

# **ГОРНОЕ ДЕЛО**

## **ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ ГЕОТЕКТЕНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Аушев Евгений Викторович – ведущий специалист по  
научно-исследовательской работе ООО «РАНК 2»  
Феофанов Григорий Леонартович – кандидат технических наук,  
технический директор АО «Ургалуголь»  
Фрянов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой геотехнологии СибГИУ  
Лысенко Максим Владимирович – заместитель директора по  
научной работе ООО «РАНК 2»  
Айкин Андрей Владимирович – заместитель главного  
технолога ООО «РАНК 2»  
Россия, г. Кемерово

### **Аннотация**

По результатам проведенной научно-исследовательской работы, включающей в себя изучение фактических условий проведения горных выработок и численное моделирование геомеханических процессов, был выполнен расчет, 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 расчёт параметров и выбор конструкций анкерной крепи горных выработок на угольных шахтах России производится на основании инструкции [1], однако в условиях пласта В12 шахты «Северная» АО «Ургалуголь» с горизонта +200 (глубина около 230 м) параметры крепи не обеспечивали надёжного 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]. В качестве факторов, негативно влияющих на устойчивость выработок, вы-

делены 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 её 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;
- 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 видеозендоскопического обследования шпуров;
- определено 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 2,0–7,0 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 видеозендоскопа.

Проведенные исследования подтвердили высокую неоднородность кровли. Непосредственная кровля по результатам отбора керна в Вентиляционном штреке Л12/5 имеет мощность 3,0 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 5,0–6,3 м имеет большое количество поверхностей ослабления в виде прослоек туффита и углистых веществ низкой прочности.

Для настройки компьютерной программы и расчёта 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

[6]. После обработки результатов эксперимента определялись модуль упругости, предел прочности угля при сжатии, величины и направление вектора главных напряжений (таблица 1). Коэффициент Пуассона определялся по эмпирическим зависимостям [4, 5].

Таблица 1. Результаты измерения напряжений в угольном пласте В12

| № опыта                                                                                   | Напряжения, МПа |            | Угол $\varphi^*$ , град. | Модуль упругости, МПа |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|--------------------------|-----------------------|
|                                                                                           | $\sigma_1$      | $\sigma_2$ |                          |                       |
| 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                  |
| $\varphi^*$ – угол между горизонтальной осью и вектором главного максимального напряжения |                 |            |                          |                       |

Из табл.1 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 направлении 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 (рис. 1г). 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 объём вывалов угля в призабойном пространстве, особенно в местах максимальных концентраций напряжениях (рис. 1а–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.

