УДК 622.831.32

Д.В.СИДОРОВ, *канд. техн. наук, доцент, sidorov@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

D.V.SIDOROV, *PhD in eng. sc., associate professor, sidorov@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «PRESS 3D URAL» ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УДАРООПАСНЫХ ЗОН И ПАРАМЕТРОВ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ СКВАЖИННОЙ РАЗГРУЗКИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ И ЦЕЛИКОВ В СЛОЖНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены научно-методические положения по обеспечению безопасного применения камерно-столбовой системы разработки в сложных геомеханических и геодинамических условиях за счет заблаговременной скважинной обработки удароопасных зон, выявленные на основе перспективного прогнозирования напряженного и удароопасного состояния с применением автоматизированного программного комплекса «PRESS 3D URAL».

Ключевые слова: методика, геомеханическое обеспечение, программное обеспечение, камерно-столбовая система разработки, целик, удароопасность, рудные месторождения.

APPLICATION OF AUTOMATED SOFTWARE SYSTEM «PRESS 3D URAL» FOR PREDICTING BUMP HAZARD ZONES PARAMETERS AND DISCHARGE BOREHOLE WELL IN ADVANCE OF THE ORE DEPOSIT AND PILLARS IN DIFFICULT GEOMECHANICAL CONDITIONS

Examined the scientific and methodological provisions for the safe application of room-and-pillar system in complex geotechnical and geodynamic conditions due to advance the well processing zones bump hazard, the identification of which is achieved on the basis of long-term forecasting of the state of stress and bump hazard using automated software system «PRESS 3D URAL».

Key words: methods, geomechanical, software, room-and-pillar system, pillar, bump hazard, ore deposit.

Опыт применения камерно-столбовой системы разработки (КССР) в удароопасных условиях на больших глубинах показывает, что при определенных сочетаниях горно-геологических, горно-технических и горно-технологических факторов в пределах рудной залежи происходит формирование участков неравномерно-напряженного и удароопасного состояния. К наиболее нагруженным относятся участки массива, расположенные в зоне опорного давления от очистных работ; участки геологических нарушений; целики и выступающие части массива; приконтактные зоны литологических разновидностей руд, отличающихся по прочности; участки с резким изменением мощности

рудной залежи; сопряжения выработок и передовые выработки. Разработка рудной залежи камерно-столбовой системой в таких условиях требует своевременного прогнозирования и принятия решений по устранению удароопасности с применением специальных мер по разгрузке от горного давления.

Применение региональных и локальных инструментальных методов прогноза удароопасности в соответствии с Инструкцией* направлено на выполнение текущего прогноза удароопасности при проходке выработок и не позволяет осуществлять заблаговременную оценку удароопасности целиков и рудной залежи с учетом перспективного развития работ. В качестве альтернативных методов прогноза, регламентируемых Инструкцией и направленных на осуществление перспективного прогнозирования, используются аналитические расчетные методы оценки напряженного состояния и удароопасности массива горных пород с построением прогнозных карт. Методика построения прогнозных карт опорного давления** включает только анализ напряженного состояния массива горных пород при разработке абсолютно жестких тонких рудных залежей (аналог угольных пластов) и не позволяет в совокупности учитывать влияние естественной и техногенной податливости, а также тектонической нарушенности при планировании развития горных работ, в том числе при прогнозе удароопасности и определении параметров разгрузочных мероприятий.

Для развития этого направления разработано программное обеспечение «PRESS 3D URAL» (свидетельство о государственной регистрации в Роспатенте № 2012618481, 2012), позволяющее прогнозировать напряженное и удароопасное состояние рудной залежи, а также определять допустимые параметры разгрузочных скважин с учетом горно-геологических, горно-технических и технологических особенностей разработки удароопасных рудных месторождений.

Программный комплекс (ПК) включает три основных блока: обработки исходной документации, расчетный численно-аналитический, обработки результатов для визуализации и анализа. ПК разработан в системе Lazarus по компонентной технологии, что позволяет дифференцировать объекты и их свойства в пределах обрабатываемого участка плана горных работ. Автоматизация формирования базы исходных данных объектов заключается в автоматическом построении электронной сетки объектов целиков, рудной залежи и выработанного пространства (геометрические параметры) с последующим автоматическим интерполированием их свойств (глубины, мощности, физико-механических характеристик, параметров мелкоамплитудных тектонических нарушений (МАТН), толщины техногенного зазора) в пределах исследуемого участка с применением метода триангуляции Делоне, а также в автоматическом формировании данных по крупноамплитудным тектоническим нарушениям (КАТН) с учетом пространственной конфигурации плоскостей сместителей и физико-механических свойств пород шва. Автоматизация численно-аналитического блока заключается в разработке алгоритмов, программно реализующих различные расчетные методы, содержащие значительное количество циклических конструкций. Автоматизация блока обработки результатов расчетов (напряжений, деформаций, перемещений, показателей удароопасности, выделение удароопасных зон в пределах рудной залежи и зон разрушений на плоскостях сместителей КАТН, параметров разгрузочных скважин и др.) заключается в использовании технологии связывания и внедрения объектов с автомати-

---

* 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 / ГП НТЦ по безопасности в промышленности ГГТН России. М., 2000.

