УДК 622.831.3:622.26:622.28(571.62) © Г.Л. Феофанов, Е.В. Аушев, В.Н. Фрянов, М.В. Лысенко, А.В. Айкин, 2017

Особенности деформирования вмещающих пород подземных горных выработок в неоднородном поле геотектонических напряжений на примере пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-3-16-20

ФЕОФАНОВ Григорий Леонартович
Канд. техн. наук,
технический директор АО «Ургалуголь»,
682030, п. Чегдомын, Хабаровский край, Россия

АУШЕВ Евгений Викторович
Инженер-технолог ООО «РАНК 2»,
650000, г. Кемерово, Россия

ФРЯНОВ Виктор Николаевич
Доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой геотехнологии СибГИУ,
654007, г. Новокузнецк, Россия

ЛЫСЕНКО Максим Владимирович
Заместитель директора по научной работе
ООО «РАНК 2»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: limak2@yandex.ru

АЙКИН Андрей Владимирович
Заместитель главного технолога ООО «РАНК 2»,
650000, г. Кемерово, Россия

По результатам проведенной научно-исследовательской работы, включающей в себя изучение фактических условий проведения горных выработок и численное моделирование геомеханических процессов, были выполнены расчеты, и обоснование параметров крепи выработок в условиях неоднородного поля геотектонических напряжений. Даны рекомендации по проходке, креплению и поддержанию горных выработок с учетом применения наиболее эффективных, в данных условиях, конструкций крепей и технологий.

Ключевые слова: *геотектонические напряжения, анкерная крепь, геомеханика, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние пород.*

В настоящее время расчет параметров и выбор конструкций анкерной крепи горных выработок на угольных шахтах России производятся на основании инструкции [1], однако в условиях пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» с горизонта +200 м (глубина около 230 м) параметры крепи не обеспечивали надежного поддержания выработок.

Специалистами ООО «РАНК 2» в сотрудничестве с техническими службами предприятия было выполнено обследование состояния подготовительных горных выработок, в результате которого выявлены следующие негативные явления:

– существенные смещения пород кровли на протяжении 15-20 м от проходческого забоя;

– вывалы пород кровли во встречных подготовительных забоях;

– деформации боков выработок, величина которых различна в зависимости от направления выработок относительно частей света;

– деформации и обрывы анкеров первого уровня;

– обрывы канатных анкеров глубокого заложения.

Выявленные негативные явления являются признаком существенного влияния геотектонических напряжений на геомеханические процессы в окрестности горных выработок [2, 3]. В качестве факторов, негативно влияющих на устойчивость выработок, выделены дизъюнктивные нарушения, слоистость и трещиноватость пород кровли, локальные зоны с низкой прочностью пород, изменчивость мощности и свойств угля и пород в пределах выемочного участка.

Так как в таких условиях применение регламентированных нормативными документами [1, 2] алгоритмов выбора параметров крепи не обеспечивает прогноз ее параметров, соответствующих условиям безопасной эксплуатации выработок было принято решение силами ООО «РАНК 2» провести комплексные исследования с детальным изучением фактических горно-геологических условий, величины и направления вектора напряжений, действующих в углепородном массиве.

В соответствии с поставленной целью исследований решены следующие научно-практические задачи:

– изучены горно-геологические и горнотехнические условия проведения и поддержания выработок;

Результаты измерения напряжений в угольном пласте В12

№ опыта	Напряжения, МПа		Угол φ*, градус	Модуль упругости, МПа
	σ_1	σ_2		
1	8,31	20,58	23	2797
2	10,35	6,85	44	2174
3	11,9	4,13	24	3678
4	7,44	-8,74	21	3787
5	7,59	-3,84	-7	3636
6	7,56	1,64	1	726
7	7,28	9,75	-23	1282
8	6,57	19,38	38	2161
9	9,52	4,34	-19	2770

φ* – угол между горизонтальной осью и вектором главного максимального напряжения

– установлена закономерность распределения фактических физико-механических свойств в различных частях шахтного поля с использованием образцов пород кровли выработок;

– выявлена интенсивность распределения трещин в породах кровли по результатам видеоэндоскопического обследования шпуров;

– определены направление и величина вектора напряжений методом частичной разгрузки угольного массива в боках выработок;

– по результатам шахтных экспериментов произведена настройка входных параметров компьютерной программы численного моделирования геомеханических процессов, и по результатам прогноза напряжений, деформаций и зон разрушения пород обоснованы параметры крепи выработок в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь»;

– по результатам численного моделирования произведена оценка влияния геотектонического поля напряжений на состояние пород и параметры крепи;

– по результатам мониторинга геомеханических процессов подтверждено соответствие прогнозируемых параметров крепи выработок фактическим условиям выемочного участка.