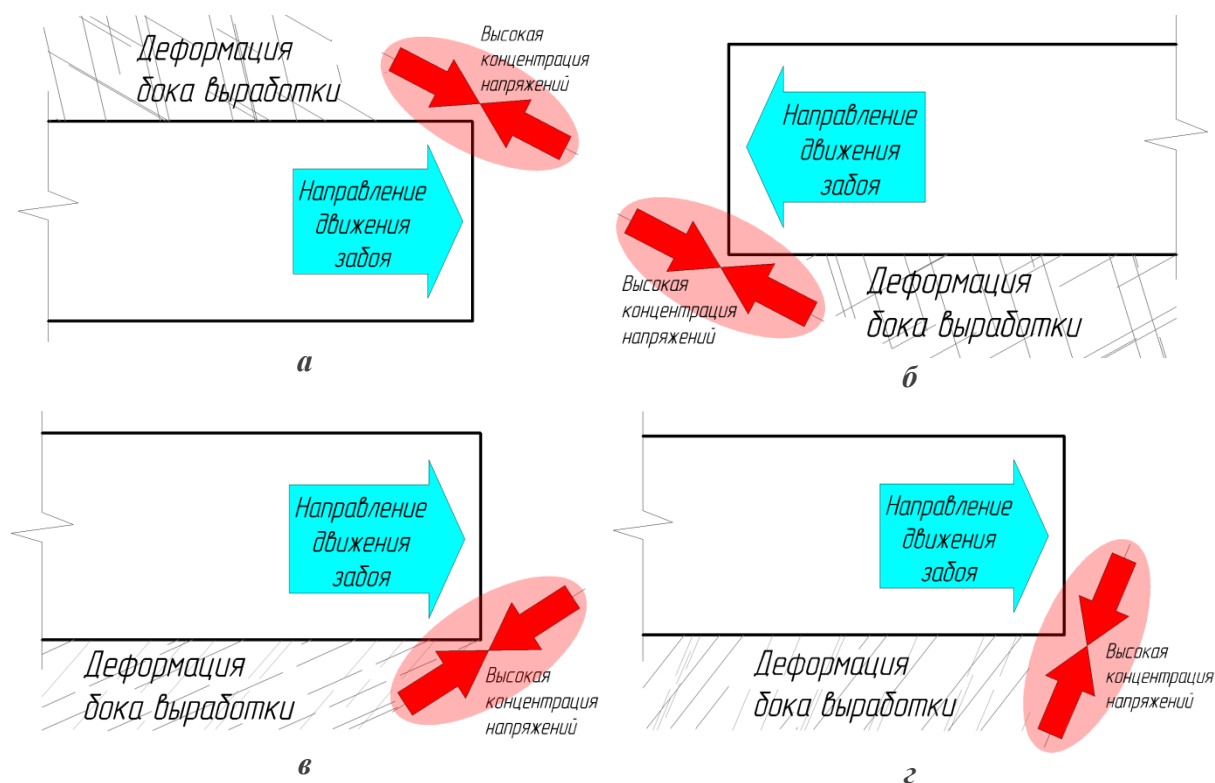


Рисунок 1. Характер разрушения угля в боках выработки в зависимости от направления проведения выработки: а – вентиляционные и конвейерные штреки; б – вентиляционные и конвейерные штреки (в обратном направлении); в – вентиляционные печи и сбойки (проведение по восстанию); г – монтажные камеры (проведение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

Для выявления причин аномального проявления горного давления, при проведении выработок, были выполнены измерения смещений пород кровли с помощью глубинных реперов. Реперы РГЗ-1 и РГЗ-2 устанавливались на расстоянии 1,0 м от груди проходческого забоя, в скважинах, отбуренных в кровлю со стороны левого и правого боков Сбойки №8. Реперы фиксировались на глубинах: 8,0 м, 4,0 м и 1,85 м. Замеры снимались при расстоянии от проходческого забоя 1, 6, 10 и 14 м, а так же 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 - 4,0 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 (рис. 1в).

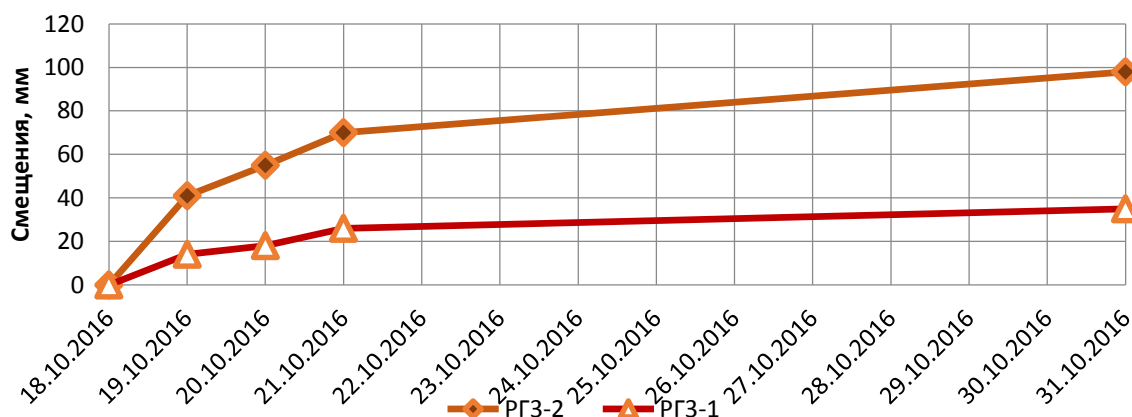


Рисунок 2. Общие смещения пород кровли за период наблюдений (станции РГЗ-1 и РГЗ-2)

По результатам видеоэндоскопического обследования скважины, пробуренной в кровле Сбойки №8 на одной линии с реперными станциями РГЗ-1 и РГЗ-2, при расстоянии от скважины до забоя 1 м были получены следующие данные: на глубине от 0,11 до 0,20 м выявлено расслоение, на глубине от 2,05 до 4,00 м – наклонные трещины, а на глубине от 5,48 до 5,67 – трещиноватые породы.

