

## **ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА РУДНИКАХ ТАЛНАХА**

**И.Л.Болтенгаген, А.П.Тапсиев**

Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты исследований, выполненных с целью геомеханического обоснования технологических решений. Основным средством анализа служит компьютерное моделирование методом конечных элементов.

The results of investigations carried out for geomechanical substantiation of some technological decisions are stated. A computer modelling by the finite element method is used.

### **Введение.**

Подготовительные и очистные выработки, попадающие в зону влияния очистного фронта, подвергаются интенсивному разрушению, включая и динамические проявления горного давления. На основании опыта ведения горных работ на рудниках Талнаха предложены два варианта систем разработки месторождений норильского типа, обладающие при определенных условиях экономическими преимуществами в сравнении с существующими технологиями.

Первый вариант относится к способу выемки мощных пологих залежей, обладающему основным преимуществом камерно-целиковой системы разработки – высокой производительностью, но обеспечивающему необходимую устойчивость обнажений. Согласно этому способу выемку залежи предлагается вести уступным (в плане) фронтом, когда камеры первой очереди отрабатываются с закладкой выработанного пространства, между искусственными целиками оставляются надработанные рудные целики, извлекаемые камерами второй очереди.

Второй вариант направлен на снижение разубоживания руды в системе разработки с массовой отбойкой и принудительным обрушением пород кровли, применяемой на руднике «Заполярный». Принудительное обрушение предлагается производить не непосредственно над рудной залежью, а несколько выше с сохранением породной консоли, препятствующей перепуску раздробленных пород при выпуске обрушенной рудной массы.

Обсуждается опыт применения геомеханических исследований для обоснования предложенных технологических решений.

### **Вариант системы разработки мощных пологих залежей.**

Опыт эксплуатации талнахских месторождений показал, что наиболее эффективным способом снижения горного давления в районе ведения очистных работ является создание опережающего защитного перекрытия, однако эта мера сопровождается снижением производительности горных работ и требует дополнительных трудозатрат. В работе [1] предложен способ выемки мощных пологих залежей, сохраняющий высокую производительность добычи и позволяющий снизить затраты за счет сокращения объемов подготовительно–нарезных выработок и повысить

безопасность работ. Способ осуществляется следующим образом (рис.1). Отрабатываемую рудную залежь 1 разделяют на панели. Панель подготавливают по почве рудного тела выработками 2 в основании первичных камер 4, по кровле – выработками 3 по оси вторичных камер 5. Выемку запасов панели ведут с опережающей отработкой первичных камер, которые располагают в одну линию вдоль фронта очистных работ. Для отбойки руды камеры обуривают из выработок 2 веерами скважин с углом наклона  $70-75^{\circ}$  в сторону рудного массива, а первый ряд скважин располагают вдоль границы раздела руда – закладка и производят его первоочередное взрывание в зажатой среде. Боковые стенки первичных камер формируются с наклоном в сторону вторичных камер 5 между подготовительными выработками 2 и 3. Первичные камеры 4 отрабатывают одновременно и в совокупности с выработками 3 образуют по кровле сплошную надрработку вторичных камер 5. После полного выпуска рудной массы из первичных камер 4 в выработках 2 возводят перемычки и закладывают камеры твердеющими смесями. Вторичные камеры 5 отрабатывают в разгруженной от горного давления зоне с отставанием  $L$  от забоев первичных камер 4, которого достаточно для набора закладочным массивом нормативной прочности. Камеры 5 отрабатывают через одну, чтобы несколько снизить воздействие на искусственный массив статических и динамических нагрузок. Перед отработкой вторичных камер 5 доставочные выработки 6 расширяют на ширину камер и создают плоское днище 7, из которого обуривают запасы камер веерами скважин 8. Отбойку руды производят аналогично первичным камерам 4 и после выпуска руды вторичные камеры 5 закладывают малопрочными твердеющими смесями.

