



Н.В. Черданцев
nvch2014@
yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ, ПРОЙДЕННОЙ ВБЛИЗИ ДИЗЬЮНКТИВНОГО НАРУШЕНИЯ

ANISOTROPIC ROCK MASSIF STATE AROUND THE MINE OPENING HEADED NEAR A DISJUNCTIVE DISTURBANCE RESEARCH

Н. В. Черданцев – доктор технических наук, заведующий лабораторией геомеханики угольных месторождений Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН (ФИЦ УХХ СО РАН), 650065, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

N. V. Cherdantsev – Dr. Tech. Sci., Head of the Laboratory of the Coal Institute of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky prospect, Kemerovo, 650065, Russia

Проведены исследования геомеханического состояния массива осадочных пород, вмещающего выработку и дизъюнктивное нарушение. Трасса протяжённой выработки и простирание нарушения параллельны. Результаты получены в рамках модели анизотропного массива. Она представляет собой упругую плоскость, пронизанную системой регулярных поверхностей ослабления. В плоскости имеется полость прямоугольной формы и узкий вытянутый прямоугольный вырез в виде щели, заполненный материалом с заданными характеристиками жёсткости на сжатие и сдвиг. Сама плоскость нагружена гравитационными силами налегающей сверху полости толщи пород. Модель реализована посредством двух методов – метода фиктивных нагрузок и метода разрывных смещений. В методе фиктивных нагрузок должны соблюдаться граничные условия на контуре выработки, а в методе разрывных смещений – на контуре щели. В рамках разработанной модели проведён широкомасштабный вычислительный эксперимент, в ходе которого построено поле напряжений и на его основе, а также на основе критериев прочности Мора – Кузнецова построены зоны нарушения сплошности массива около выработки и наклонно расположенной щели. Установлено, что размеры и конфигурация зон зависят от углов ориентации регулярных поверхностей ослабления, и при некоторой их комбинации зоны нарушения сплошности образуют области неустойчивости массива. Проведённый анализ полученных результатов выявил конфигурацию области неустойчивости на координатной плоскости, осями которой являются углы падения и простирания поверхностей ослабления.

Studies of sedimentary rock massif containing an opening and disjunctive disturbance geomechanical state have been carried out. The long opening rout and the strike of the disturbance are parallel. The results are obtained from the anisotropic massif model. It presents an elastic plane permeated by a system of regular attenuation surfaces. In the plane there is a cavity of rectangular shape and a narrow elongated rectangular cut-out in the form of a slit filled with a material with given characteristics of the rigidity for compression and shear.

The plane itself is loaded with gravitational forces of the overlying rock strata cavity. The model is realized by means of two methods - the method of fictitious loads and the method of discontinuous displacements. In the method of fictitious loads, the boundary conditions on the opening contour must be respected, and in the discontinuous displacement method, on the contour of the slit. Within the framework of the developed model, a large-scale computational experiment was carried out, during which the stress field was built and on its basis, as well as on the basis of the Mohr – Kuznetsov strength criteria, zones of solid massif discontinuity near the opening and the inclined slit were constructed. It is established that the size and configuration of the zones depend on the orientation angles of regular attenuation surfaces, and with some combination of the zone, discontinuities form the massif instability regions. The obtained results analysis shows the instability region configuration on the coordinate plane, the axes of which are the angles of incidence and the strike of attenuation surfaces.

Ключевые слова: АНИЗОТРОПНЫЙ МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД,

ДИЗЪЮНКТИВНОЕ НАРУШЕНИЕ, ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, ПОВЕРХНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ, ЗОНЫ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ, ОБЛАСТИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА

Key words: ANISOTROPIC ROCK MASSIF, DISJUNCTIVE DISTURBANCE, MINING, WEAKENING SURFACES, ZONES OF DISCONTINUITY, AREAS OF INSTABILITY OF THE MASSIF

Введение

1 При проектировании и эксплуатации горнодобывающих предприятий прогноз геодинамических явлений на базе оценки геомеханического состояния массива осадочных горных пород, полученной методами механики сплошной среды, является важнейшей задачей при разработке комплекса мероприятий по обеспечению безопасных условий ведения горных работ.

