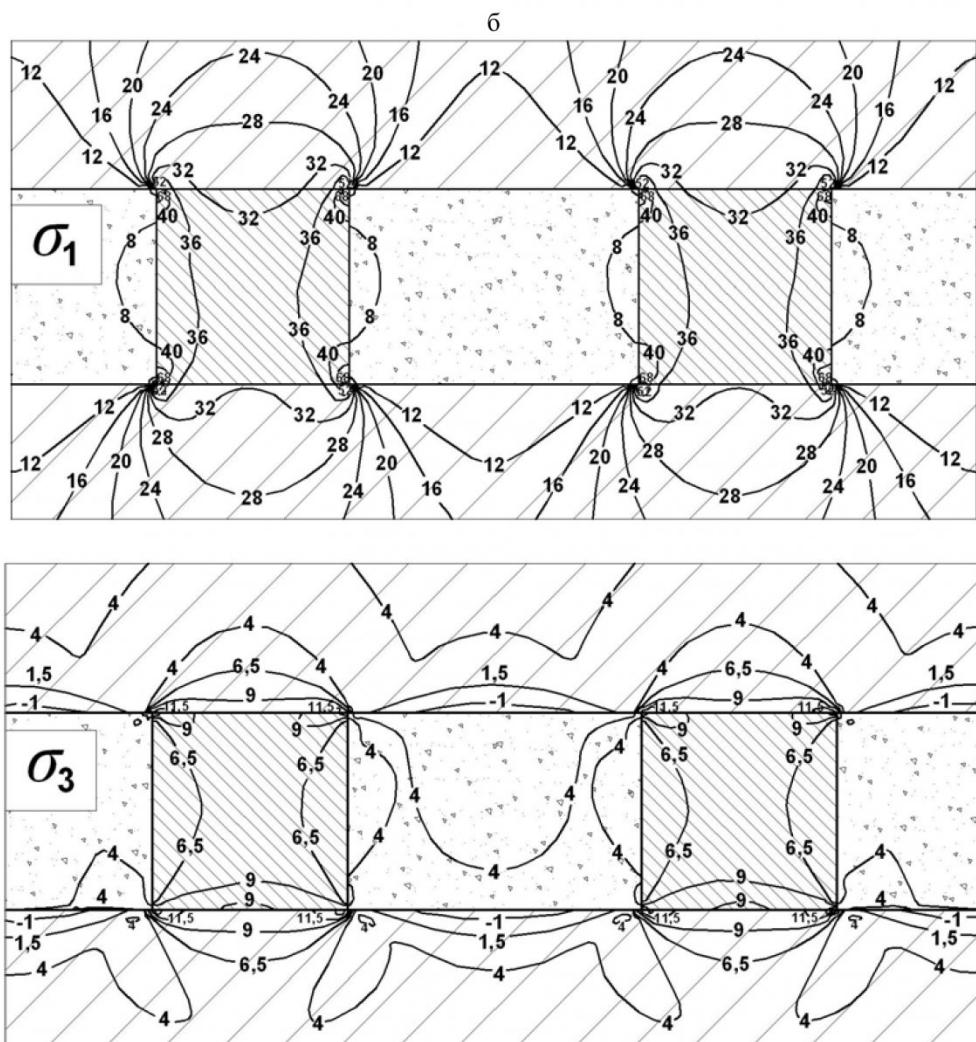
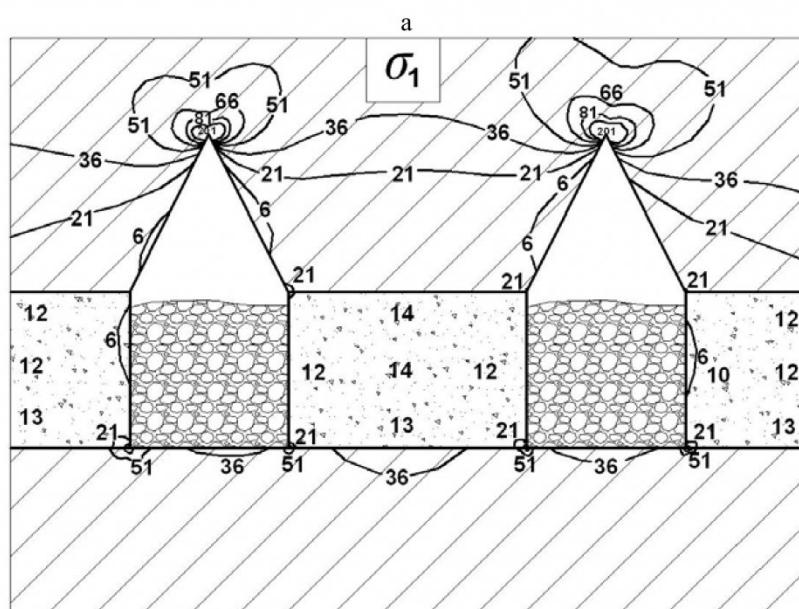