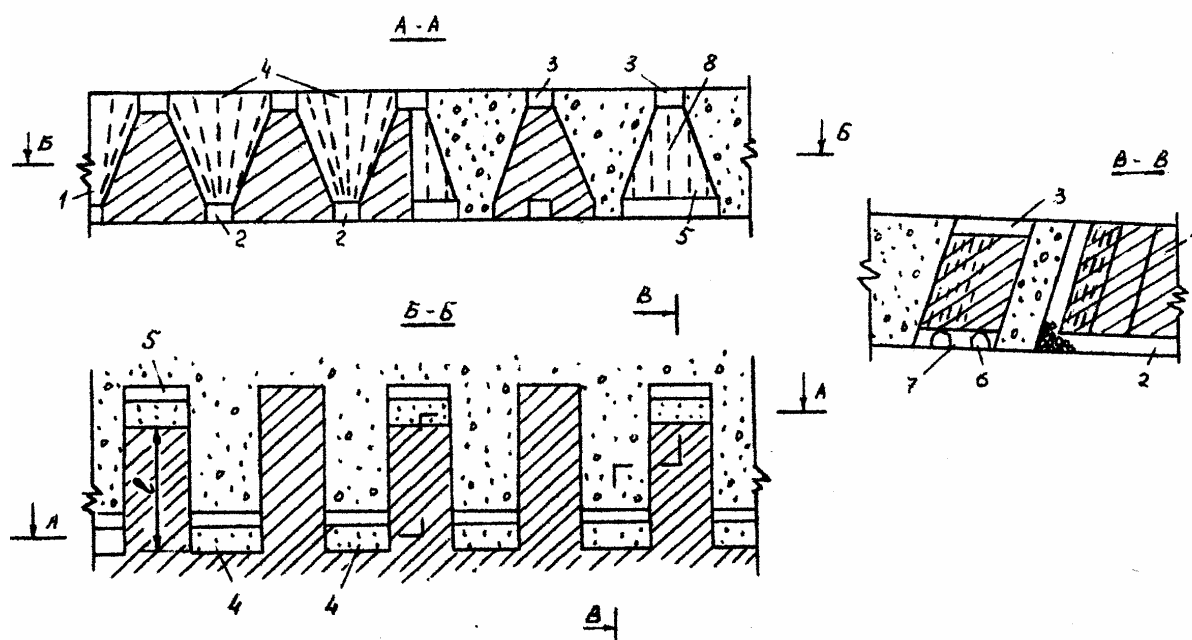


Рис.1. Разрезы и план горных работ вблизи очистного фронта при использовании предложенного варианта системы разработки мощных пологих залежей.

В данном способе разработки предложены два технических решения, направленные на улучшение геомеханических условий вблизи очистных работ. Во-первых, формирование наклонной в сторону массива стенки снижает концентрацию напряжений в почве рудного тела, где расположены подготовительные выработки первичных камер. Во-вторых, наличие рудных целиков сохраняет некоторый боковой

подпор рудного массива со стороны выработанного пространства, что способствует повышению устойчивости призабойных подготовительных выработок.

