

**Д.В.СИДОРОВ**, канд. техн. наук, доцент, (812) 328-84-40, [sidorov-post@yandex.ru](mailto:sidorov-post@yandex.ru)  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**D.V.SIDOROV**, PhD in eng. sc., associate professor, (812) 328-84-40, [sidorov-post@yandex.ru](mailto:sidorov-post@yandex.ru)  
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ СУБРА

Приводятся результаты анализа факторов, влияющих на безопасное ведение горных работ. Рассмотрены технологические решения по управлению горным давлением, позволяющие вести горные работы на больших глубинах в удароопасных условиях. Приведены методические положения и результаты определения параметров конструктивных элементов систем разработок для условий Североуральских бокситовых месторождений.

**Ключевые слова:** камерно-столбовая система разработки, выработанное пространство, барьерный целик, междукammerный столбчатый целик, междукammerный ленточный целик, динамическая пригрузка.

## GEOMECHANICAL JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF ROOM-AND-PILLAR MINING SYSTEM FOR DESIGNING OF DEEP-LYING HORIZONS OF SUBR

Results of the analysis of factors of mining operations influencing safe conducting are resulted. Technological solutions on the pressure control, allowing messages mining operations on the big depths in rock-bump hazardous conditions are considered. Methodical positions and results of definition of parameters of constructive elements of systems of minings for conditions North Ural bauxite deposits are resulted.

**Key words:** chamber-and-pillar mining method, a goaf, a pillar, dynamic pressure.

Предприятие ОАО «Севуралбокситруда» (СУБР) разрабатывает бокситовые месторождения Черемуховское, Ново-Кальинское, Кальинское и Красная Шапочка, входящие в Североуральский бокситовый бассейн. В соответствии с Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (2007) Североуральские бокситовые месторождения отнесены к месторождениям сложного геологического строения (2-я группа) с крупными (площадью от 0,5 км<sup>2</sup> до первых квадратных километров) карсто-пластообразными залежами с выровненной кровлей и неровной подошвой, изменчивой мощностью (от 1 до

30 м, в среднем 4-6 м). В соответствии с РД 06-329-99 [2] месторождения отнесены к опасным по проявлению горных ударов.

В настоящее время на шахтах ОАО «Севуралбокситруда» основной объем очистных работ сконцентрирован на глубинах 1000-1200 м с проектированием к отработке новых горизонтов до глубины 1400 м. Сложные горно-геологические условия (невывержанная мощность рудной залежи, неравномерное оруденение, различные физико-механические свойства руд и вмещающих пород, тектоническая нарушенность) и горно-технические условия (сложное взаимное влияние очистных работ, порядок ведения горных работ, оставление целиков различного

назначения, большие площади обнажения кровли, повышенная изрезанность рудного массива) приводят к неравномерному перераспределению напряжений в горном массиве.

Из систем разработок наибольшее распространение получила камерно-столбовая система разработки (КССР). Удельный вес системы в общей добыче руды составляет около 50 %. Значительный объем применения КССР связан с рядом преимуществ: высокие интенсивность выемки подготовленных запасов и производительность труда, обусловленные простотой технологической схемы добычи и наличием фронта очистных работ. Вместе с тем КССР является наиболее опасной по проявлению горного давления в динамической форме.

Рассмотрение практического опыта применения камерно-столбовой системы разработки на шахтах СУБРа показало, что в условиях больших глубин и динамического проявления горного давления эта система без применения специальных мер имеет повышенную опасность. При этом способы управления горным давлением, эффективные на верхних горизонтах, не удовлетворяют безопасности производства работ на современных глубинах, что обусловлено изменением характера геодинамических процессов при отработке бокситовой залежи.