Рис. 2. Характер распределения главных напряжений в элементах геотехнологии для первой группы задач при $H = 800$ м, $B_k = 60$ м, $B_u = 40$ м: а – при $q = 2$; б – $q = 0.33$



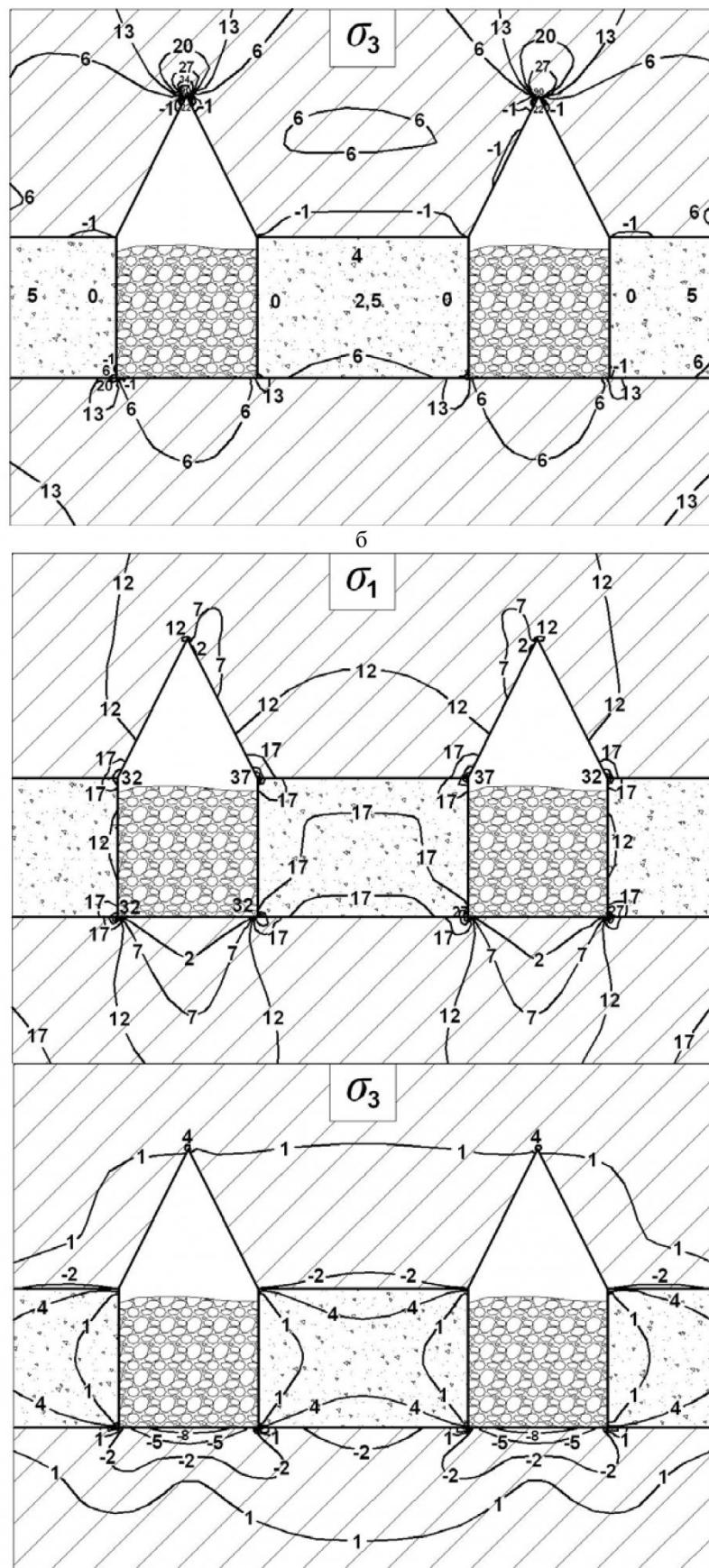


Рис. 3. Характер распределения главных напряжений в элементах геотехнологии для третьей группы задач при $H = 800$ м, $B_k = 60$ м, $B_u = 40$ м: а – при $q = 2$; б – $q = 0.33$