Известно, что угольные месторождения представляют собой массивы горных пород с ярко выраженной прочностной анизотропией, обусловленной наличием упорядоченных поверхностей ослабления, по которым характеристики прочности ниже, чем по основной породе. К поверхностям ослабления относятся слоистость, кливаж, слабые прослои, дизъюнктивные нарушения [1–4].

По-видимому, в достаточно строгой постановке деформирование слоистого массива в окрестности горной выработки может быть описано следующим образом. Предельное состояние массива наступает в первую очередь по поверхностям ослабления. Дальнейшее его деформирование приводит к проскальзыванию слоёв, их изгибанию, разрушению и вывалам горной массы в выработку. Поэтому исследование такого массива должно проводиться в несколько этапов.

Однако в практических расчётах часто ограничиваются только первым этапом задачи, поскольку применение других этапов связано с конкретными горно-геологическими условиями месторождения, и это обстоятельство не позволяет обобщать полученные результаты.

В этой связи ниже представлен, обоснован и использован только первый этап, основу которого составляет метод упругого наложения [2]. Его идея заключается в том, что условия прочности теории Кулона - Мора, на которой основаны условия перехода горных пород в предельное состояние, используются только для точек массива, принадлежащих поверхностям ослабления [1, 2]:

$$|\tau_v| < \sigma_v \operatorname{tg} \phi + K, \quad \sigma_v < \sigma_p, \quad (1)$$

где ϕ и K – угол внутреннего трения и коэффициент сцепления по поверхностям ослабления, σ_p – предел прочности на растяжение в направлении перпендикулярном поверхностям ослабления. Касательные τ_v и нормальные σ_v напряже-

ния на поверхностях ослабления определяются через компоненты напряжений, найденные из решения второй внешней краевой задачи теории упругости, посредством формул преобразования напряжений при повороте координатных осей [2 - 4].

Совокупность точек массива, в которых не выполняются условия (1), образует зоны нарушения сплошности (ЗНС) [2]. Наличие зон является показателем его техногенной нарушенности [2–12]. По размерам и конфигурации зон подбирают крепь выработки и производят расчёт её параметров [2, 13, 14], они являются границами направленной фильтрации газа в угольных пластах.

В данной работе представлены результаты исследования состояния анизотропного массива вблизи дизъюнктивного нарушения методом упругого наложения.

Под дизъюнктивным нарушением понимают результат действия тектонических сил, при котором горные породы разорваны по некоторой поверхности на блоки и смещены относительно друг друга. Поверхность разрыва и последующего перемещения блоков называют сместителем, а разъединенные блоки – лежащим и висющим крыльями разрывного нарушения. Порода между ними, называемая заполнителем, разрушена и перемята, но обладает характеристиками нормальной и сдвиговой жёсткости [15, 16].

Натурные наблюдения и расчёты показывают, что дизъюнктивное нарушение существенно влияет на напряжённо-деформированное состояние породного массива [15, 16], которое, в отличие от поверхностей ослабления, ещё до ведения горных работ является источником возмущения исходного поля напряжений. К тому же расположенное в окрестности угольных пластов оно может быть коллектором газа и с этой точки зрения часто является причиной возникновения газодинамических явлений [17, 18].

Таким образом, слоистость и кливаж проявляются лишь при ведении горных работ, а дизъюнктивное нарушение искажает исходное поле напряжений и в их отсутствии.

В работе [19] дизъюнктивное нарушение представлено в виде узкого прямоугольного отверстия, по сторонам которого приложены силы сухого трения, и это обстоятельство не позволяет учесть характеристики заполнителя в расчёте массива, что ограничивает её применение.