Instructions for safe mining operations on ores and nonmetallic deposits of underground construction sites prone and dangerous impacts on the mountain. RD 06-329-99 / SE STC Safety GGTN industry in Russia. Moscow, 2000.

** Методические указания по использованию программ для расчета и графического построения напряжений в массиве горных пород около выработок / ВНИМИ. Л., 1981.

Guidelines for the use of software for the calculation and graphical construction of the stresses in the rock mass around openings / VNIMI. Leningrad, 1981.

ческим экспортом результатов в современные графические системы визуализации AutoCad, Serfer, CorelDraw.

Поскольку блоки обработки исходных данных и результатов расчетов в основном представляют технический интерес, для решения поставленной проблемы научный интерес будет представлять численно-аналитический модуль, включающий следующее геомеханическое обеспечение: модуль расчета напряженного состояния и удароопасности объектов целиков и рудной залежи, модуль расчета допустимых параметров разгрузочных скважин.

Расчетная модель напряжено-деформированного состояния рудной залежи и вмещающих пород блочного массива главным образом базируется на следующих геомеханических предпосылках:

• вмещающие породы предполагаются сплошной однородной, изотропной, линейно-упругой средой;

• рудная залежь предполагается переменной мощности и прочности, с наличием участков с техногенным зазором, а также включениями различной жесткости, характеризующих мелкоамплитудные тектонические нарушения с величиной смещения крыльев менее мощности залежи. В соответствии с классификацией ОАО «ВНИМИ» и положительными данными опытно-промышленных испытаний метода прогнозирования напряженного состояния массива горных пород в зонах влияния МАТН можно моделировать нарушения I типа в виде жестких включений с модулями упругости $E_з = 10^5$ МПа, а нарушения II типа в виде мягких включений с модулями упругости $E_з = 0{,}5 \cdot 10^2$ МПа;

• КАТН предполагаются в массиве горных пород мнимыми (фиктивными) плоскостями сместителей с различной величиной сцепления и угла внутреннего трения пород шва плоскости сместителя нарушения.

Анализ опыта применения численных методов расчета напряжений показал, что для моделирования разработки пластовых рудных месторождений наиболее целесообразным по простоте и эффективности является использование метода граничных интегральных уравнений (ГИУ). Разработанные автором в 1999 г. ГИУ, учитывающие естественную и техногенную податливость целиков и рудной залежи, позволили по сравнению с традиционными ГИУ дополнительно учесть влияние пространственного изменения мощности и упругих характеристик рудной залежи, а также толщины техногенного зазора. Дальнейшие научные исследования в области прогнозирования напряженного состояния и удароопасности целиков и рудной залежи при ведении горных работ в блочном массиве определили необходимость дополнительного учета влияния КАТН и проведения модернизации ГИУ к следующему виду:

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty}\int \frac{1}{\sqrt{(x_р - \xi_р)^2 + (y_р - \eta_р)^2}} d\xi_р d\eta_р + \right.$$
$$\left. + \frac{\pi}{1-\nu_п^2} \frac{E_п}{E_{рз.экв}} m \right) \sigma_{z,р}(x_р, y_р) =$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty}\int \frac{\sigma_{z,q}(\xi_q, \eta_q)}{\sqrt{(x_р - \xi_q)^2 + (y_р - \eta_q)^2}} d\xi_q d\eta_q -$$
$$- \frac{\pi}{1-\nu_п^2} \frac{E_п}{\gamma H} (W_{скв} - W_{тн}), \qquad (1)$$

где $\sigma_{z,р}(x_р, y_р)$ – искомые значения дополнительных нормальных напряжений, действующих в расчетных рудопородных элементах с координатами $x_р$, $y_р$; $\xi_р$, $\eta_р$ – значения пределов интегрирования в рудопородных элементах при оценке влияния других рудопородных элементов на исследуемый рудопородный элемент; $\sigma_{z,q}(\xi_q, \eta_q)$ – известные значения дополнительных нормальных напряжений $\sigma_{z,q}$ (граничные условия), снимаемых с почвы выработок; ξ_q, η_q – значения пределов интегрирования в элементах выработанного пространства при оценке их влияния на исследуемый рудопородный элемент; $\nu_п$ – коэффициент Пуассона вмещающих пород; $E_п$ – модуль упругости вмещающих пород, МПа; $E_{рз.экв}$ – эквивалентный модуль упругости рудопородного элемента, принимаемый в соответствии с режимом деформирования и литологии элемента,

МПа; m – мощность рудопородного элемента, м; γH – вес столба горных пород над целиком, рудной залежью от кровли до земной поверхности, МПа; $W_{скв}$ – вертикальные перемещения в целиках, рудной залежи в результате придания им дополнительной техногенной податливости, например за счет скважинной разгрузки (задаваемый параметр), м; $W_{тн}$ – вертикальные перемещения от влияния подвижек на контактных поверхностях КАТН, м,

$$W_{тн} = \left(\frac{1}{1-K_и}\right) W_{тн.фон}, \qquad (2)$$

$K_и = (S_в - S_ц)/S_в$ – коэффициент извлечения руды из очистных камер, определяемый с учетом площади смежных с целиком выработок $S_в$ и площади целика $S_ц$; $W_{тн.фон}$ – фоновые перемещения в элементах в плоскости рудной залежи в результате разрушения на плоскости сместителя КАТН, м.