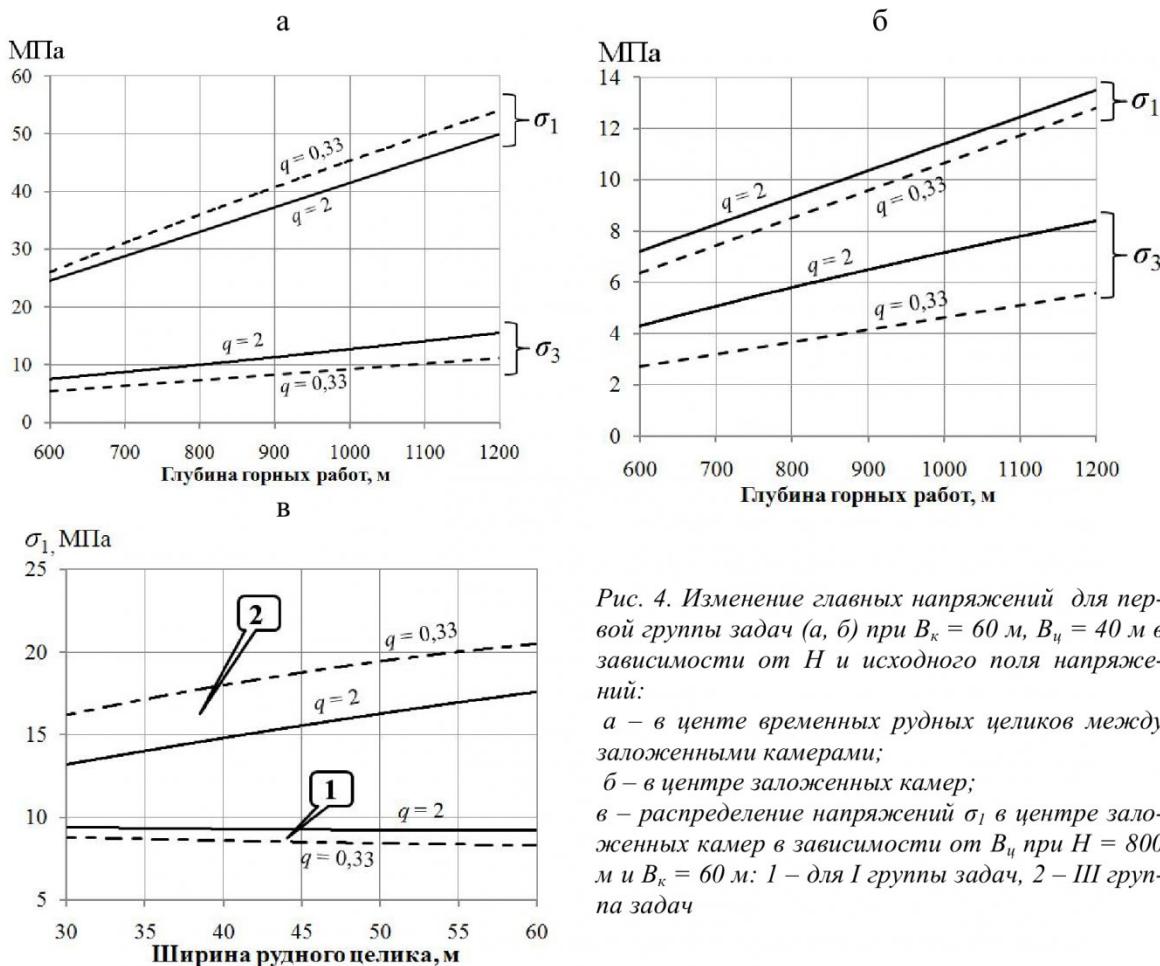


Рис. 4. Изменение главных напряжений для первой группы задач (а, б) при $B_k = 60$ м, $B_u = 40$ м в зависимости от H и исходного поля напряжений:

а – в центре временных рудных целиков между заложенными камерами;
 б – в центре заложенных камер;
 в – распределение напряжений σ_1 в центре заложенных камер в зависимости от B_u при $H = 800$ м и $B_k = 60$ м: 1 – для I группы задач, 2 – III группы задач

Выемка рудных целиков сопровождается существенным ростом напряжений σ_1 в искусственных целиках (рис. 3). При нагрузках 8–10 МПа (в случае одноосного сжатия) прочность искусственных целиков, обусловленная цементным скелетом закладочного массива, будет исчерпана, вяжущие связи разрушатся, а наличие зон растяжения в породах кровли над закладочными массивами будут способствовать к потере их устойчивости. В этих условиях следует ожидать плавного смещения налегающей толщи пород. Такая последовательность отработки создает более безопасные и контролируемые условия оседания кровли. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается при $q = 0.33$ в породах почвы под отработанными рудными целиками, где растягивающие напряжения достигают $\sigma_3 = -8$ МПа.