С использованием полученных экспериментальных данных проведена настройка исходных данных в компьютерных программах численного моделирования геомеханических процессов [7] и получены следующие результаты моделирования: также отношение остаточной прочности угля и пород к исходной (рис. 3), вертикальные и горизонтальные упругие и упруго-пластические смещения (рис. 4), а так же полные вектора 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.

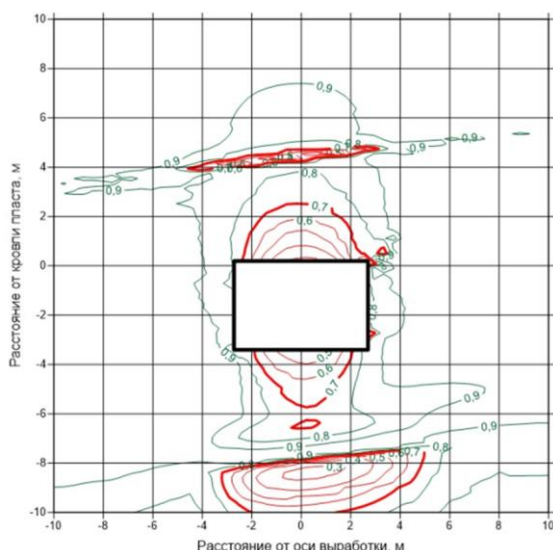


Рисунок 3. Отношение остаточной прочности пород к исходной в окрестности Сбойки №8 (вне зоны опорного давления)

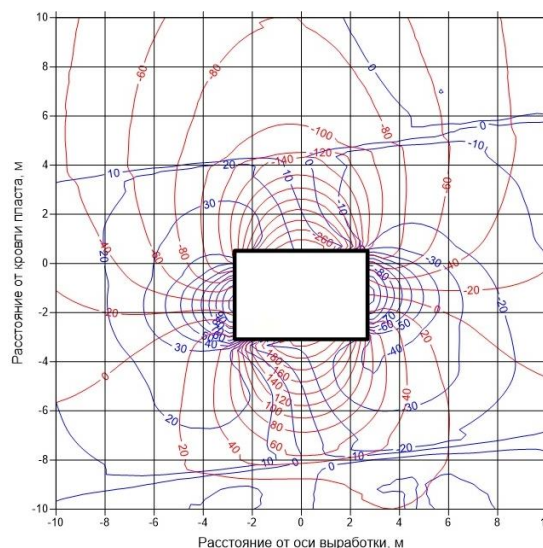


Рисунок 4. Прогнозные горизонтальные (синие линии) и вертикальные (красные линии) смещения пород в окрестности Сбойки №8 (вне зоны опорного давления)

Прогноз по результатам численного моделирования формы и размеров зон неупругого деформирования горных пород (рис. 3) удовлетворительно совпадает с результатами натурных экспериментов. Параметры зон неупругих деформаций пород кровли, полученные на основе численного моделирования (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 слоёв разной прочности и мощности, множество поверхностей ослабления по контактам пород и поверхностям дизъюнктивных нарушений, включениями 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 расчёта 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 элементов крепи на контуре выработки;

- доказана высокая надёжность (в пределах  $\pm 5\%$ ) 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:

1. 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.

2. Повысить эффективность поддержания выработок возможно за счёт применения сводчатой формы сечения или трапецевидной с кровлей, совпадающей с плоскостью напластования пород, а так же применением общих опорных элементов для анкерной крепи.

3. 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.

4. Усиление крепи выработки канатными анкерами рекомендуется производить на расстоянии 15-20 м от груди проходческого забоя. При выборе конструкции крепи усиления необходимо учитывать её 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 учётом 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. –186 с.
2. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок /ВНИМИ, СПб.: 1991. –125 с.
3. Охрана подготовительных горных выработок целиками на угольных шахтах: Учеб. пособие для корпоративной системы повышения квалификации инженерно-технических работников / В. Б. Артемьев, Г. И. Коршунов, А. К. Логинов, В. М. Шик, Е. П. Ютяев / под ред. проф., д-ра тех. наук Ю. В. Шувалова – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. –204 с.
4. Свойства горных пород и методы их определения / Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. –М.: Недра, 1969. –392 с.
5. Физико-технические свойства горных пород и углей/ Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. –447 с.
6. Влох Н.П. Измерения напряжений в массиве крепких горных пород / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин. – М.: Недра. –1970. –120 с.
7. 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 года / В.Н. Фрянов, О.А. Петрова, Т.В. Петрова // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 08-09 (75-76) август-сентябрь 2015. Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php>.