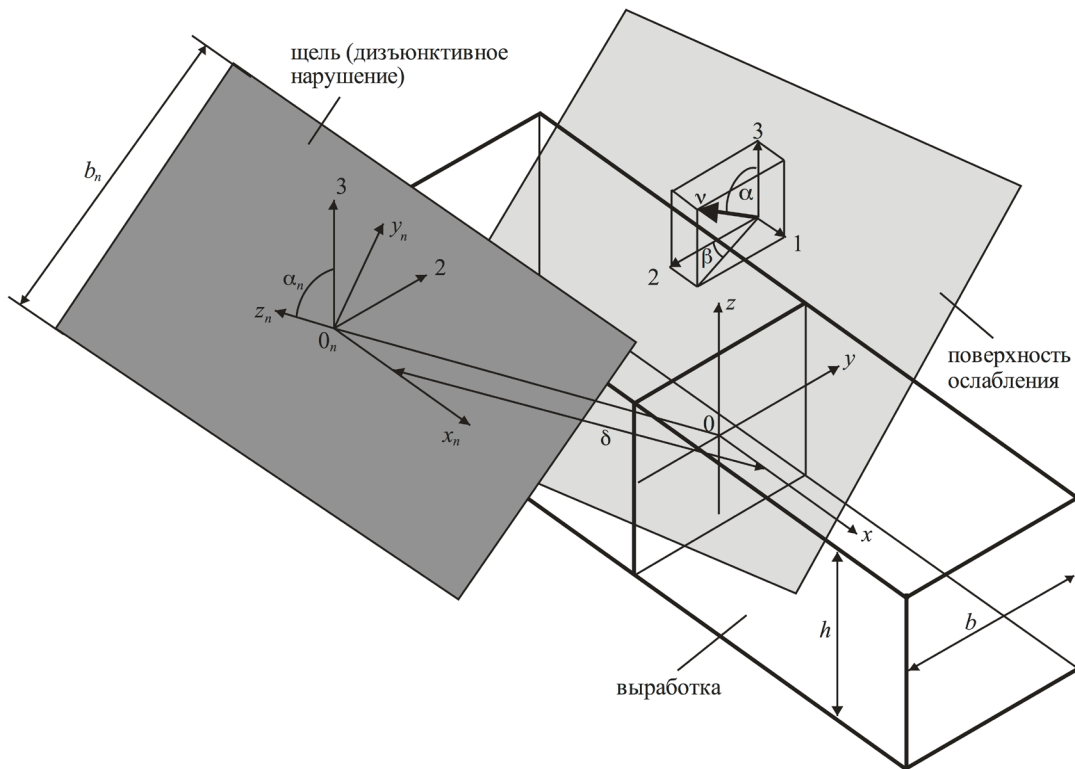


Рисунок 1 – Расчётная схема анизотропного массива с выработкой и щелью
 Figure 1 - The design scheme of an anisotropic massif with a generation and a gap

В этой связи построение модели геомеханического состояния анизотропного массива с дизъюнктивным нарушением и выработкой является важной научной и производственной задачей.

2. Выбор модели и методов решения задачи

В массиве горных пород с регулярными поверхностями ослабления имеются дизъюнктивное нарушение (в дальнейшем щель) размером b_n , наклонённая к горизонту на угол α_n , и выработка прямоугольного сечения размерами $b \times h$, пройденная на глубине H . Массив нагружен гравитационным давлением γH (γ – средневзвешенный объёмный вес налегающих пород), а по бокам – давлением $\lambda \gamma H$ (λ – коэффициент бокового давления). Для проведения расчётов выбраны две системы координат: глобальная и локальная. Начало глобальной системы координат $x y z$ расположено в центре сечения выработки, а начало локальной системы $x_n y_n z_n$ – в центре сечения щели. Её положение относительно выработки определено расстоянием δ между центрами θ , θ_n и углом падения α_n , а направления 1, 2, 3 соответственно параллельны осям x, y, z . (рис. 1).

Положение поверхности ослабления по отношению к выработке задаётся углом падения α и углом простирания β (рис. 1). Как и в [2–5] угол α равен углу между нормалью ν к поверхности и осью z , а угол β равен углу между проекцией нормали на горизонтальную плоскость $x \theta y$

и осью y .

Принято также, что

1) трасса выработки и направление щели параллельны, а их размеры вдоль оси x значительно превосходят размеры в плоскости θ_{yz} , поэтому породы в окрестности выработки и щели находятся в условиях плоской деформации;

2) сжимающие нормальные напряжения положительны, а растягивающие отрицательны.

Решение данной задачи строится в рамках модели анизотропного массива горных пород [3, 4, 20, 21]. Она основана на уравнениях механики деформируемого твёрдого тела [22]. Поле напряжений строится методом граничных элементов (МГЭ) в форме фиктивных нагрузок [3, 16].