Необходимость пересмотра действующих нормативных документов и выполнение геомеханического обоснования параметров конструктивных элементов КССР были связаны со значительным увеличением на глубинах 800-1000 м разрушений в панельных штреках и рудных восстающих, кровли очистных камер и опорных целиков различных размеров и конфигураций. При этом, как правило, имели место разрушения целиков и обрушения пород кровли и в отработанном пространстве. Из основных причин проявления горного давления в динамической форме следует отметить влияние размеров открытого очистного пространства и соотношение площадей опор и обнажений кровли в пределах отдельного выемочного участка. По мере увеличения площади выработанного пространства опорные целики постепенно пригружаясь, разрушались как в статической, так и динамической форме. В ре-

зультате часть нагрузки от подработанных пород, воспринимаемая целиками, передавалась на краевую часть залежи. Оценка соответствия применяемых на шахтах ОАО «Севуралбокситруда» параметров конструктивных элементов КССР горно-геологическим, горно-техническим и геодинамическим условиям применения показала, что они требуют существенной корректировки и дифференцирования, а также принятия новых технологических решений.

Суть технологических решений заключалась в том, чтобы различными вариантами размещения естественных опор (безрудных участков), барьерных и опорных целиков сократить размеры выемочных участков. В рамках опытно-промышленных испытаний ОАО «Севуралбокситруда», ОАО «ВНИМИ» и ОАО «Унипродед» на наиболее удароопасных участках полей шахт 14-14 бис и Кальинская, отработка которых традиционными схемами и с конструктивными параметрами КССР\*, рассчитанными в соответствии с [3] была крайне затруднительна, использовались следующие варианты: оставление рудных барьерных целиков (рис.1) с последующей их отработкой системами без присутствия горнорабочих в очистном пространстве; формирование ленточных опорных целиков с расположением их длинной осью по восстанию (рис.1, в); формирование ленточных панельных целиков без их последующей разрезки; увеличение размеров рудных опорных целиков относительно их расчетных величин; уменьшение пролетов очистных камер.

Для принятия решения по выбору параметров конструктивных элементов КССР были разработаны методики по определению допустимых размеров выработанного пространства, размеров барьерных целиков, параметров междукamerных целиков с квадратным или близким к нему поперечным сечением, параметров междукamerных ленточных целиков, параметров междукamerных целиков с учетом их неоднородного строения, параметров междукamerных целиков с учетом их динамической пригрузки.

\* Параметры рассчитывались в соответствии с Руководством по выбору конструктивных параметров КССР на шахтах ОАО «СУБР» (1997).

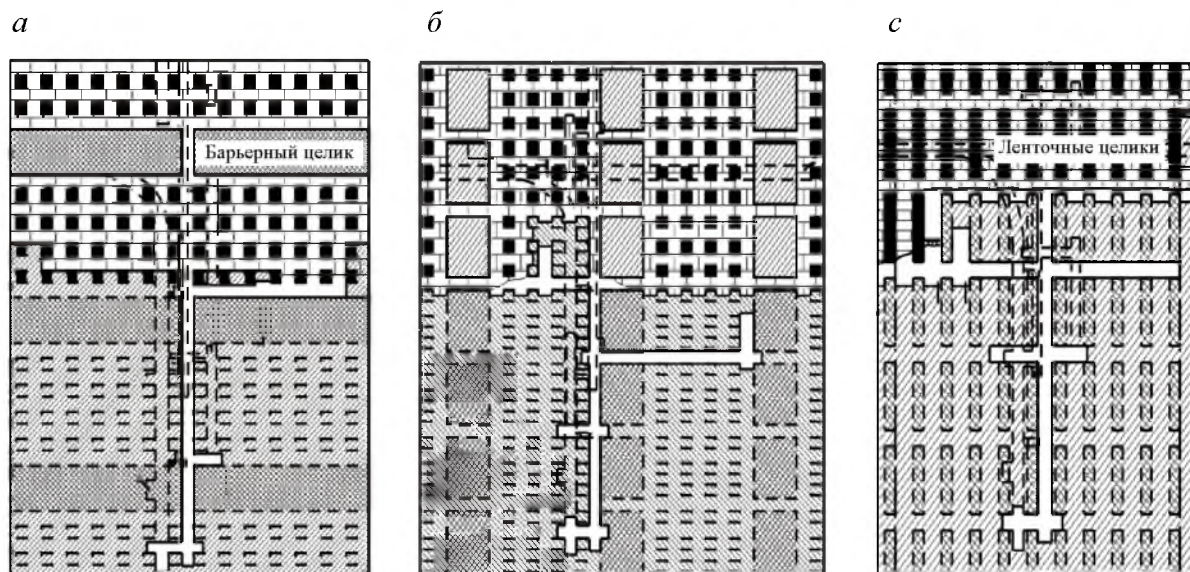


Рис. 1. Технологические решения по управлению горным давлением: *а* – барьерные целики с длинной осью по простиранию; *б* – барьерные целики с длинной осью по падению; *в* – ленточные целики по восставию