В ходе исследований установлено, что мощность и структура пород кровли пласта В12 крайне неоднородны. Мощность пород непосредственной кровли, согласно прогнозной геологии, изменяется в пределах 2-7 м. Для количественной оценки параметров непосредственной кровли проведены дополнительные шахтные исследования, которые включали в себя отбор образцов пород в виде керна и анализ строения пород кровли с помощью видеоэндоскопа.

Проведенные исследования подтвердили высокую неоднородность кровли. Непосредственная кровля, по результатам отбора керна в вентиляционном штреке Л12/5, имеет мощность 3 м от контура выработки и представлена преимущественно аргиллитом и алевролитом с переслаиванием углистых веществ и тонким прослойком песчаника. Основная кровля представлена преимущественно песчаником с прослойками туффита и углистых веществ. Непосредственная кровля в вентиляционном штреке Л12/6 имеет мощность 5,4 м, включает слои аргиллита и алевролита с тонкими прослойками углистых веществ и одним прослойком песчаника. Основная кровля представлена песчаником. В обеих выработках кровля до 5–6,3 м имеет большое количество поверхностей ослабления в виде прослойков туффита и углистых веществ низкой прочности.

Для настройки компьютерной программы и расчета геомеханических параметров в окрестности потребовались исходные данные о направлениях и величинах векторов главных напряжений. Так, методом частичной разгрузки в боках выработки были проведены измерения деформаций угольного массива при проведении разгрузочной скважины [4]. После обработки результатов эксперимента определялись модуль упругости, предел прочности угля при сжатии, величины и направление вектора главных напряжений *(см. таблицу)*.

Коэффициент Пуассона определялся по эмпирическим зависимостям [5, 6].

Из *таблицы* следует, что поле напряжений в углепородном массиве в условиях пласта В12 АО «Ургалуголь» крайне неоднородное. Это объясняется высокой степенью нарушенности массива и сложным геотектоническим полем напряжений. Опыты показали превышение величины горизонтальных напряжений по сравнению с вертикальными в 2,5–3 раза.

По результатам опытов проведена реконструкция природного поля напряжений в пределах выемочного столба 12/5 и определено направление главных горизонтальных напряжений. В зависимости от направления движения подготовительных забоев, а также их положения относительно линий простирания сместителей дизъюнктивных нарушений интенсивность и формы проявления горного давления существенно отличаются *(рис. 1)*.

Наиболее интенсивно разрушается уголь в боках при ориентировке вектора главных горизонтальных напряжений почти перпендикулярно оси выработки *(см. рис. 1, г)*. При остром угле между направлением подвигания проходческого забоя и вектором главных горизонтальных напряжений разрушение угля в боках выработки менее интенсивное, однако в этом случае увеличиваются смещения пород кровли и объем вывалов угля в призабойном пространстве, особенно в местах максимальных концентраций напряжения *(см. рис. 1, а, б, в)*. На этих участках выработки выявлены существенные повреждения анкерной крепи в виде периодических обрывов стержней анкеров первого и второго уровня, срывов гаек с анкеров первого уровня, деформаций опорных элементов. Эти явления наблюдались в боках и вблизи забоя выработки в зависимости от направления ее проведения.