В соответствии с рекомендациями Кельвина:

$$W_{тн.фон} = \frac{1+\nu_п}{2\pi}\frac{\tau_{кр.тн}}{E_п} S_{эл.тн} \times$$
$$\times \left[k_x \left(\frac{x_{тн} z_{тн}}{R_{тн}^3} + (1-2\nu_п)\frac{x_{тн}}{R_{тн}(R_{тн}+z_{тн})} \right) + \right.$$
$$+ k_y \left(\frac{y_{тн} z_{тн}}{R_{тн}^3} + (1-2\nu_п)\frac{y_{тн}}{R_{тн}(R_{тн}+z_{тн})} \right) +$$
$$\left. + k_z \left(2(1-\nu_п)\frac{1}{R_{тн}} + \frac{z_{тн}^2}{R_{тн}^3} \right) \right], \qquad (3)$$

где $\tau_{кр.тн}$ – величина критического напряжения, при котором происходит разрушение на плоскости сместителя КАТН, МПа; $S_{эл.тн}$ – площадь элемента (области) подвижки на плоскости тектонического нарушения, м^2; k_x, k_y, k_z – коэффициенты, учитывающие элементы залегания плоскости сместителя КАТН, принимаемые в соответствии с данными рис.1; $x_{тн}$, $y_{тн}$, $z_{тн}$ – координаты центров разрушенных элементов на плоскости сместителя КАТН, м; $R_{тн} = \sqrt{(x_{тн}-x_{эл})^2 + (y_{тн}-y_{эл})^2 + (z_{тн}-z_{эл})^2}$ – расстояние между точкам, расположенными

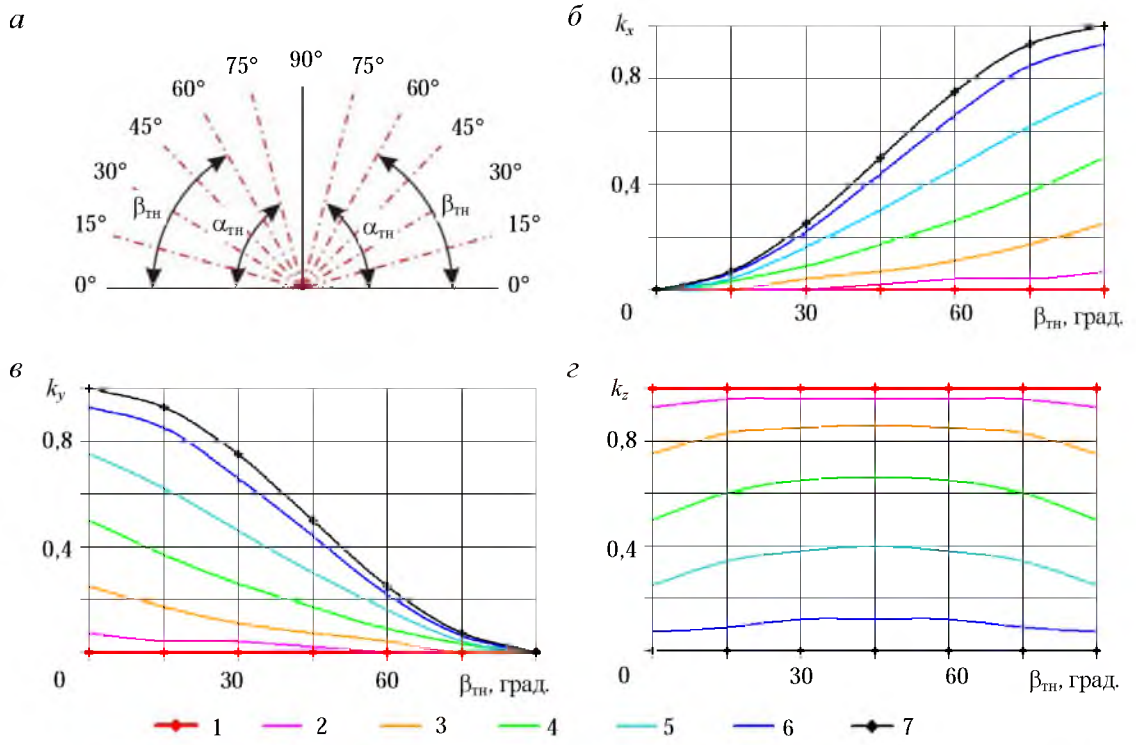


Рис.1. Зависимости для определения геометрических параметров КАТН: *а* – угла простирания $\beta_{тн}$ и падения $\alpha_{тн}$ сместителя КАТН; *б* – $k_x = f(\beta_{тн})$; *в* – $k_y = f(\beta_{тн})$; *г* – $k_z = f(\beta_{тн})$

1 – $\alpha_{тн}$ = 1°; 2 – 15°; 3 – 30°; 4 – 45°; 5 – 60°; 6 – 75°; 7 – 90°

на плоскости сместителя ТН, и центрами элементов в плоскости отработки рудной залежи, м.