Система граничных уравнений на поверхностях близкорасположенных выработки и щели, состоит из четырёх блоков. Первый блок включает уравнения метода фиктивных нагрузок, формулирующих условия на контуре выработки. Второй блок ставит граничные условия на поверхности выработки от смещений на поверхности щели. Третий блок формулирует разрывы смещений на поверхности щели от действия фиктивной нагрузки, приложенной на поверхности выработки. Четвёртый блок включает уравнения метода разрывных смещений, формулирующих условия на поверхности щели [23].

$$\begin{cases} \frac{1}{2} A_{y,i} - \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{yy,ij} A_{y,j} + \Phi_{yz,ij} A_{z,j}) \Delta L_{b,i} + \sum_{j=1}^{N_n} (\Omega_{yy,ij} D_{y,j} + \Omega_{yz,ij} D_{z,j}) \Delta L_{b,i} = \lambda \gamma H \Delta L_{b,i} n_{yb,i} \\ \frac{1}{2} A_{z,i} - \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{zy,ij} A_{y,j} + \Phi_{zz,ij} A_{z,j}) \Delta L_{b,i} + \sum_{j=1}^{N_n} (\Omega_{zy,ij} D_{y,j} + \Omega_{zz,ij} D_{z,j}) \Delta L_{b,i} = \gamma H \Delta L_{b,i} n_{zb,i} \\ \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{1yy,ij} A_{y,j} + \Phi_{1yz,ij} A_{z,j}) + K_s D_{y,i} + \sum_{j=1}^{N_n} \Psi_{ij} D_{y,j} = \frac{(1-\lambda)\gamma H}{2} \sin 2\alpha_n \\ \sum_{j=1}^{N_b} (\Phi_{1zy,ij} A_{y,j} + \Phi_{1zz,ij} A_{z,j}) + K_n D_{z,i} + \sum_{j=1}^{N_n} \Psi_{ij} D_{z,j} = \left(\frac{1+\lambda}{2} + \frac{1-\lambda}{2} \cos 2\alpha_n \right) \gamma H. \end{cases} \quad (2)$$

В уравнениях (2) $\Delta L_{b,i}$ – размер i -го граничного элемента выработки, n_{yb} , n_{zb} – направляющие косинусы нормали к точкам контура выработки. Φ_{yy} , Φ_{yz} , Φ_{zy} , Φ_{zz} – матрицы влияния фиктивной нагрузки на контуре выработки; Φ_{1yy} , Φ_{1yz} , Φ_{1zy} , Φ_{1zz} – матрицы влияния фиктивной нагрузки на контуре щели; Ω_{yy} , Ω_{yz} , Ω_{zy} , Ω_{zz} – матрицы влияния разрывов смещений на контуре выработки; Ψ – матрица влияния разрывов смещений на контуре щели. Матрицы $\Phi_{yy} \dots \Phi_{1zz}$ определяются по формулам, приведённым в [3, 4, 22], а матрицы $\Omega_{yy} \dots \Psi$ по формулам, приведённым в [16].

Таким образом, система уравнений имеет порядок $2(N_b + N_n) \times 2(N_b + N_n)$ относительно неизвестных компонент фиктивной нагрузки A_y , A_z , и координат разрывов смещений D_y , D_z (N_b – количество элементов на контуре выработки, N_n – число элементов на контуре щели).

После решения системы уравнений (2) напряжения в произвольной точке k расчетной области, представляющей собой регулярную сетку, определяются путём суммирования напряжений от действия фиктивной нагрузки [22, 24], разры-

вов смещений [16] и напряжений естественного поля.

3. Проведение расчётов и анализ результатов

В рамках описанной модели проведён вычислительный эксперимент, за исходные данные в котором приняты следующие параметры массива, выработки и щели: $\lambda=0.7$, $\gamma=25 \text{ кН/м}^3$, $H=600 \text{ м}$, $b=3 \text{ м}$, $h=2 \text{ м}$, $b_n=30 \text{ м}$, $\alpha_n=30^\circ$, $K=0,75 \text{ МПа}$, $\phi=20^\circ$, $\delta=18 \text{ м}$, $K_n=100 \text{ МПа/м}$, $K_s=0.4 K_n$. Другие параметры среды в ходе эксперимента менялись.

На рисунке 2а представлены зоны нарушения сплошности массива при $\alpha=40^\circ$, $\beta=20^\circ$. Из рисунков следует, что, во-первых, ЗНС в окрестности щели значительно превосходят по размерам ЗНС около выработки, во-вторых, ЗНС концентрируются на концах щели, в-третьих, при заданных значениях α и β зоны около щели и зоны около выработки не смыкаются между собой.