Оценка влияния ширины рудного целика на НДС элементов геотехнологии позволила установить следующее. Уменьшение B_u с 60 до 30 м сопровождается ростом напряжений σ_1 в их центральной части на 25–30 и 40% соответственно при $q = 2$ и $q = 0.33$. Следует отметить, что выемка одного рудного целика сопровождается увеличением нагрузки σ_1 в смежном на 20–30%. Погашение рудных целиков, как отмечалось выше, ведет к увеличению пролета отработки, вызывая тем самым дополнительную пригрузку закладочных

массивов. Так при увеличении B_u с 30 до 60 м (отработанного целика) максимальные напряжения в искусственных массивах повышаются на 30 и 35% соответственно в условиях гравитации и тектоники. Сопоставляя полученные результаты НДС заложенных камер при наличии рудных целиков и в условиях после их отработки видно, что рост давления в искусственных массивах при $q = 2$ составляет более чем 1.5–2, в варианте $q = 0.33$ более 1.8–2.6 раза (рис. 4 в). Изменения растягивающих усилий в породах кровли в зависимости от B_u для III – группы задач в ситуации $q = 2$ свидетельствуют, что их величины зависят от углов наклона свода обрушения. При $B_u = 60$ м угол является менее крутым, чем в условиях $B_u = 30$ –40 м. Вследствие этого значения растягивающих напряжений уменьшаются с $\sigma_3 = -4$ – -8 до $\sigma_3 = -1$ – -1.5 МПа. Наличие в кровле незначительных по величине растягивающих нагрузок будет способствовать плавному перемещению налегающей толщи пород.