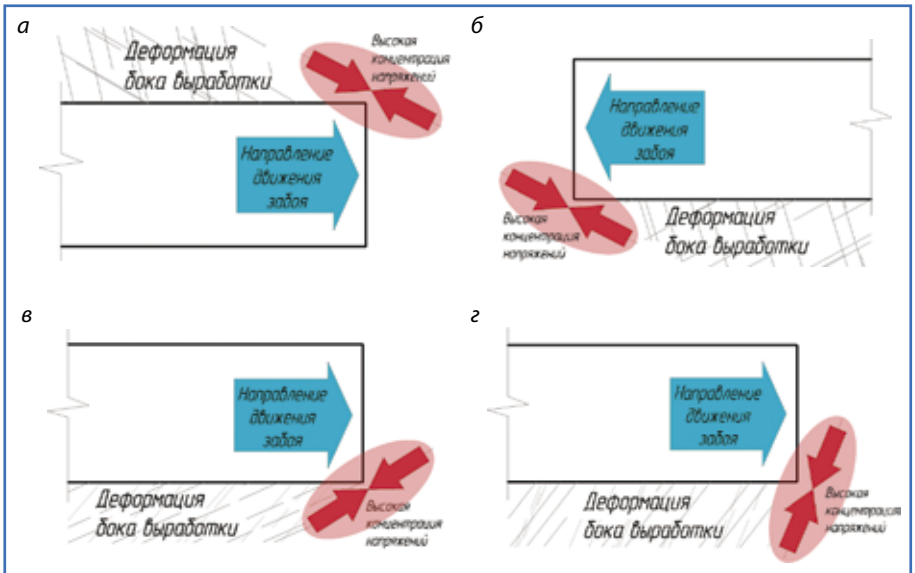

Рис. 1. Характер разрушения угля в боках выработки в зависимости от направления проведения выработки: а – вентиляционные и конвейерные штреки; б – вентиляционные и конвейерные штреки (в обратном направлении); в – вентиляционные печи и сбойки (проведение по восстанию); г – монтажные камеры (проведение по восстанию)

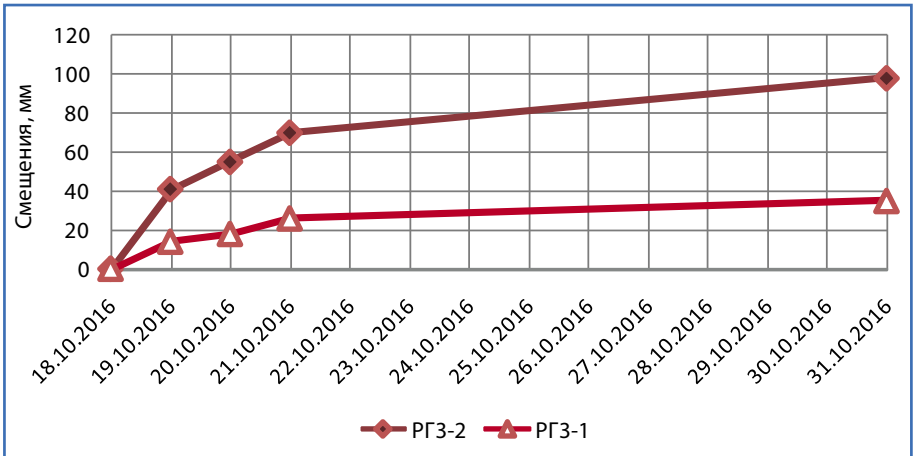

Рис. 2. Общие смещения пород кровли за период наблюдений (станции РГ3-1 и РГ3-2)

Для выявления причин аномального проявления горного давления при проведении выработок были выполнены измерения смещений пород кровли с помощью глубинных реперов. Реперы РГ3-1 и РГ3-2 устанавливались на расстоянии 1 м от груди проходческого забоя, в скважинах, отбуренных в кровлю со стороны левого и правого боков сбойки № 8. Реперы фиксировались на глубинах 8, 4 и 1,85 м. Замеры снимались при расстоянии от проходческого забоя 1, 6, 10 и 14 м, а также после формирования сопряжения между сбойкой № 8 и конвейерным штреком Л12/5. На *рис. 2* представлены общие смещения пород, зафиксированные за период наблюдений.

При выполнении наблюдений установлено, что максимальные смещения пород кровли (до 90 мм) реализуются в диапазоне 0-4 м преимущественно со стороны правого бока выработки и превышают податливость анкерной крепи второго уровня. До 50 мм смещений реализуется в диапазоне 0–1,85 м, что превышает податливость анкерной крепи первого уровня типа А20В. Рост смещений отмечается с первых дней после установки реперных станций. Следовательно, основной наиболее вероятной причиной разрушения анкеров первого уровня являются осевые перегрузки стержней анкеров в результате релаксации пород кровли при проведении выработки. Неравномерность смещений пород кровли по ширине проходческого забоя объясняется действием геотектонических напряжений *(см. рис. 1, в)*.

По результатам видеоэндоскопического обследования скважины, пробуренной в кровле сбойки № 8 на одной линии с реперными станциями РГ3-1 и РГ3-2, при расстоянии от скважины до забоя 1 м были получены следующие данные: на глубине от 0,11 до 0,2 м выявлено расслоение, на глубине от 2,05 до 4 м – наклонные трещины, а на глубине от 5,48 до 5,67 м – трещиноватые породы.