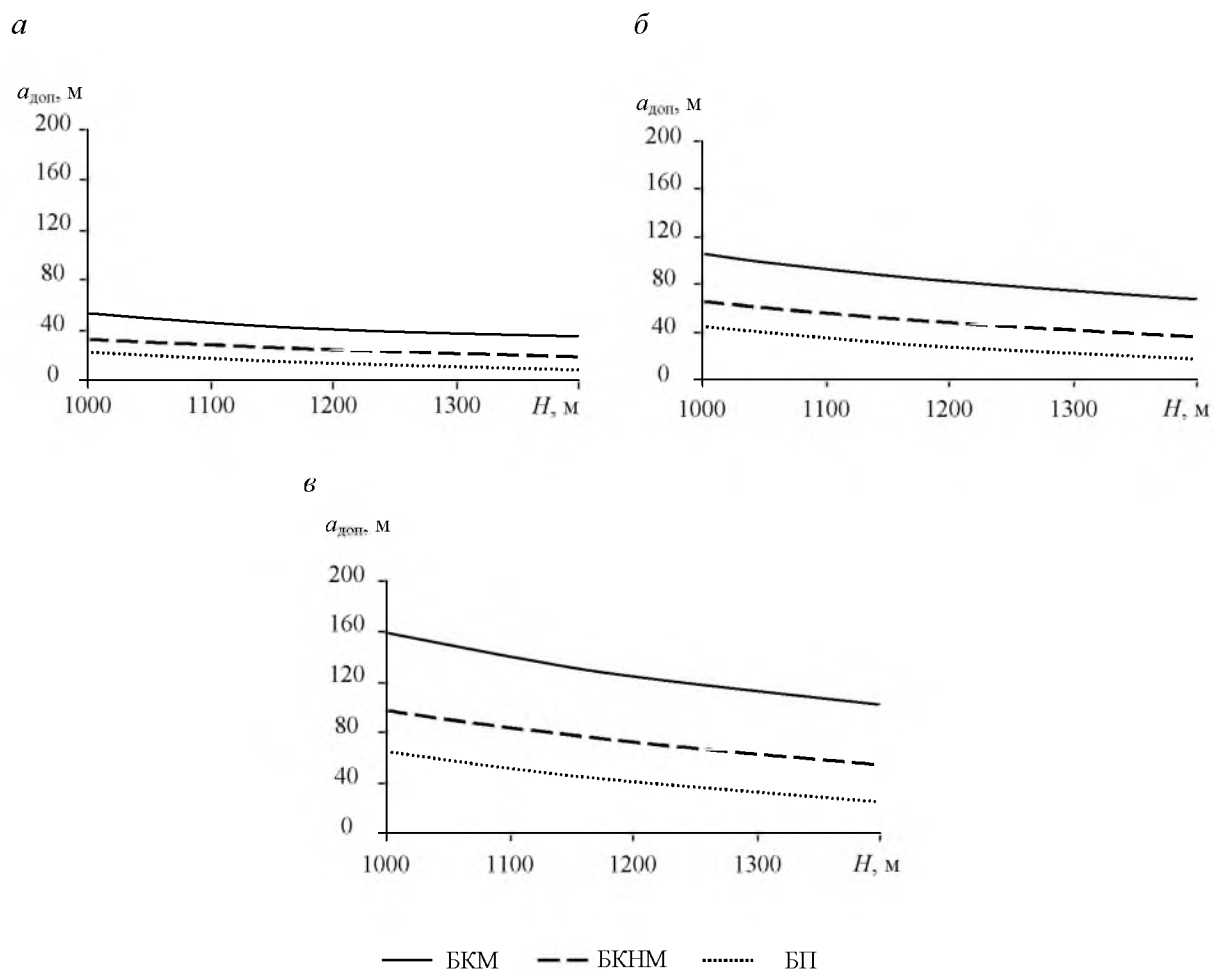


Рис. 2. Параметры безопасных размеров выработанного пространства при изменении мощности: 2 м (*а*); 4 м (*б*); 6 м (*в*)