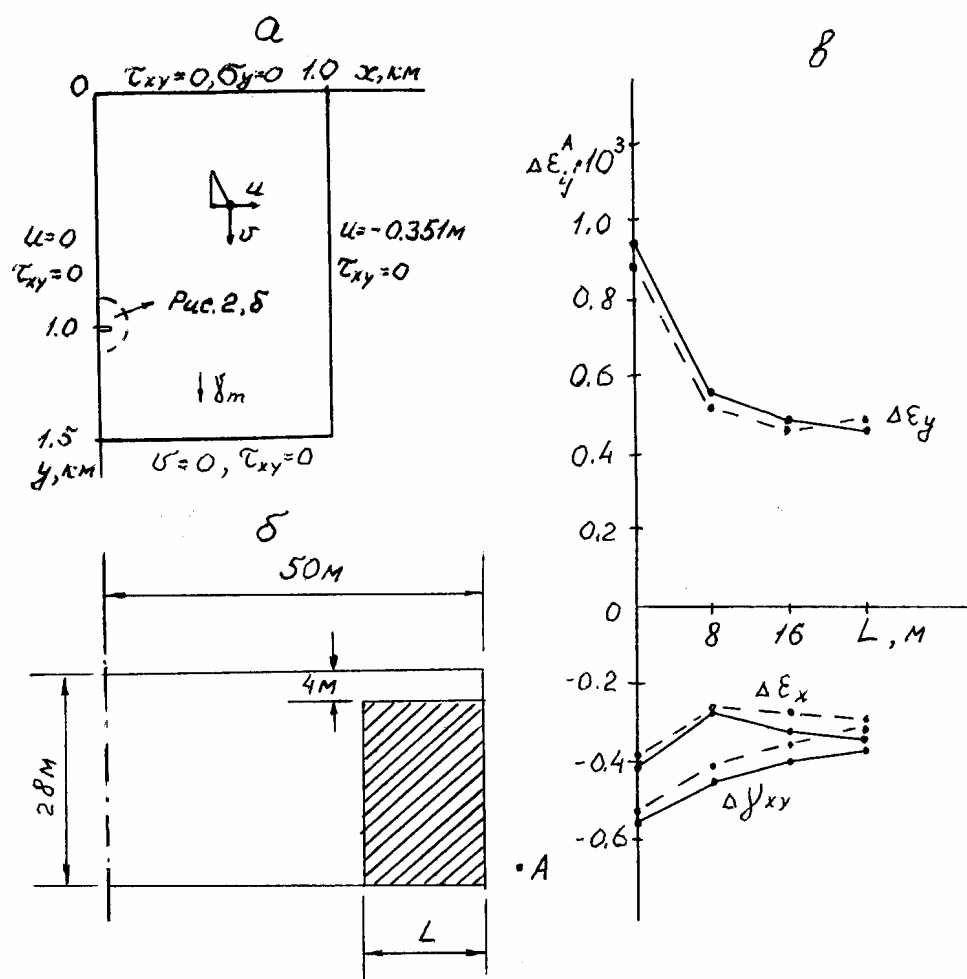


Рис.2. Схема расчетной области (а) и геометрические параметры выработанного пространства (б). Зависимости дополнительных деформаций рудного массива в нижней части забоя (в) от величины опережения выемки первичных камер  $L$  при различных деформационных свойствах закладки (сплошные линии в случае  $E_f = 300$  МПа, пунктир –  $E_f = 0$ )

*Анализ применения надработанных рудных целиков.* Использовалась расчетная схема, представленная на рис.2,а,б. На глубине 1 км расположено выработанное пространство шириной 100 м и высотой 28 м, заполненное твердеющей закладкой с деформационными свойствами  $E_f = 300$  МПа,  $\nu_f = 0,3$ . Модуль упругости, коэффициент Пуассона и удельный вес массива горных пород соответственно  $E_m = 40$  ГПа,  $\nu_m = 0,3$ ,  $\gamma_m = 0,027$  МПа/м. Вследствие симметрии задачи рассматривалась половина полной области решения. Граничные условия заданы таким образом, чтобы обеспечить исходное гидростатическое напряженное состояние на глубине залегания рудного тела. Наличие рудных выступов в технологической схеме при решении задачи в плоской постановке учитывалось значением эффективного модуля упругости для этой области  $E_e = E_m/2 = 20$  ГПа, что позволило аппроксимировать состояние рудного массива впереди очистного фронта при частичном его подпоре рудными целиками.