С использованием полученных экспериментальных данных проведена настройка исходных данных в компьютерных программах численного моделирования геомеханических процессов [7] и получены следующие результаты моделирования:

– отношение остаточной прочности угля и пород, к исходной *(рис. 3)*;

– вертикальные и горизонтальные упругие и упругопластические смещения *(рис. 4)*;

– полные векторы напряжений и деформаций пород в окрестности выработок.

В качестве критерия перехода пород от упругого к упруго-пластичному состоянию принято по результатам исследований отношение остаточной прочности пород, к исходной равное 0,7.

На *рис. 3* представлены результаты моделирования изменения остаточной прочности пород, к исходной в кровле сбойки № 8 вне зоны опорного давления.

Прогноз по результатам численного моделирования формы и размеров зон неупругого деформирования горных пород *(см. рис. 3)* удовлетворительно совпадает с результатами натурных экспериментов. Параметры зон неупругих деформаций пород кровли, полученные на основе численного моделирования *(см. рис. 3)*, составили: высота первой зоны – около 2,5 м, второй – 4–4,2 м. Кроме того результаты численного моделирования позволяют оценить состояние пород не только в кровле, но и в почве и боках выработки.

Таким образом, по результатам комплексных исследований решены следующие адаптивные к условиям выемочного участка пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» научно-практические задачи:

– выявлена неоднородность физико-механических свойств пород в пределах выемочного участка, характерными признаками которой являются переслаивание породных слоев разной прочности и мощности, множество поверхностей ослабления по контактам пород и поверхностям дизъюнктивных нарушений, включения склонного к размоканию туффита.

– доказана высокая информативность эндоскопического обследования пород кровли. Этот метод рекомендуется для оперативного мониторинга структуры и состояния углепородной толщи, настройки входных параметров компьютерной программы расчета геомеханических параметров и разработки паспорта крепления выработок;

– выявлена закономерность снижения величин раскрытия техногенных и природных трещин в породах при увеличении расстояния от кровли выработки, что позволяет установить высоту свода естественного равновесия, необходимого для выбора длины анкеров первого и второго уровней;

– установлена неравномерность распределения величин и направлений вектора главных горизонтальных напряжений и выявлены зоны вероятного разрушения горных пород в боках и элементах крепи на контуре выработки;

– доказана высокая надежность (в пределах ±5%) численного метода моделирования геомеханических параметров по сравнению с результатами шахтного эксперимента. Метод рекомендуется для прогноза геомеханического состояния углепородного массива и выбора параметров крепи.

По результатам исследований для условий пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» обоснованы следующие рекомендации:

– проводить выработки рекомендуется комбайном с исполнительным органом избирательного действия и установкой анкеров на расстоянии не более 0,8 м от груди забоя во избежание расслоения пород кровли и образования вывалов;

– повысить эффективность поддержания выработок возможно за счет применения сводчатой формы сечения или трапециевидной с кровлей, совпадающей с плоскостью напластования пород, а также применения общих опорных элементов для анкерной крепи;

– зона интенсивной релаксации вмещающих пород составляет 20-30 м от груди забоя, а смещения пород кровли могут достигать 100 мм. Соответственно, для предотвращения перегрузки и разрыва анкеров первого уровня на этапе релаксации пород кровли необходимо применять анкеры с податливостью стержня не менее 100 мм;