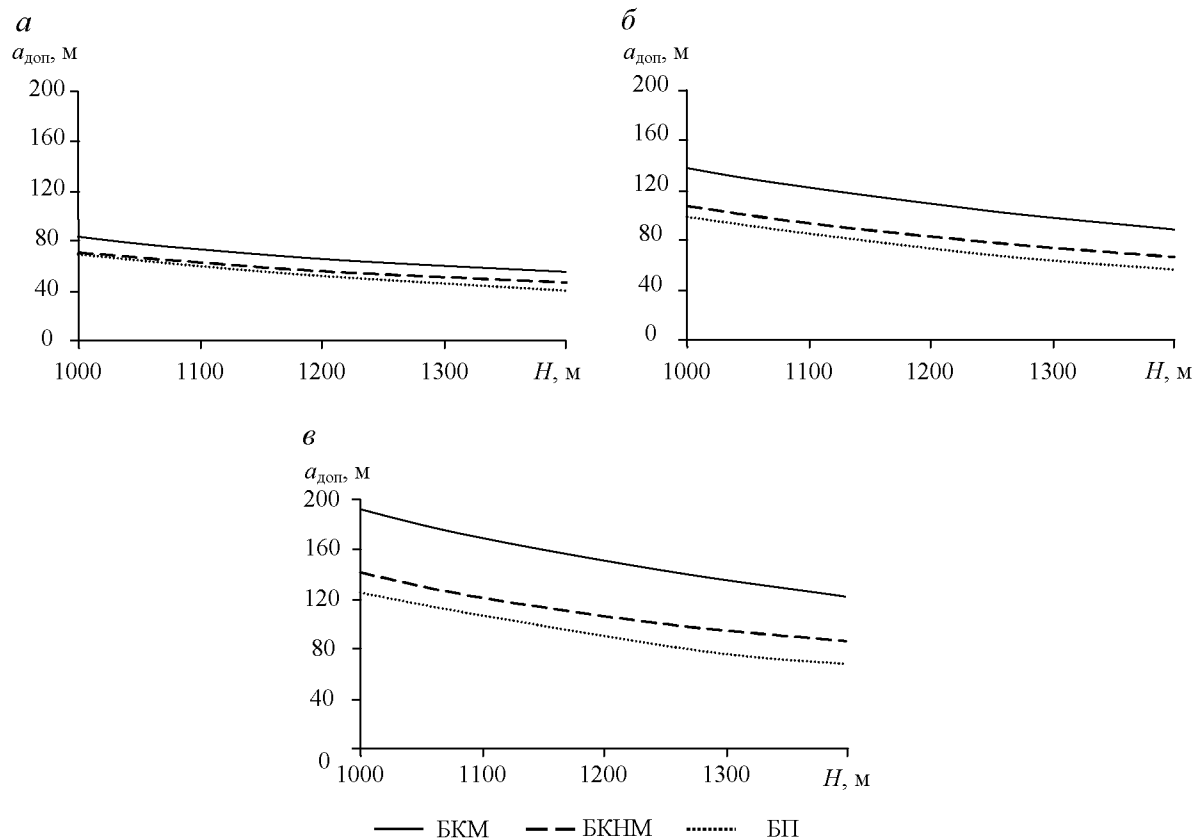


Рис.3. Параметры безопасных размеров выработанного пространства при применении скважинной разгрузки при изменении мощности: 2 м (*a*); 4 м (*б*); 6 м (*в*)