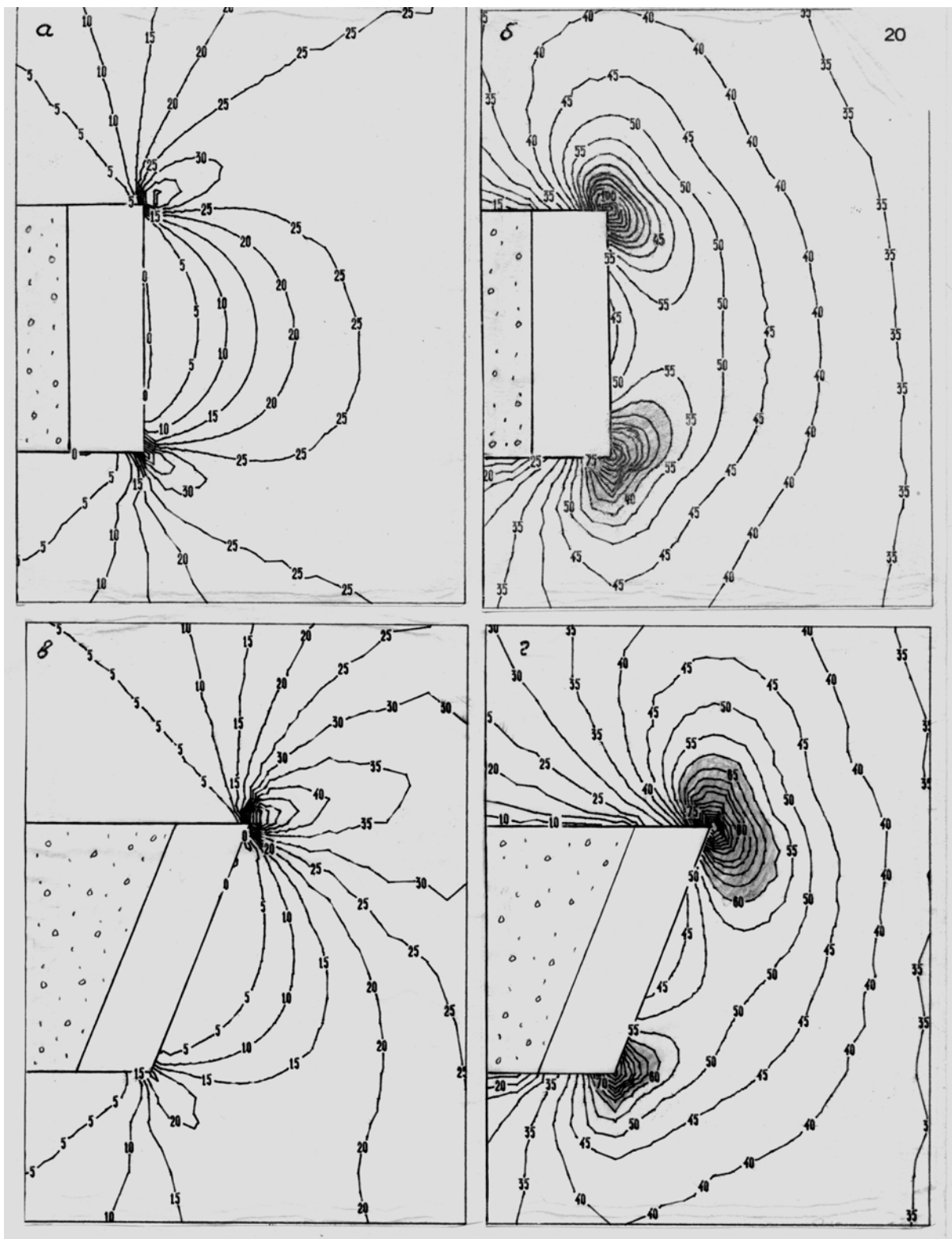


Рис.3. Изолинии минимальных (слева) и максимальных (справа) главных напряжений (МПа) в массиве горных пород вблизи очистного фронта в случае вертикальной (а,б) и наклонной (в,г) стенки очистной камеры. Мощность рудного тела – 25 м, модуль деформации закладки – 450 МПа. Выделены области повышенных значений (более 60 МПа) максимальных главных напряжений.

Решение получено при различных величинах опережения выемки первичных камер  $L = 0, 8, 16$  и  $24$  м (рис.2,б). При ведении горных работ предложенным способом наиболее ответственным моментом является обеспечение устойчивости подготовительных выработок 2 (рис.1), создаваемых впереди очистного фронта по почве рудного тела. Пусть  $\varepsilon_{ij}^0$  – исходные деформации рудного массива, а  $\varepsilon_{ij}$  – деформации массива при ведении горных работ. Если принять, что проходка и крепление подготовительных выработок осуществляется вне зоны влияния очистных работ, то состояние крепления определяется прежде всего уровнем дополнительных деформаций массива  $\Delta\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^0$ . На рис.2,в приведены величины дополнительных деформаций в почве рудного тела вблизи очистного фронта (точка А на рис.2,б) при различных величинах опережения отработки первичных камер  $L$  и свойствах закладки. Наличие рудных целиков способствует снижению вертикальных деформаций  $\Delta\varepsilon_y$  примерно вдвое. Из анализа результатов решения можно сделать вывод о преимуществах предложенного способа разработки по сравнению с камерной системой, когда камеры располагаются вприсечку к закладочному массиву, и рекомендовать величину опережения выемки первичных камер  $16 - 24$  м.

*Анализ состояния вертикального и наклонного забоев.* Для оценки эффективности применения наклонной стенки использовалась расчетная схема аналогичная представленной на рис.2,а. Рассматривались варианты задач с различными значениями угла наклона стенки очистной камеры в сторону рудного массива. На рис.3 показаны изолинии минимальных (а,в) и максимальных (б,г) главных напряжений вблизи очистного фронта в случае вертикального (а,б) и наклонного в сторону рудного массива под углом  $68^\circ$  (в,г) соответственно. С увеличением наклона стенки очистной камеры наблюдается снижение концентрации напряжений в почве рудного тела, где располагаются подготовительные выработки.

Таким образом рекомендованные технические решения (формированием рудных целиков и создание очистных камер с наклонными стенками) способствуют повышению устойчивости подготовительных и очистных выработок вблизи очистного фронта.