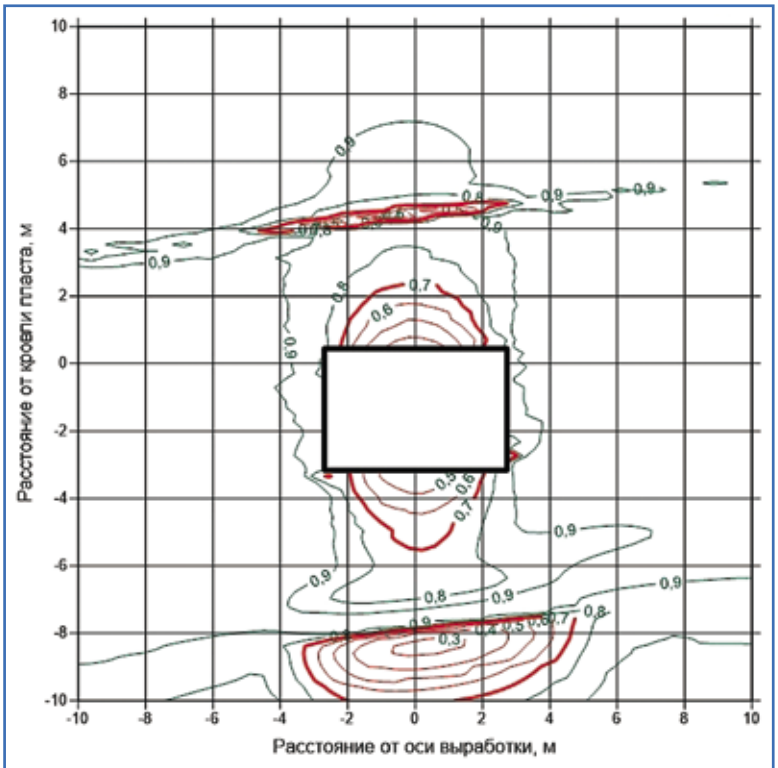

Рис. 3. Отношение остаточной прочности пород к исходной в окрестности сбойки №8 (вне зоны опорного давления)

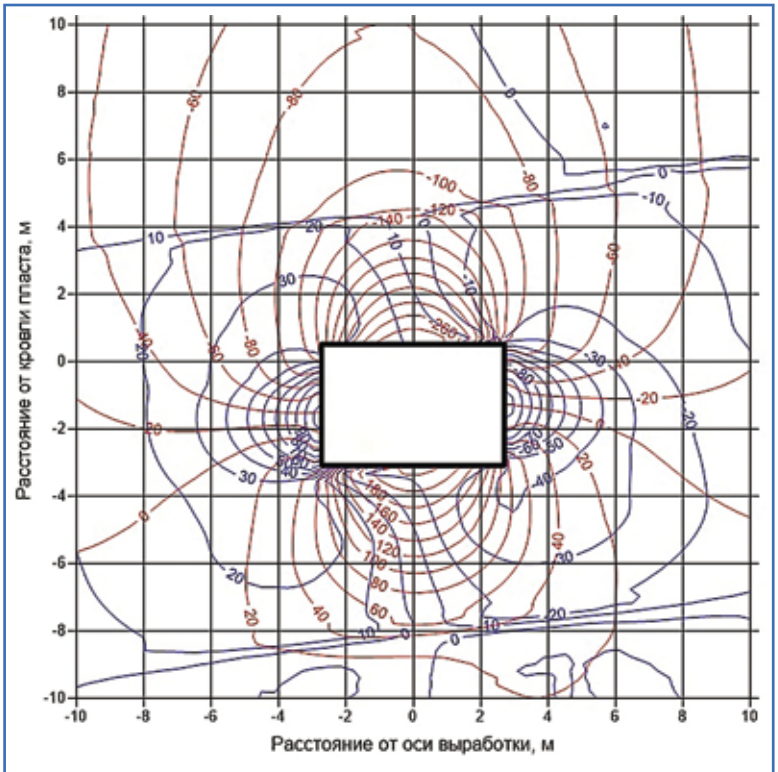

Рис. 4. Прогнозные горизонтальные (синие линии) и вертикальные (красные линии) смещения пород в окрестности сбойки № 8 (вне зоны опорного давления)

– усиление крепи выработки канатными анкерами рекомендуется производить на расстоянии 15-20 м от груди проходческого забоя. При выборе конструкции крепи усиления необходимо учитывать ее податливость и смещения пород кровли.

ВЫВОДЫ

В условиях действия высоких геотектонических напряжений применение численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива позволяет сделать адекватный прогноз параметров деформаций пород кровли и боков горных выработок.

С учетом полученных положительных результатов численного моделирования этот метод рекомендуется применять на стадии разработки проектной документации для прогноза пространственного положения горных выработок, выбора формы и размеров поперечного сечения, а также параметров крепления выработок.

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 42. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. 86 с.

2. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. СПб.: ВНИМИ, 1991. 125 с.

3. Охрана подготовительных горных выработок целиками на угольных шахтах: Учебное пособие для корпоративной системы повышения квалификации инженерно-технических работников / В.Б. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов и др. / под редакцией профессора, доктора техн. наук Ю.В. Шувалова. М.: Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2011. 204 с.

4. Влох Н.П., Сашурин А.Д. Измерения напряжений в массиве крепких горных пород. М.: Недра, 1970. 120 с.

5. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш. М.: Недра, 1969. 392 с.

6. Физико-технические свойства горных пород и углей / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. М.: Недра, 1994. 447 с.

7. Фрянов В.Н., Петрова О.А., Петрова Т.В. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 г. // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015 г. Режим доступа: URL: http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php (дата обращения: 14.02.17).

UDC 622.831.3:622.26:622.28(571.62) © G.L. Feofanov, E.V. Aushev, V.N. Fryanov, M.V. Lysenko, A.V. Aikin, 2017
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2017, № 3, pp. 16-20

Title

SPECIFIC FEATURES OF UNDERGROUND MINING HOST ROCKS DEFORMATION IN NON-UNIFORM GEOTECTONIC STRESS FIELD WITH REFERENCE TO "URGALUGOL", JSC, "SEVERNAYA" MINE, B12 COAL BED

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-3-16-20

Authors

Feofanov G.L.[1], Aushev E.V.[2], Fryanov V.N.[3], Lysenko M.V.[2], Aikin A.V.[2]

[1] "Urgalugol", JSC, Chegdomyn settlement, Khabarovsk Krai, 682030, Russian Federation

[2] "RANK 2", LLC, Kemerovo, 650000, Russian Federation

[3] SibSIU, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education (FSFEI HPE), Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Authors' Information

Feofanov G.L., PhD (Engineering), Technical Director

Aushev E.V., Process Engineer

Fryanov V.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Geotechnology Department

Lysenko M.V., Deputy Director for Research, e-mail: limak2@yandex.ru

Aikin A.V., Deputy Chief Process Engineer

Abstract

Based on the results of scientific and research work, including study of mine workings actual conditions and geomechanical processes numerical modelling, mine working support was computed and parameters were substantiated for non-uniform geotectonic stress field. Recommendations were offered with account for the most efficient support design and technologies application for mining, mine workings support and maintenance in such conditions.

Keywords

Geotectonic stress, Rock support, Geomechanics, Numerical modelling, Rock stressed – strained condition.

References

1. *Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoy krepi na ugolnyh shahtah"* [Federal occupational safety standards and regulations "Guidelines for computation and application of coal mines rock support"]. Series 05, Issue 42. Moscow, JSC NTC Industrial Safety Publ., 2015, 86 p.

2. *Instruktsiya po vyboru ramnyh podatlivyh krepey gornyh vyrabotok* [Guidelines for mine workings compressible frame supports selection]. St-Petersburg, VNIMI Publ., 1991, 125 p.

3. Artemiev V.B., Korshunov G.I., Loginov A.K., et al. *Ohrana podgotovitelnyh gornyh vyrabotok tselikami na ugolnyh shahtah: Uchebnoe posobie dlya korporativnoy sistemy povysheniya kvalifikatsii inzhenerno-tekhnicheskih rabotnikov* [Coal mines development workings pillar protection: Training aid for the corporate engineering and technical personnel advanced training]. Under editorship of Doctor of Engineering Sciences, Professor Shuvalov Yu.V. Moscow, Gornoye Delo Publ., "Kimmeriiskiy Tsentr", LLC, 2011, 204 p.

4. Vlokh N.P. & Sashurin A.D. *Izmereniya napryazheniy v massive krepkih gornyh porod* [Solid rock mass stress measurement]. Moscow, Nedra Publ., 1970, 120 p.

5. Ilnitskaya E.I., Teder R.I., Vatolin E.S. & Kuntysh M.F. *Svoystva gornyh porod i metody ih opredeleniya* [Rock properties and their determination method]. Moscow, Nedra Publ., 1969, 392 p.

6. Shtumpf G.G., Ryzhkov Yu.A., Shalamanov V.A. & Petrov A.I. *Fiziko-tekhnicheskie svoystva gornyh porod i ugley* [Rock and coal physical-technical properties]. Moscow, Nedra Publ., 1994, 447 p.

7. Frianov V.N., Petrova O.A. & Petrova T.V. *Kompleks problemno-orientirovannyh programm dlya modelirovaniya formirovaniya i raspredeleniya opasnyh zon v gazonosnom geomassive* [Complex of task oriented software for gas bearing geo-mass hazardous zones formation and distribution modelling]. Web media registration certificate no. 21123, registration date: 03 August 2015. Pooled fund of electronic resources "Science and Education" no. 08-09 (75-76), August – September, 2015. Available at: http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php (accessed 14.02.17).