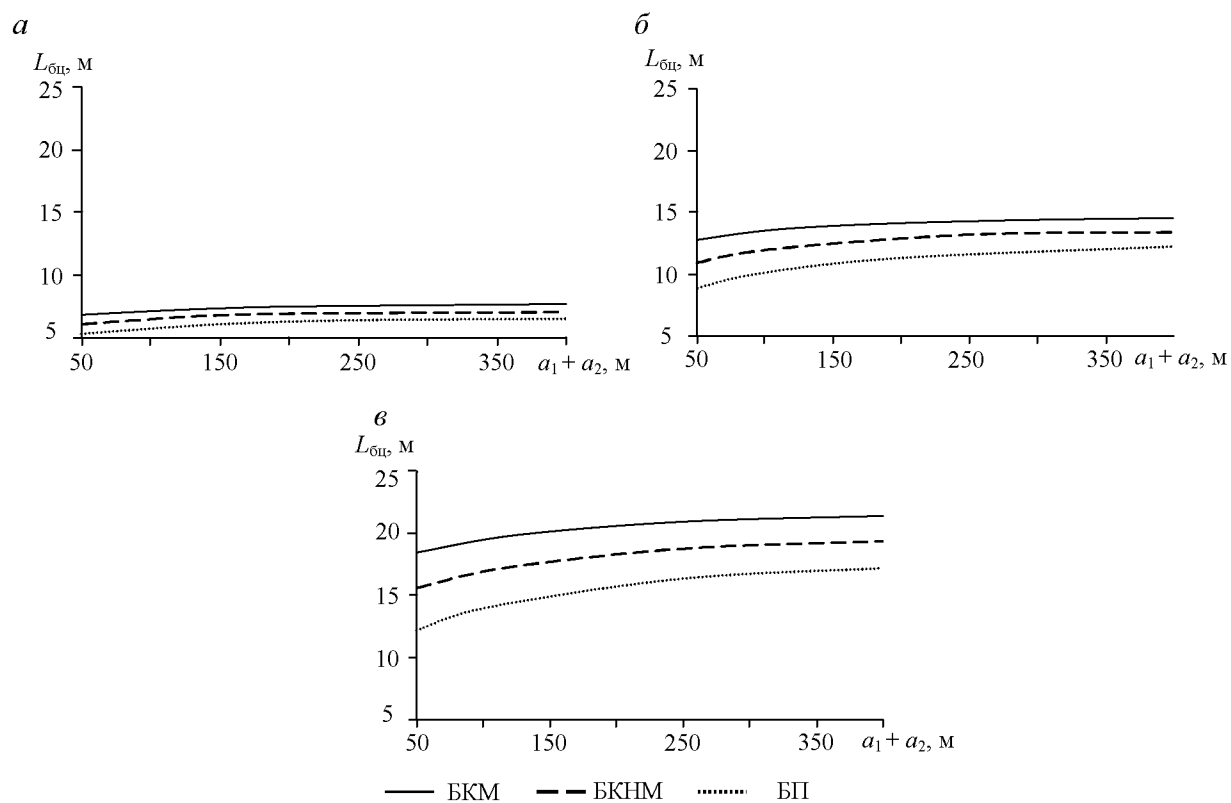


Рис.4. Ширина барьерных целиков при изменении мощности: 2 м (*a*); 4 м (*б*); 6 м (*в*)