На рисунке 2б ЗНС построены при $\alpha=20^\circ$, $\beta=40^\circ$. В отличие от рисунка 2а на этом рисунке зоны нарушения сплошности массива вокруг выработки и щели смыкаются между собой, образуя области неустойчивости. Как отмечалось ранее [6, 7, 17], зоны нарушения сплошности обладают свойством повышенной фильтрации метана, и если щель, представляющая геологическое нарушение, является суфляром или кол-

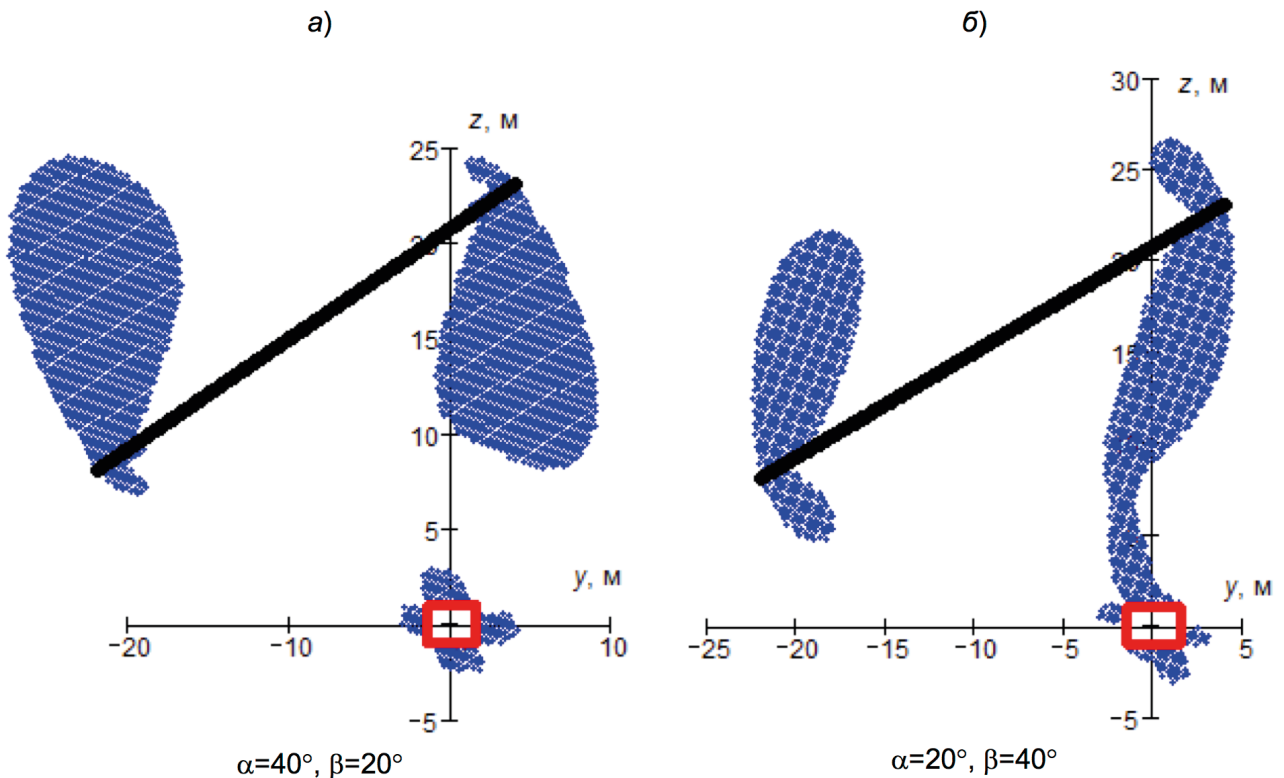


Рисунок 2 – Зоны нарушения сплошности в окрестности выработки и щели
Figure 2 - Zones of discontinuity disruption in the vicinity of the generation and gap

лектором свободного метана, находящегося под давлением, то поступление метана в выработку может резко возрасти. Кроме этого, в областях неустойчивости наблюдается повышенное проявление вывалов в выработку разрушенной горной породы.

Как следует из рисунков, размеры и конфигурация ЗНС определяются углами падения и простирания регулярных поверхностей ослабления. В этой связи для наиболее полной оценки геомеханического состояния анизотропного массива в окрестности выработки и щели важно знать, при каких значениях углов происходит образование его областей неустойчивости.