Анализ научных работ в области хрупкого разрушения показывает, что процесс разрушения на плоскости сместителя КАТН наиболее удовлетворительно описывается теорией прочности Кулона – Мора, при которой величины сдвигающих напряжений $\tau_{р.тн} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$, удерживающих напряжений $\tau_{кр.тн} = C + \sigma_{п.тн} \operatorname{tg}\rho$, где C – сцепление породы шва ТН, МПа; $\sigma_{п.тн}$ – величина нормальных напряжений к плоскости сместителя КАТН, МПа; ρ – угол внутреннего трения породы шва ТН, град.; σ_1, σ_3 – наибольшее и наименьшее главные нормальные напряжения, МПа.

Разрушение в элементах плоскости сместителя КАТН будет происходить при выполнении условия

$$\tau_{р.тн} > \tau_{кр.тн}. \qquad (4)$$

Следует отметить, что применение основного выражения (1) может осуществляться как в прямом, так и в итерационном порядке. Прямой расчет допускается при наличии исходных данных, предоставляемых, например, сейсмостанцией, о площадях подвижек, величинах сдвигающих и удерживающих напряжений. Итерационный порядок позволяет расчетным путем вначале на основе выражения (1) устанавливать области разрушения на плоскости сместителя КАТН от влияния отработки рудной залежи при $W_{тн} = 0$, а затем после определения $W_{тн}$ повторно использовать выражение (1) для нахождения окончательной величины $\sigma_{z,р}(x_р, y_р)$.

Расчетный прогноз удароопасности целиков и рудной залежи выполняется на основе надежного энергетического показателя удароопасности, рекомендуемого Г.П.Черепановым, И.М.Петуховым и А.М.Линьковым и представляющего собой отношение величин расчетного $K_{инт.расч}$ и критического $K_{инт.доп}$ коэффициентов интенсивности напряжений:

$$\eta_{уд} = \left| \frac{K_{инт.расч}}{K_{инт.доп}} \right| \geq 1, \qquad (5)$$

где $K_{инт.расч} = \sqrt{2\pi r}(\sigma_{z,р}(x_р, y_р) - 1)\gamma H$, МПа$\sqrt{м}$; r – радиус расчетного рудного элемента, расположенного на границе с выработанным пространством, м; $K_{инт.доп} = 1{,}4\sigma_{сж} f(М/E_п) \times \times \sqrt{m/2}$, МПа$\sqrt{м}$; $\sigma_{сж}$ – предел прочности руды на одноосное сжатие, МПа; $f(М/E_п)$ – известная табулированная функция; М – модуль спада руды на запредельной диаграмме деформирования, МПа.

Модернизация критерия удароопасности заключается в уточнении значений модуля спада М в части определения максимальных напряжений, действующих в целиках и рудной залежи, с использованием теории предельного равновесия Прандтля и с учетом влияния касательных напряжений на контакте между рудной залежью и вмещающими породами. Окончательное выражение для определения модуля спада имеет вид

$$М = \left(\left(\frac{K_{инт.расч}}{\sigma_{сж}\sqrt{m}} \right)^{\frac{2}{3}} \operatorname{tg}(\rho) - 0{,}6 \right) E_р. \qquad (6)$$

Далее, на основании результатов оценки удароопасности целиков и рудной залежи определяются опасные зоны, границы которых соответствуют критерию $\eta_{уд} \geq 1$. Для заблаговременного устранения опасных зон рекомендуется применение способа заблаговременной скважинной обработки, параметры которой определяются из выражения

$$C = 0{,}7_3 \sqrt{\frac{W_{скв.кр}}{2} \frac{E_р}{\sigma_{z.кр}} R^2} + R - \frac{d_{скв}}{2}, \qquad (7)$$

где C – расстояние между стенками строчки разгрузочных скважин, м; $d_{скв}$ – диаметр разгрузочных скважин, м; $E_р$ – модуль упругости руды удароопасного элемента, МПа; $\sigma_{z.кр}$ – величина допустимого вертикального напряжения, при котором $\eta_{уд} \geq 0{,}7$; $W_{скв.кр}$ – величина допустимого техногенного зазора, при котором $\eta_{уд} \geq 0{,}7$, м; $R = 0{,}5d_{скв}(0{,}5 + +1{,}5\sigma_{z,р}(x_р, y_р)/\sigma_{сж})$ – радиус зоны неупругих деформаций, формирующихся вокруг скважины.

Следует отметить, что для определения допустимых параметров разгрузки на удароопасных участках рудной залежи в программ-