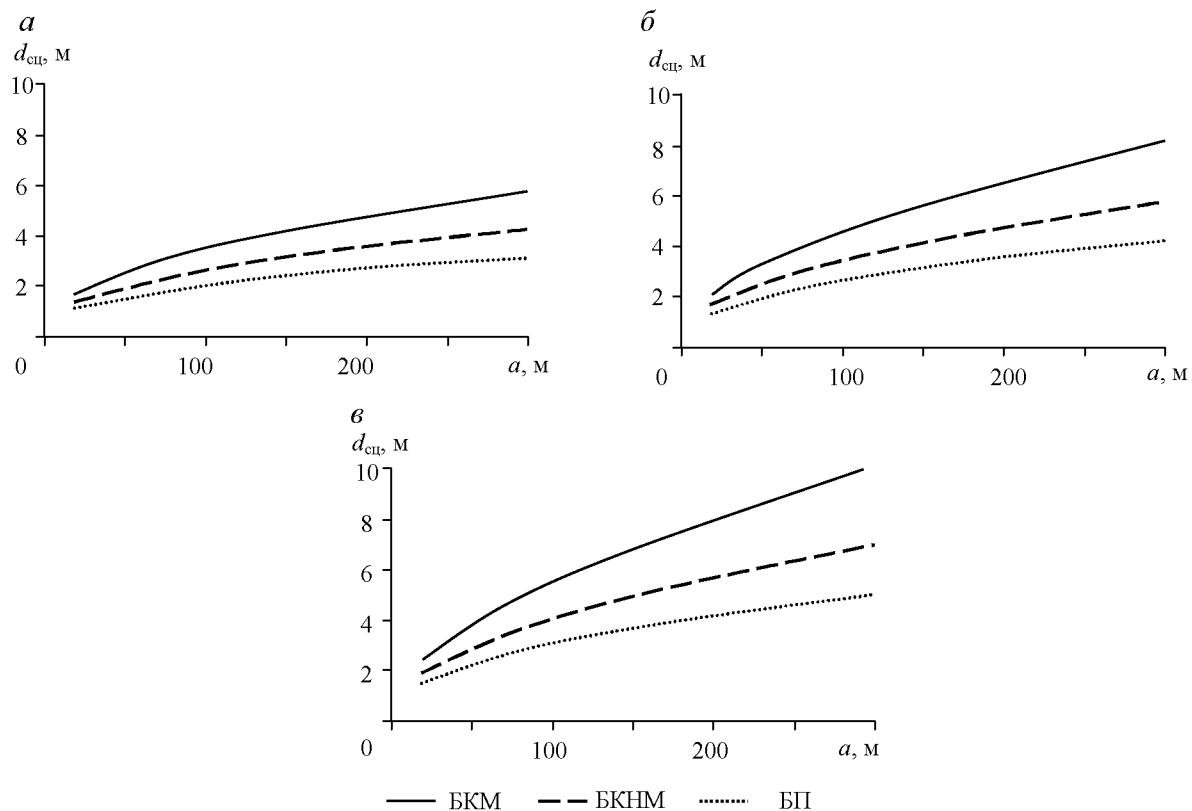


Рис.5. Ширина междукammerных столбчатых целиков при изменении мощности: 2 м (*a*); 4 м (*б*); 6 м (*в*)