Выводы. Рациональными параметрами временных рудных и искусственных целиков, принятых в расчетных условиях являются $B_k = B_u = 60$ м. На стадии добычных работ высокие тектонические напряжения позволяют поддерживать в устойчивом состоянии налегающий массив горных пород. Наличие шатрового свода равновесия при

водит к разгрузке пород кровли от высоких горизонтальных напряжений при $q = 2$, что является следствием возникновения зон растяжения, величина которых зависит от B_y и углов наклона свода. Исполнение технологии и последовательность

вымеки создают условия, при которых искусственные целики обеспечивают плавное смещение кровли над всем выработанным пространством, создавая вероятность статического проявления горного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Патент РФ № 1606667. Способ управления давлением // Фрейдин А.М., Какойло В.Н., Шалауров В.А., и др.; патентообладатель ИГД СО РАН // – опубл. в БИ, 1990, № 42.
- Фрейдин А.М. Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, и др. – Новосибирск: Наука, 1992.
- Болтенгаген И.Л. Расчет параметров выемочных единиц комбинированного способа разработки / И.Л.Болтенгаген, Попов С.Н. Оптимизация подземных горных работ на рудниках. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989.
- Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

□ Авторы статьи:

Неверов
Александр Алексеевич,
канд.техн.наук., старший научный
сотрудник,
(Институт горного дела СО РАН)
E-mail: nnn_aa@mail.ru,
neverovaa_79@mail.ru

Неверов
Сергей Алексеевич,
канд.техн.наук., старший научный
сотрудник (Институт горного дела
СО РАН)
Тел. (383) 217-09-52;
e-mail: nnn_aa@mail.ru

Денисова
Екатерина Вячеславовна,
канд.техн.наук., старший научный
сотрудник(Институт горного дела
СО РАН)
Тел.(383) 217-09-52

УДК 534.61

Е.В. Денисова, А.А. Неверов, С.Ю. Гаврилов, А.И. Конурин

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ДВИЖУЩЕЙСЯ В ГРУНТЕ ПНЕВМОУДАРНОЙ МАШИНОЙ

Задача отслеживания местоположения ударных машин в грунтовом массиве* при сооружении подземных переходов последние годы становится актуальной по причине развития и создания управляемых машин. В настоящее время для решения этой проблемы используют только низкочастотные электромагнитные навигационные системы иностранного производства, которые интегрированы в рабочий орган пневмоударной машины [1, 2]. Недостаточное внимание уделено созданию акустических систем навигации для беспротиводействий технологий прокладки подземных коммуникаций, существуют всего две заявки на получение патента РФ на изобретение [3, 4], принцип работы которых основан на использовании акустического поля, создаваемого движением в грунтовом массиве бурового рабочего органа. К сожалению, данные устройства не нашли своего практического применения при решении поставленной задачи.

Дальнейшее развитие беспротиводействий технологий в России невозможно без создания технических средств навигации предназначенных для оте-

чественных пневмопробойников, обеспечивающих минимальные вмешательства в конструкцию машины, надежность, информативность и точность при определении ее местоположения. Для этих целей необходимо выполнить большой объем исследований по прохождению электромагнитных и акустических сигналов в грунтовом массиве, определить оптимальный частотный диапазон системы для обеспечения требуемой разрешающей способности по углу отклонения машины и по дальности до нее, выявить влияние уже проложенных коммуникаций на точность работы системы навигации.

В связи с этим выполнены экспериментальные исследования в натурных условиях, цель которых заключалась в следующем – на поверхности земли измерить акустические сигналы, создаваемые движущимся в грунте пневмопробойником, на заданных расстояниях относительно источника удара. По данным экспериментальных исследований получить информацию о характере распределения акустического поля и о взаимосвязях его параметров со свойствами среды и положением источника удара в грунтовом массиве. Получить выводы о возможности использования самой машины в качестве источника ударных импульсов при реализации акустической системы

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.»