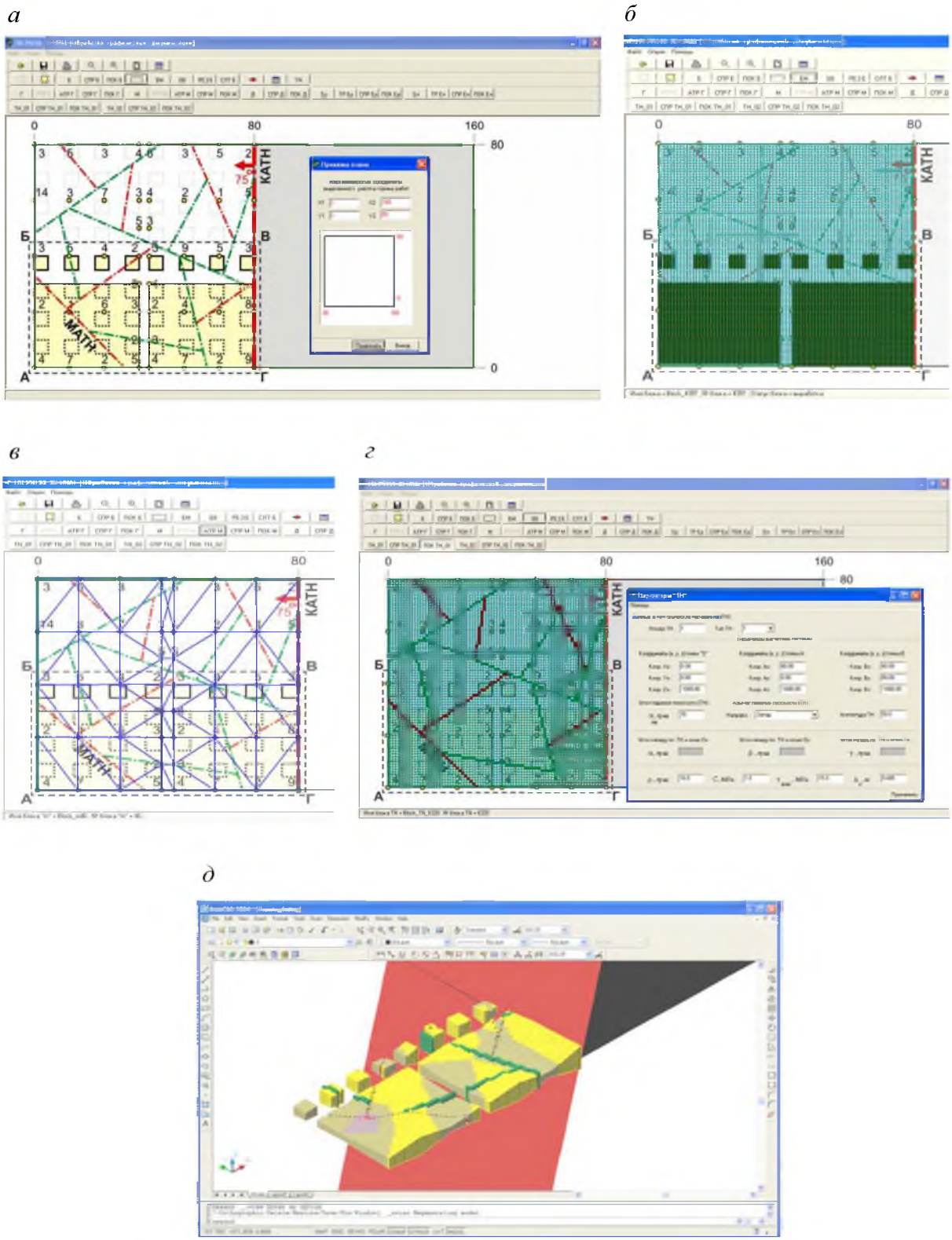


Рис.2. Процесс построения 3D модели участка: *а* – привязка участка работ; *б* – создание электронной сетки расчетных элементов и выделение объектов рудного массива и выработанного пространства; *в* – интерполяция свойств объектов; *г* – выделение и формирование свойств объектов МАТН и КАТН; *д* – окончательный вид расчетной модели, экспортированный в систему AutoCad