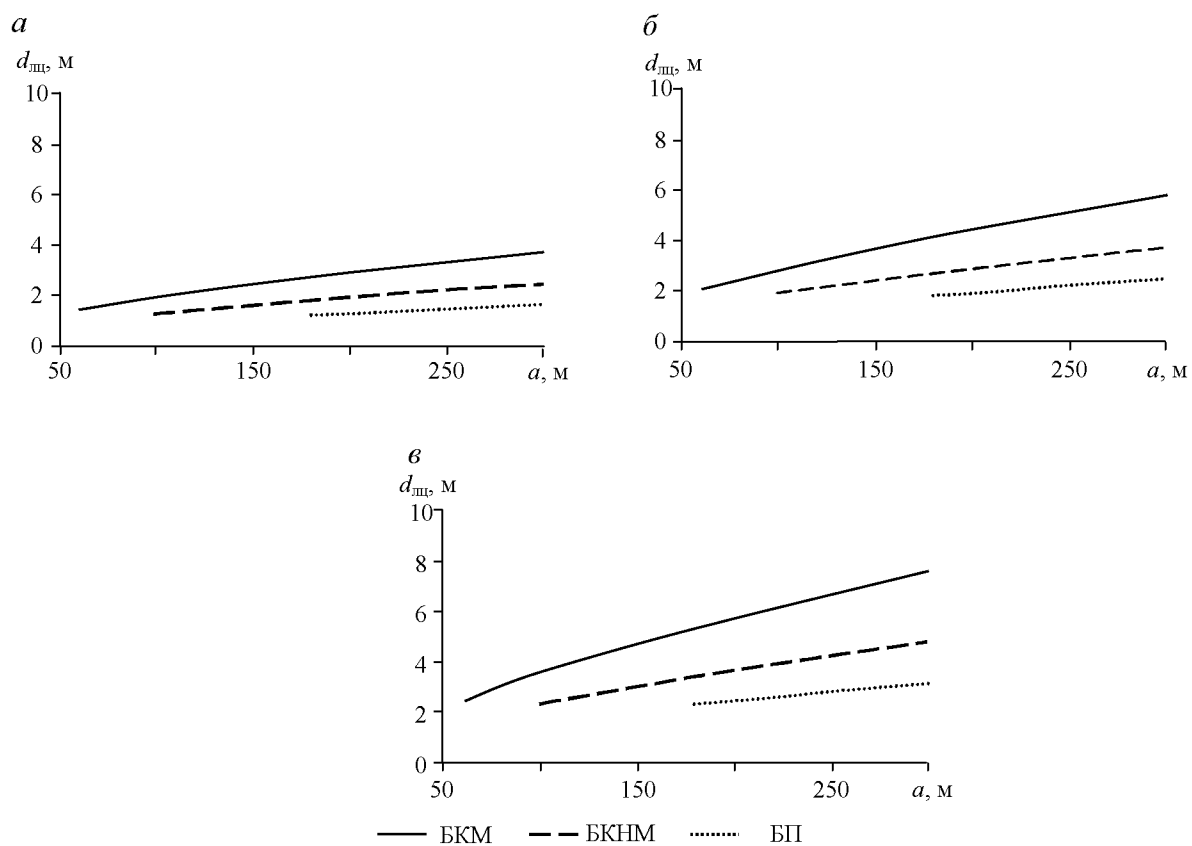


Рис.6. Ширина междукammerных ленточных целиков при изменении мощности: 2 м (*a*); 4 м (*б*); 6 м (*в*)

Определение безопасных размеров очистного пространства при применении камерно-столбовой системы разработки для условий Североуральских бокситовых месторождений осуществлялось на основе энергетического показателя оценки удароопасности [3, 5]. В основу определения коэффициентов интенсивности напряжений положена расчетная модель напряженно-деформированного состояния массива горных пород при следующих основных геомеханических предпосылках: вмещающие породы принимаются сплошной однородной, изотропной, линейно-упругой средой, рудная залежь представлена бокситами с разными прочностными характеристиками, в пределах выемочного блока рудная залежь имеет невыдержанную мощность, в краевой части рудной залежи, целиках имеется развитая зона предельного состояния, учитываются реальные размеры выработанного пространства. На рис.2 показаны закономерности изменения безопасного размера выработанного пространства  $a_{доп}$  с глубиной  $H$  для типичных разновидностей бокситовых руд: красные маркированные бокситы (БKM), красные немаркированные бокситы (БKНМ), красные немаркированные каменистые и пестроцветные бокситы (БП) при мощности рудной залежи от 2 до 6 м.

Для увеличения безопасного размера выработанного пространства на руднике применяется площадная разгрузка рудной залежи скважинами большого диаметра (105 мм). На рис.3 показаны закономерности изменения безопасного размера выработанного пространства при применении скважиной разгрузки.

На больших площадях отработки при отсутствии безрудных зон или участков непромышленного оруденения в качестве дополнительных опор, ориентированных на поддержание выработанного пространства, помимо опорных целиков, используются барьерные целики. Методический подход к расчету параметров барьерных целиков основывается на следующих положениях: в большинстве случаев предусматривается последующая отработка рудного барьерного целика, сохранение несущей способности барьерного целика на весь период отработки запасов в верхнем и нижнем ярусах, формирование нагрузок от прилегающих вырабо-

танных пространств по всей площади целика, ширина барьерного целика рассчитывается из условий обеспечения его устойчивости и функционального назначения с учетом естественной податливости целика и зон предельно-напряженного состояния. На рис.4 показаны закономерности изменения ширины барьерного целика в зависимости от суммарного размера охраняемых выработанных пространств.

Помимо барьерных целиков, для поддержания кровли подработанного массива в очистном пространстве формируют междуканальные целики. Наиболее распространенными являются междуканальные целики с квадратным или близким к нему поперечным сечением и ленточные целики, у которых размер длинной стороны в несколько раз превышает их поперечное сечение. Из условия нагружения целиков следует, что площадь поддерживаемой кровли, приходящейся на междуканальные целики с квадратным поперечным сечением, превышает площадь обнажения, приходящегося на ленточные целики. Определение рациональных параметров междуканальных целиков основывается на безопасности ведения горных работ, экономической эффективности разработки месторождения, учете горно-геологической и горно-технической обстановки и ряда других факторов.