На рисунке 3 представлена диаграмма области неустойчивости массива, построенная при изменении углов α , β от 0° до 90° . Эта область представляет собой гладкий замкнутый несимметричный овал. Координаты точек, расположенных внутри области, включая и контур, соответствуют образованию областей неустойчивости массива.

4. Выводы:

1. Модель геомеханического состояния массива горных пород с прочностной анизотропией, вмещающая выработку и дизъюнктивное нарушение, построена на основе методов фиктивных нагрузок и разрывных смещений, описывающих граничные условия задачи. В ней дизъюнктивное нарушение представлено узкой щелью с заполнителем, обладающим нормальной и сдвиговой жёсткостями. Модель ориен-

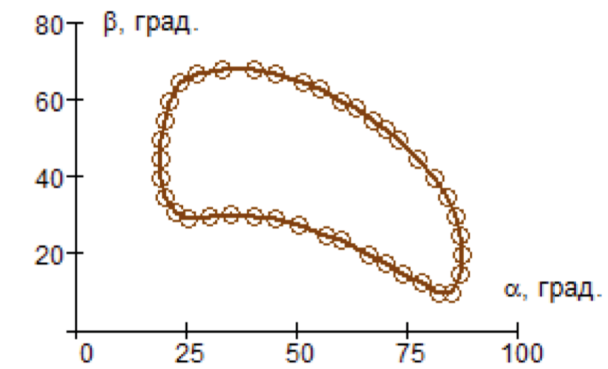


Рисунок 3 – Диаграмма неустойчивости массива в системе координат α и β
Figure 3 – Diagram of the instability of the array in the coordinate system α and β

тирована на исследования массива осадочных горных пород.

2. Размеры и конфигурация образующихся вокруг выработки и щели зон нарушения сплошности зависят от углов ориентации поверхностей ослабления. При некоторых углах размеры этих зон значительны и, сливаются между собой, образуют области неустойчивости массива.

3. Диаграмма неустойчивости массива, вмещающего щель и выработку прямоугольного сечения, представляет собой замкнутый контур в форме несимметричного овала. Координаты точек, расположенных внутри этого контура, включая и сам контур, соответствуют углам падения и простирания регулярных поверхностей ослабления, при которых зоны нарушения сплошности, образующиеся по отдельности вокруг выработки и щели, представляют собой единую зону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Г.Н. Предельные состояния твердых горных пород с учетом пространственной ориентировки поверхностей ослабления // Тр. ВНИМИ. Л., 1961. № 43. С. 98–112.
2. Ержанов Ж.С., Изаков В.Ю., Станкус В.М. Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчёт устойчивости. Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1976. 216 с.
3. Черданцев Н.В. Разработка методических основ изучения геомеханического состояния анизотропного (по прочности) массива с системой выработок: Дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2007. 309 с.
4. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Ануфриев В.Е. Вопросы методического и инструментального обеспечения мониторинга горных выработок. Кемерово, ИУ СО РАН, 2012. 222 с.
5. Черданцев Н.В. Моделирование разрушений в анизотропном по прочности неоднородном массиве горных пород, вмещающем выработку // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. № 1. С. 6–11.
6. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Зоны нарушения сплошности в области сопряжения двух горных выработок // ПМТФ. 2004. № 4. С. 137–139.
7. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаков В.Ю. Построение областей неустойчивости двухсвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 8. С. 313–320.
8. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаков В.Ю. Обоснование геомеханической модели разрушения многосвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 7. № 12. С. 122–125.
9. Черданцев Н.В., Федорин В.А. Геомеханическое состояние массива горных пород с поверхностями ослабления в окрестности комплекса протяжённых горизонтальных выработок // Вест. КузГТУ. 2006. № 1. С. 17–19.
10. Черданцев Н.В. Устойчивость целиков в окрестности системы выработок, сооружаемых в анизотропном по прочности массиве горных пород // Вестник КузГТУ. 2012. № 1. С. 15–19.
11. Черданцев Н.В. Классификация вырезов по степени их влияния на окружающий массив // Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер, В.Ю. Изаков // Вест. КузГТУ.–2006.–№ 5.–С. 3–7.