### **Вариант системы разработки с обрушением пород кровли.**

В работе [2] предложена система разработки мощных пологопадающих рудных залежей с массовой отбойкой руды и принудительным обрушением пород кровли, предусматривающая сохранение породной консоли путем создания зоны разрушения над консолью, отбойки руды на подэтажах с управляемым отделением породной консоли и выпуском отбитой руды. Способ осуществляется следующим образом (рис.4,а,б). Над породной консолью 1 до ее подработки проходят буровые выработки 2, из которых до границ шага обрушения бурят горизонтальные 3 и крутонаклонные 4 скважины для разрушения породного массива 6 на крупные блоки 7. Проходят выработки 8 и 9 для обрушения рудного тела 10 на подэтажах 11 и вентиляционно – ходовые восстающие 12. Производят взрывание горизонтальных 3 и крутонаклонных 4 скважин. Бурят веера скважин 18 на подэтажах, проводят отбойку равных по толщине слоев, располагая кромки уступов 19 относительно друг друга в плоскости 20. При этом осуществляют опережающую выемку вышележащих подэтажей. Отбитую руду 21 выпускают через воронки 17 сначала в дальнем от забоя участке отбитой рудной массы, а затем в призабойной зоне. При достижении очистным забоем верхнего подэтажа границы шага самообрушения и отделения от породной консоли блока 1 выпуск отбитой руды осуществляют равномерно, сохраняя горизонтальное положение опускающегося блока породной консоли 1.