Анализ данных шахтных наблюдений и результатов численной оценки напряженно-деформированного состояния междуканальных целиков для глубин разработки 1000 м и более при различных размерах выработанных пространств в пределах очистных блоков показывает, что действующие в целиках вертикальные напряжения превосходят по величине предел их прочности. В связи с этим определение параметров междуканальных целиков при проектировании выполняется с учетом их остаточной прочности. Учет остаточной прочности осуществляется на основе относительного коэффициента  $\chi$ , представляющего собой отношение остаточной прочности междуканального целика к пределу прочности на одноосное сжатие. На основании данных лабораторных испытаний образцов, представленных разными видами горных пород, относительный

коэффициент  $\chi$  принят равным 0,17 [1,4]. В качестве коэффициента формы междукammerного целика, находящегося в режиме остаточных деформаций, принята линейная аппроксимация. Данный выбор обусловлен удовлетворительным сопоставлением результатов, полученных на основании использования теоретической зависимости, с данными лабораторных испытаний образцов с различным соотношением ширины к высоте. Необходимая остаточная несущая способность междукammerных целиков определяется из условия равенства веса свода давления подработанных пород и их суммарной несущей способности. На рис.5 показаны закономерности изменения ширины междукammerных столбчатых целиков в зависимости от размера выработанного пространства.

Определение параметров ленточных целиков (по аналогии с целиками квадратной или близкой к ней формы) при проектировании осуществляется с учетом их остаточных деформаций. Для определения ширины ленточных целиков используется решение плоской задачи, поскольку длина ленточного целика, как правило, превышает его ширину в три раза. На рис.6 показаны закономерности изменения ширины междукammerных ленточных целиков в зависимости от размера выработанного пространства.

Представленные зависимости для определения размеров междукammerных целиков рекомендуется использовать при проектировании параметров КССР для шахтных полей фланговых месторождений, характеризующихся умеренным, менее интенсивным геодинамическим фоном. На месторождениях с высокой динамичностью и сейсмической активностью параметры системы должны учитывать эти особенности, осложняющие применение системы. Необходимость корректировки размеров междукammerных целиков с учетом их динамической пригрузки для конкретного участка, проектируемого к отработке камерно-столбовой системой, определяет служба прогноза предупреждения горных ударов (ППГУ) с учетом ожидаемых величин сейсмической энергии при динамическом явлении.

Для внедрения новых расчетных методик были проведены опытно-промышленные

испытания. Обследование состояния горных работ на участках опытно-промышленных испытаний осуществлялось комиссиями, в состав которых входили специалисты СУБ-Ра, ВНИМИ, Унипромедь, Ростехнадзора. Оценка различных вариантов размещения опорных элементов в пределах выемочного блока (панели) и соотношений площадей опор и площадей обнажения кровли позволили выявить наиболее благоприятные их сочетания с точки зрения управления горным давлением и удароопасным состоянием массива горных пород. Проведенные обследования в 13 очистных блоках с высоким уровнем сейсмической активности с применением новых параметров КССР не выявили ни одного случая разрушения кровли и целиков. Разработанные методики выбора параметров конструктивных элементов КССР вошли составной частью в проект «Камерно-столбовая система разработки бокситовых месторождений на глубине 1000 и более метров на шахтах ОАО «Севуралбокситруд»» (2005).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ведение в механику скальных пород: Пер. с англ. / Под ред. Х.Бока. М., 1983.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам. РД 06-329-99. М., 2003.
3. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов / И.М.Петухов, А.М.Линьков. М., 1983.
4. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов, Б.В.Матвеев, Г.В.Михеев, А.Б.Фадеев. М., 1979.
5. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие / И.М.Петухов, А.М.Линьков, В.С.Сидоров и др. М., 1992.

## REFERENCES

1. Conducting in hard-rock mechanics: the Lane with English / Under the editorship of H.Bok. Moscow, 1983.
2. The instruction on safe conducting mining operations on ore and nonmetallic deposits, objects of building of the underground constructions inclined and prone to rock-bumps. RD 06-329-99. Moscow, 2003.
3. Petuhov I.M., Linkov A.M. Mechanics of rock bumps and outbursts. Moscow, 1983.
4. Durability and deformability of rocks / Y.M.Kartashov, B.V.Matveev, G.V.Mikheyev, A.B.Fadeev. Moscow.
5. Settlement methods in the mechanic of rock bumps and outbursts: The handbook / I.M.Petrov, A.M.Linkov, V.S.Sidorov, etc. Moscow, 1992.