12. Черданцев Н.В., Преслер В.Т. Моделирование геомеханического состояния анизотропного по прочности неоднородного массива горных пород // Вестник КузГТУ. 2011. № 3. С. 15–22.
13. Черданцев С.В., Черданцев Н.В. О влиянии предварительно обжатой пружины на зону нарушения сплошности вокруг цилиндрической полости // ПМТФ. 2005. № 3. С. 141–148.
14. Черданцев Н.В. Влияние анкерной крепи на устойчивость породного массива, вмещающего одиночную выработку // Вестник КузГТУ. 2012. № 4. С. 3–7.
15. Букринский В.А. Геометрия недр. М.: Недра, 1999. 526 с.
16. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твёрдого тела. М.: Мир, 1987. 328 с.
17. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.
18. Чернов О. И., Пузырев В.Н. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. М.: Недра, 1979. 296 с.
19. Черданцев Н.В., Черданцев С.В. Геомеханическое состояние массива горных пород, вмещающего выработку и дизъюнктивное нарушение // Вестник КузГТУ. 2014. № 6. С. 3–12.
20. Черданцев Н.В., Шаламанов В.А. Метод граничных интегральных уравнений в задачах механики подземных сооружений // Вест. КузГТУ. 2003. № 4. С. 19–21.
21. Черданцев Н.В., Шаламанов В.А. Граничные интегральные уравнения в задачах механики подземных сооружений // Известия вузов «Горный журнал». 2004. № 5. С. 50–54.
22. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. 940 с.
23. Черданцев Н.В. Анализ геомеханического состояния массива горных пород в окрестности выработки, пройденной вблизи геологического нарушения // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 38–43.
24. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov, G.N. (1961). Predelnye sostoyaniya tverdykh gornyx porod s uchetom prostranstvennoy orientirovki poverhnostey oslableniya [Limiting states of solid rock with allowance for the weakening surfaces spatial orientation]. *Trudy VNIMI – VNIMI Works*, 43, 98-112 [in Russian].
2. Yerzhanov, Zh.S., Izakson, V.Yu., & Stankus, V.M. (1976). *Kombajnovye vyrabotki shakht Kuzbassa. Opyt podderzhaniya i raschyot ustojchivosti* [Combine mine workings of Kuzbass mines. Experience in maintaining and stability calculation]. Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoe izdatelstvo [in Russian].
3. Cherdantsev, N.V. (2007). *Razrabotka metodicheskikh osnov izucheniya geomekhanicheskogo sostoyaniya anizotropnogo (po prochnosti) massiva s sistemoy vyrabotok* [Development of methodological bases for studying the geomechanical state of an anisotropic (for strength) massif with a system of openings]. *Doctor's thesis*, Kemerovo [in Russian].
4. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Anufriev, V.Ye. (2012). *Voprosy metodicheskogo i instrumentalnogo obespecheniya monitoringa gornyx vyrabotok* [Questions of methodical and instrumental support of mine openings monitoring]. Kemerovo, IU SB RAS [in Russian].
5. Cherdantsev, N.V. (2012). *Modelirovanie razrushenij v anizotropnom po prochnosti neodnorodnom massive gornyx porod, vmeshchayushchem vyrabotku* [Modeling of fracturing in anisotropic for strength nonhomogeneous rock massif, containing an opening]. *Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti – Gerald of Safety in Mining Industry Scientific Center*, 1, 6-11, [in Russian].
6. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2004). *Zony narusheniya sploshnosti v oblasti sopryazheniya dvukh gornyx vyrabotok* [Zones of continuity disturbance in the area of two mine opening junction]. *PMTF*, 4, 137-139 [in Russian].
7. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2009). *Postroenie oblastej neustojchivosti dvukhsvyaznogo massiva gornyx porod s prochnostnoy anizotropiej* [Construction of rock massif doubly-connected instability areas with strength anisotropy]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, 8, 313-320 [in Russian].
8. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2009). *Obosnovanie geomekhanicheskoy modeli razrusheniya mnogosvyaznogo massiva gornyx porod s prochnostnoy anizotropiej* [Substantiation of multiply connected rock massif with strength anisotropy destruction geomechanical model]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii biulleten – Mining Informational Analytical Bulletin*, V.7, 12, 122-125 [in Russian].
9. Cherdantsev, N.V., & Fedorin, V.A. (2006). *Geomekhanicheskoe sostoyanie massiva gornyx porod s poverhnostyami oslableniya v okrestnosti kompleksa protyazhyonnykh gorizontalnykh vyrabotok* [Geomechanical state of the rock massif with attenuation surfaces in the vicinity of the extended horizontal opening complex]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 1, 17-19 [in Russian].
10. Cherdantsev, N.V. (2012). *Ustojchivost tselikov v okrestnosti sistemy vyrabotok, sooruzhaemykh v anizotropnom po prochnosti massive gornyx porod* [Stability of the pillars in the vicinity of the opening system being built in anisotropic for strength rock massif]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 1, 15-19 [in Russian].
11. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T., & Izakson, V.Yu. (2006). *Klassifikatsiya vyrezov po stepeni ikh vliyaniya na okruzhayushchij massiv* [Classification of cut-outs according to their influence degree on the surrounding massif]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 5, 3-7 [in Russian].
12. Cherdantsev, N.V., & Presler, V.T. (2011). *Modelirovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya anizotropnogo po prochnosti neodnorodnogo massiva gornyx porod* [Modelling of anisotropic for strength inhomogeneous rock massif geomechanical state]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 3, 15-22 [in Russian].
13. Cherdantsev, S.V., & Cherdantsev, N.V. (2005). *O vliyaniy predvaritelno obzhatoy pruzhiny na zonu narusheniya sploshnosti vokrug tsilindricheskoy polosti* [On the effect of a pre-compressed spring on the discontinuity zone around the cylindrical cavity]. *PMTF*, 3, 141-148 [in Russian].
14. Cherdantsev, N.V. (2012). *Vliyanie ankernoy крепи na ustojchivost porodnogo massiva, vmeshchayushchego odinochnuyu vyrabotku* [The anchor support influence on the stability of the rock massif, containing a single opening]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 5, 3-7 [in Russian].