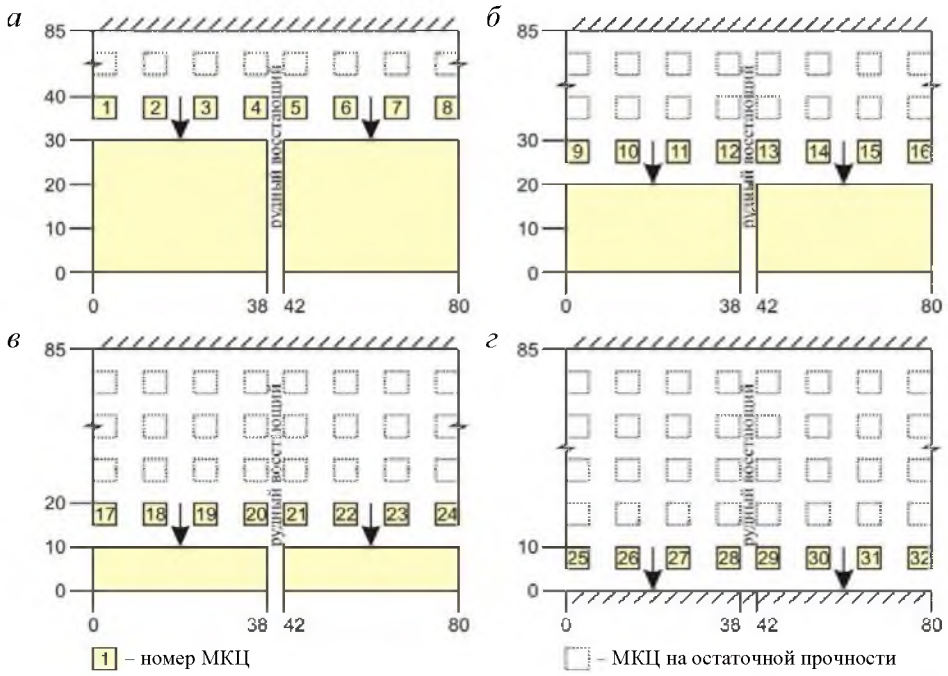


Рис.3. Расчетные схемы участка

а-г – варианты 1-4

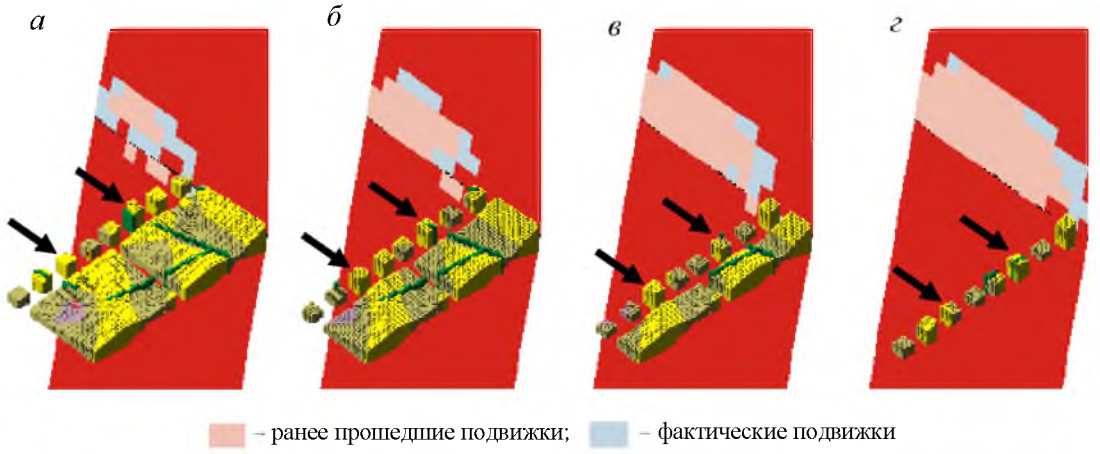


Рис.4. Процесс формирования зон разрушения (подвижек) на плоскости сместителя КАТН

а-г – варианты 1-4

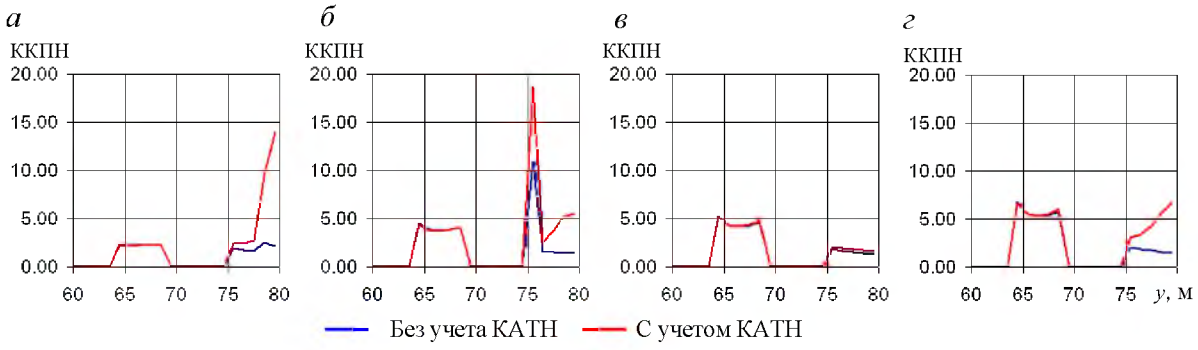


Рис.5. Закономерности распределения коэфициентов концентрации полных напряжений (ККПН) вблизи КАТН

а-г – варианты 1-4

ном комплексе предусмотрена реализация метода последовательных приближений по $W_{скв}$ до выполнения условия безопасности $\eta_{уд} \geq 0{,}7$.

Для проведения исследований были приняты условия разработки удароопасных Североуральских бокситовых месторождений. Процесс построения 3D модели участка приведен на рис.2.

В связи с тем, что интенсивность нарастания геодинамических процессов отмечается при достижении пролета отработки 40-50 м, к оценке принимались варианты развития горных работ КССР, приведенные на рис.3. При расчетах принимались следующие исходные данные: глубина горных работ равна 1000 м; мощность рудной залежи и целиков, а также их физико-механические свойства переменные как по площади, так и в разрезе участка; $E_з = 10^5$ МПа для МАТН I типа; $E_з = 0{,}5 \cdot 10^2$ МПа для МАТН II типа; КАТН с параметрами: $\beta_{тн} = 90°$, $\alpha_{тн} = 75°$, западное направление падения, $\rho = 10°$ (I тип).

При оценке напряженного и удароопасного состояния рудной залежи и целиков учитывался геодинамический процесс формирования зон разрушения на контактной поверхности сместителя КАТН при развитии очистных работ, а также определялась степень влияния подвижек КАТН на напряженное состояние междукамерного целика (МКЦ). Для корректности расчетов к оценке принимались только фактические (текущие) подвижки, происходящие в процессе приращения выработанного пространства (рис.4).