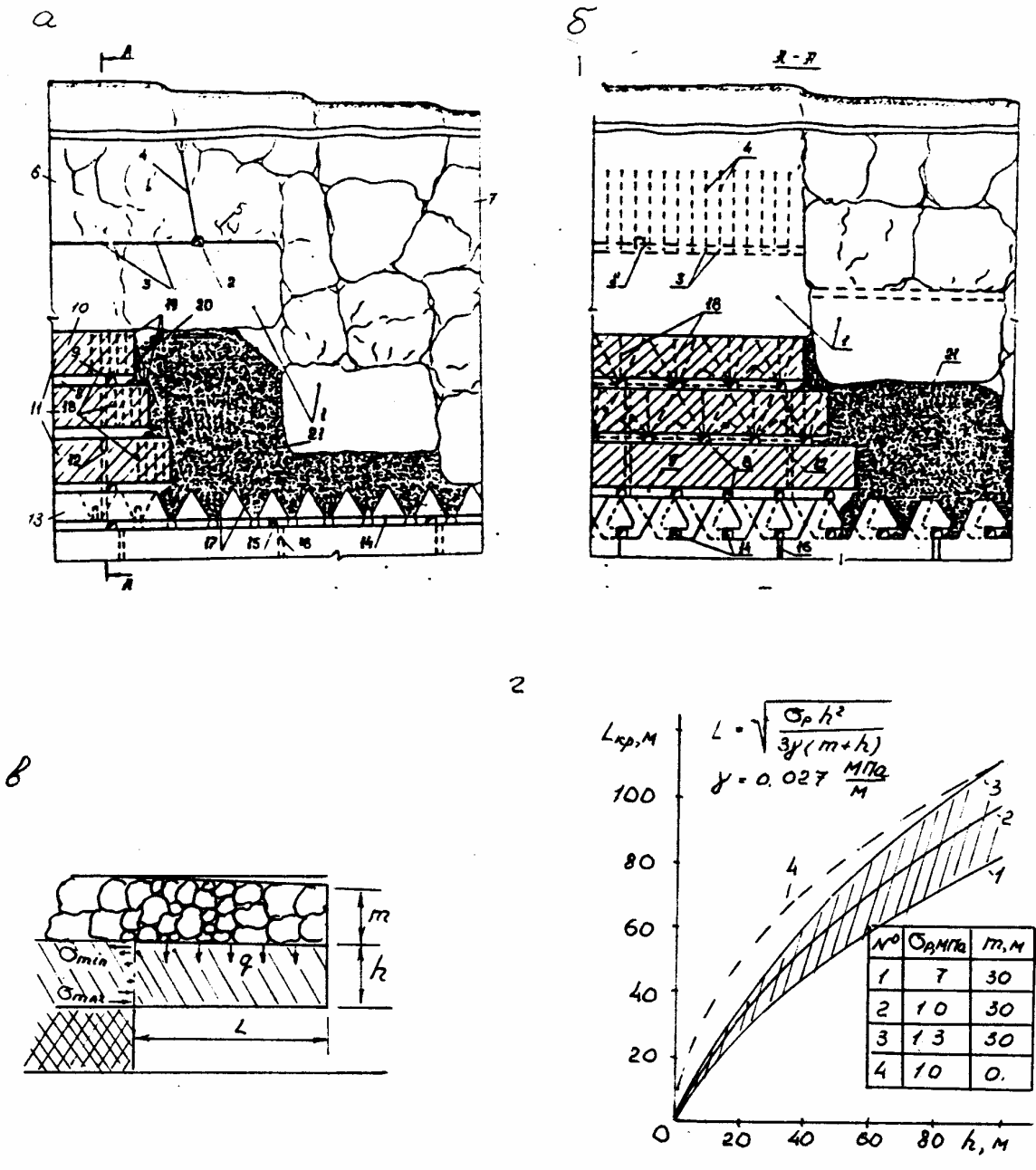


Рис.4. Вертикальные разрезы рудного тела (а,б). Расчетная схема (в). Зависимость шага самообрушения породной консоли от ее мощности при различных значениях прочности массива на растяжение и высоты обрушаемого породного слоя.

Управление шагом самообрушения породной консоли путем изменения ее мощности позволяет согласовать технологические параметры конструктивных элементов системы разработки. Расчетная схема приведена на рис.4,в. Оценивается длина консоли  $L_k$ , при которой происходит её обрушение под действием равномерно распределенной нагрузки  $q$ . Максимальные растягивающие и сжимающие напряжения возникают в вертикальном сечении над забоем (рис.4,в) в наиболее удаленных от центральной горизонтальной оси консоли точках. Для симметричного сечения консольной балки [3]  $\sigma_{max} = -\sigma_{min} = M/W$ , где  $W$  – момент сопротивления изгибу,

равный в случае прямоугольного сечения  $W = bh^2/6$  ( $b$  – ширина,  $h$  – высота), а  $M$  – изгибающий момент, равный при равномерном распределении нагрузки  $M = qL^2/2$ . Прочность на сжатие горных пород существенно превышает прочность на растяжение  $\sigma_p$ , поэтому условие самообрушения консоли можно записать в виде  $\sigma_p = \frac{3qL^2}{bh^2}$ .

Для определения удельного давления  $q/b$ , приходящегося на единицу длины консоли, необходимо сделать некоторые допущения: нагрузка является суммой веса консоли  $\gamma h$  и давления  $\gamma m$  обрушенного слоя пород мощности  $m$ , где  $\gamma$  – удельный вес породы. Величину мощности обрушенного слоя пород можно принять равной длине скважин 4 (рис.9,а,б). Тогда условие самообрушения породной консоли запишется в виде:

$$L_k = \sqrt{\frac{\sigma_p h^2}{3\gamma(m+h)}} \quad (1),$$

где  $\gamma = 0,027$  МПа/м – удельный вес обрушенных пород,  $m = 25-30$  м,  $h$  – высота консоли,  $\sigma_p = 7-13$  МПа – прочность массива на растяжение. На рис.4,г приведены зависимости шага самообрушения консоли от её высоты при различных значениях параметров. Из-за естественного разброса прочностных свойств горных пород в массиве существует неопределенность в выборе шага самообрушения (заштрихованная область на рис.4,г). Там же для сравнения приведена зависимость шага самообрушения от мощности консоли при возможном зависании пород и обрушении консоли под действием лишь её собственного веса.

### **Заключение.**

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы по использованию предложенных технических решений на рудниках Талнаха.

Способ разработки мощных пологих залежей, предусматривающий создание уступного в плане фронта и выемку надработанных рудных целиков с отставанием на 15-25 м от очистного фронта обеспечивает более устойчивое состояние призабойного рудного массива и подготовительных выработок в сравнении с вариантом сплошной камерной разработки.

Применение наклонной под углом около  $70^\circ$  в сторону рудного массива стенки очистной камеры позволяет снизить концентрацию напряжений на забое на 10-20% по сравнению с камерами, имеющими вертикальные стенки, и соответственно увеличить безопасные пролеты отработки залежи без создания опережающего защитного перекрытия.

Для определения шага самообрушения породной консоли при использовании предложенной системы разработки с массовой отбойкой руды и принудительным обрушением пород кровли рекомендуется использование соотношения (1).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. А.с. СССР № 1006753. Способ разработки мощных рудных залежей.- Оpubл. в Б.И., 1983, №11.
2. А.с. СССР № 1492055. Способ разработки мощных пологопадающих рудных тел.- Оpubл. в Б.И., 1989, №25.
3. Тимошенко С.П., Гере Д. Механика материалов. –М.: Мир, 1976.