15. Bukrinsky, V.A. (1999). *Geometria nedr [Deposits' geometry]*. Moscow: Nedra [in Russian].
16. Crauch, C., & Starfield, A. (1987). *Metody granichnykh ehlementov v mekhanike tvyordogo tela [Methods of boundary elements in the mechanics of solids]*. Moscow: Mir [in Russian].
17. Petukhov, I.M., & Linkov, A.M. (1983). *Mekhanika gornyykh udarov i vybrosov [Rock shocks and outbursts mechanics]*. Moscow: Nedra [in Russian].
18. Chernov, O.I., & Puzyrev, V.N. (1979). *Prognoz vnezapnykh vybrosov uglia i gaza [Forecast of sudden coal and gas outbursts]*. Moscow: Nedra [in Russian].
19. Cherdantsev, N.V., & Cherdantsev, S.V. (2014). Geomekhanicheskoe sostoyanie massiva gornyykh porod, vmeshchayushchego vyrabotku i dizyunktivnoe narushenie [Geomechanical state of rock massif containing an opening and disjunctive disturbance]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 6, 3-12 [in Russian].
20. Cherdantsev, N.V., & Shalamanov, V.A. (2003). Metod granichnykh integralnykh uravnenij v zadachakh mekhaniki podzemnykh sooruzhenij [The method of boundary integral equations in the underground structure mechanics tasks]. *Vestnik KuzGTU – KuzGTU Gerald*, 4, 19-21 [in Russian].
21. Cherdantsev, N.V., & Shalamanov, V.A. (2004). Granichnye integralnye uravneniya v zadachakh mekhaniki podzemnykh sooruzhenij [Boundary integral equations in the underground structure mechanics tasks]. *Izvestia vuzov "Gorny zhurnal" – High School News "Mining Magazine"*, 5, 50-54 [in Russian].
22. Lurie A.I. (1970). *Teoria uprugosti [Theory of elasticity]*. Moscow: Nauka [in Russian].
23. Cherdantsev, N.V. (2015). Analiz geomekhanicheskogo sostoyaniya massiva gornyykh porod v okrestnosti vyrabotki, proydennoj vblizi geologicheskogo narusheniya [Analysis of the rock massif geomechanical state in the vicinity of the opening headed near the geological disturbance]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Industrial Labor Safety*, 8, 38-43 [in Russian].
24. Rabotnov, Yu.N. (1988). *Mekhanika deformiruемого tverdogo tela [Deformable solid body mechanics]*. Moscow: Nauka [in Russian].