Анализ степени влияния подвижек на КАТН показывает (рис.5), что существенное влияние КАТН оказывает на напряженное состояние примыкающих МКЦ, представленных прочными разновидностям руд. При этом МКЦ, сложенные мягкими рудами, оказывают демпфирующий (разгружающий) эффект за счет их естественной податливости. Такой же локальный и скачкообразный эффект оказывают МАТН. Таким образом, неучет влияния наведенной пригрузки от МАТН и КАТН может привести к недостоверной оценке напряженного состояния рудной залежи и МКЦ и, как следствие, ошибкам при дальнейшем прогнозе удароопасности.

Результаты прогнозной оценки удароопасных зон в МКЦ, полученные с дополнительным учетом влияния МАТН и КАТН, приведены в табл.1. Анализ полученных результатов показывает, что при развитии горных работ 50-70 % МКЦ будет формироваться в удароопасном состоянии.

Таблица 1

Результаты выявления удароопасных зон в МКЦ (до разгрузки)

Вариант	Номер МКЦ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
	9	10	11	12	13	14	15	16
2								
	17	18	19	20	21	22	23	24
3								
	25	26	27	28	29	30	31	32
4								

Примечания: – $\eta_{уд} < 0{,}7$; – $0{,}7 \leq \eta_{уд} < 1{,}0$; – $\eta_{уд} \geq 1{,}0$.

Таблица 2

Результаты прогнозной оценки напряженного состояния и удароопасности МКЦ и параметров разгрузочных скважин

Вариант	Номер МКЦ	$\eta_{уд.max}$	$W_{скв.кр}$, м	$\eta_{уд.рс}$	$\sigma_{z.min}$, МПа	$\sigma_{сж.min}$, МПа	R, м	$E_{р.min}$, МПа	L, м	$L_ф$, м	C, м
1	1	1,15	0,0165	0,65	102,01	40	0,227	18000	5,30	5,00	0,62
	2	0,34	0,000	0,70	–	–	–	–	–	–	–
	3	1,83	0,032	0,66	168,58	40	0,358	18000	10,29	5,00	0,91
	4	4,73	0,055	0,56	98,53	40	0,220	18000	17,68	5,00	0,60
	5	2,11	0,035	0,54	116,64	40	0,256	18000	11,25	5,00	0,69
	6	0,16	0,000	0,70	–	–	–	–	–	–	–
	7	0,25	0,000	0,53	–	–	–	–	–	–	–
	8	7,58	0,005	0,46	122,91	40	0,268	18000	1,61	1,61	0,56
2	9	2,63	0,0415	0,69	93,57	40	0,210	18000	13,34	5,00	0,58
	10	2,32	0,030	0,70	105,00	40	0,233	18000	9,64	5,00	0,63
	11	0,92	0,010	0,70	538,86	120	0,380	100000	5,95	5,00	0,96
	12	0,37	0,000	0,43	–	–	–	–	–	–	–
	13	1,68	0,025	0,60	113,97	40	0,251	18000	8,04	5,00	0,67
	14	0,25	0,000	0,29	–	–	–	–	–	–	–
	15	1,17	0,0165	0,61	103,28	40	0,230	18000	5,30	5,00	0,63
	16	4,21	0,025	0,66	114,66	20	0,478	6000	5,36	5,00	1,16
3	17	8,32	0,049	0,59	79,48	40	0,183	18000	15,75	5,00	0,52
	18	11,92	0,0575	0,67	84,68	40	0,193	18000	18,48	5,00	0,54
	19	0,36	0,000	0,52	–	–	–	–	–	–	–
	20	2,55	0,042	0,69	112,32	40	0,247	18000	13,50	5,00	0,67
	21	4,73	0,050	0,69	115,21	40	0,253	18000	16,07	5,00	0,68
	22	1,88	0,035	0,65	116,33	40	0,255	18000	11,25	5,00	0,68
	23	3,12	0,0365	0,70	107,24	40	0,237	18000	11,73	5,00	0,64
	24	0,14	0,000	0,12	–	–	–	–	–	–	–
4	25	3,95	0,055	0,64	121,06	40	0,265	18000	17,68	5,00	0,71
	26	3,16	0,056	0,65	93,01	20	0,392	6000	12,00	5,00	0,98
	27	4,16	0,0835	0,63	108,1	40	0,239	18000	26,84	5,00	0,65
	28	7,17	0,073	0,67	149,2	40	0,320	18000	23,46	5,00	0,83
	29	3,35	0,060	0,66	98,78	20	0,415	6000	12,86	5,00	1,03
	30	0,68	0,015	0,67	92,89	20	0,392	6000	3,21	3,21	0,89
	31	4,47	0,052	0,66	139,42	40	0,301	18000	16,71	5,00	0,79
	32	1,18	0,000	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания: $\eta_{уд.max}$ – максимальный показатель удароопасности в МКЦ; $W_{скв.кр}$ – допустимая толщина техногенного зазора, соответствующая $\eta_{уд} \approx 0{,}6 \div 0{,}7$ м; $\eta_{уд.рс}$ – контрольная величина показателя удароопасности в МКЦ; $\sigma_{z.min}$, $\sigma_{сж.min}$, $E_{р.min}$ – величина нормального сжимающего напряжения, предел прочности на сжатие и модуль упругости в элементе МКЦ, в котором $\eta_{уд} \approx 0{,}7$, МПа; R – размер зоны неупругих деформаций вокруг скважины, м; L, $L_ф$ – расчетная и фактическая ширина зоны влияния строчки скважин, м; C – расстояние между разгрузочными скважинами в МКЦ, м.

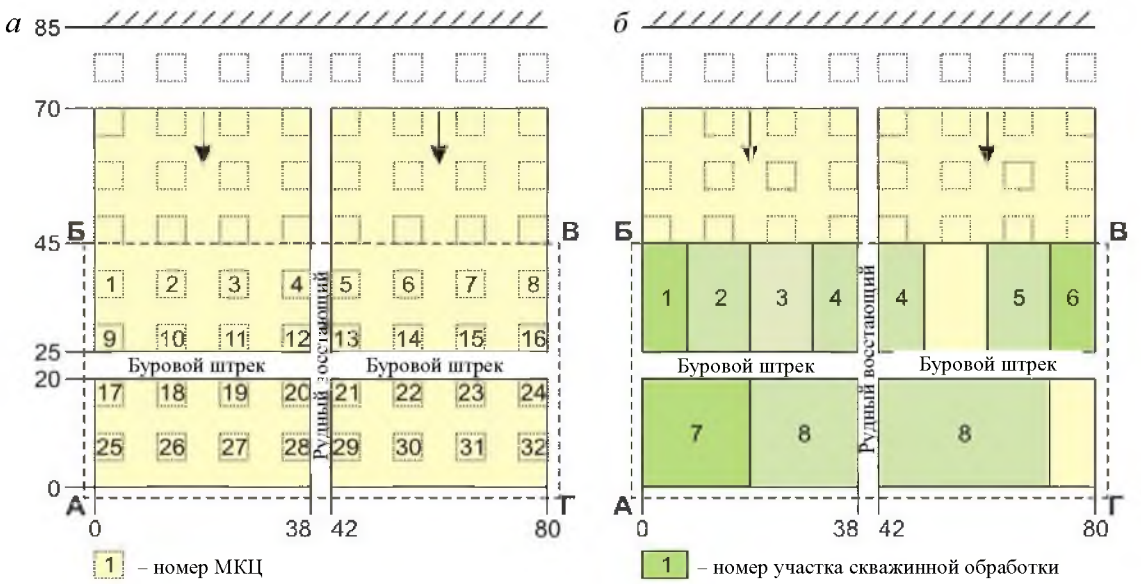


Рис.6. Участок рудной залежи АБВГ для проведения заблаговременной скважинной разгрузки: *а* – проекции МКЦ; *б* – зоны скважинной разгрузки

Таблица 3

Параметры разгрузочных скважин по участкам бурения

Номер участка	Номер МКЦ	C_{min}, м	$C_ф$, м	Примечание
1	1,9	0,56	0,5	Западный фланг, бурение по восстанию
2	2,10	0,63	0,6	
3	3,11	0,91	0,9	
4	4,12	0,60	0,6	
	5,13	0,67		Восточный фланг, бурение по восстанию
–	6,14	–	–	
5	7,15	0,63	0,6	
6	8,16	0,56	0,5	
7	17,25	0,52	0,5	Западный фланг, бурение по падению
	18,26	0,54		
8	19,27	0,65	0,6	
	20,28	0,67		
	21,29	0,68		Восточный фланг, бурение по падению
	22,30	0,68		
	23,31	0,64		
–	24,32	–	–	

Для обеспечения безопасности ведения горных работ, сохранения целостности МКЦ и поддержания кровли покрывающих пород может быть использована заблаговременная площадная разгрузка рудной залежи скважинами большого диаметра. Несмотря на то, что данный способ профилактики удароопасности широко и эффективно применяется при разработке удароопасных рудных месторождений, параметры заблаговременной разгрузки принимаются с использованием опытных экспериментальных данных, полученных при разгрузке рудной залежи в аналогичных условиях, что может приводить к существенным неточностям при выборе параметров разгрузки на участках сложного геологического строения, характеризующихся неравномерным скачкообразным напряженным состоянием. Это подтверждает выполненная аналитическая оценка параметров скважинной разгрузки, базирующаяся на полученных выше результатах численных расчетов параметров напряженного и удароопасного состояния рудной залежи и МКЦ. Результаты прогнозной оценки параметров разгрузочных мероприятий приведены в табл.2-3. Расположение участков рудной залежи для проведения заблаговременной скважинной разгрузки показано на рис.6.

Корректность разработанного геомеханического обеспечения подтверждается подобием моделируемого геомеханического процесса реальному установленному при проведении опытно-экспериментальных работ на рудниках ОАО «Севуралбокситруда», ОАО «ГМК«Норильский никель», ОАО «Севкузбассуголь» и др. Таким образом, применение автоматизированного программного комплекса «PRESS 3D URAL» позволяет осуществлять перспективное прогнозирование напряженного и удароопасного состояния целиков и рудной залежи и определять допустимые параметры заблаговременной скважинной обработки удароопасных зон, тем самым обеспечивая безопасное применение камерно-столбовой системы разработки в сложных геомеханических и геодинамических условиях.