

УДК 622.272:622.281.79:622.831

А.А. Подосенов

**О МЕТОДИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЯХ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И АНАЛИТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК,
ЗАКРЕПЛЕННЫХ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ НА ПЛАСТАХ
ОПАСНЫХ ПО ГОРНЫМ УДАРАМ ПРИ ПАРНОЙ
ПОДГОТОВКЕ**

Установлены геомеханические параметры сдвижений массива, разработана методика расчета параметров анкерной крепи на удароопасных и подработанных пластах Печорского бассейна.

Ключевые слова: пласт, анкерная крепь, мелкоблочная среда, шахта, зональная дезинтеграция.

Шахтами ОАО «Воркутауголь» обрабатывается Воркутское месторождение, характеризующееся сложными геодинамическими условиями.

Геодинамическая характеристика месторождения определяет выбор технологических схем развития и ведения работ, обоснование применяемой технологии проведения и крепи выработок, а также порядок обеспечения геодинамически безопасных условий на пластах склонных к горным ударам. Поэтому для решения вопросов управления состоянием горного массива в исходные данные при проектировании выработок с анкерной крепью геодинамическая характеристика должна включать показатели, необходимые для эффективного применения анкерной крепи и повышения устойчивости выработок и исключения дополнительных затрат на проведение профилактических работ по предотвращению газодинамических явлений (ГДЯ). Такими являются показатели, определяющие направле-

ния действующих напряжений и критерии оценки напряженного состояния горного массива на участке проведения выработки с анкерной крепью, сведения о расположении тектонически напряженных зон и участков угольных пластов с аномально высокими напряжениями [1].

Основные обрабатываемые пласты: Мошный, Тройной, Четвертый, Пятый склонны к газодинамическим проявлениям горного давления. Пласты Мошный, Тройной являются опасными по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, а пласт Четвертый, залегающий ниже пласта Тройного, относится к угрожаемым, а на отдельных участках к опасным по горным ударам. Средняя глубина ведения работ на шахтах Воркутского месторождения 790—1140 м.

На основании проведенных промышленных испытаний за период с 24.06.2002 г. по 31.12.2004 г. и выполненных исследований в течение 2005-2007 гг. по разработке дополнений и изменений в нормативные

документы в выработках с анкерной крепью, проводимых и поддерживаемых от 2,5 до 4-х и более лет при бесцеликовой, парной подготовке и отработке выемочных столбов, разработаны 24 дополнения и изменения к нормативным документам. Приняты и утверждены ФС по ЭТАН — 8 дополнений и изменений, за период 2006-2007 г. разработаны, проверены дополнительно шахтными исследованиями и представлены на рассмотрение Региональной комиссии по динамическим явлениям по Печорскому бассейну — 16. С учетом результатов промышленных испытаний и анализа инструментальных исследований, выполненных в 28 выработках с общей протяженностью 51,6 км, установлены геомеханические параметры сдвижений массива, разработана методика расчета параметров анкерной крепи на удароопасных и подработанных пластах Печорского бассейна.

Исследования проводились при осуществлении контроля за соблюдением технологии, расчетных параметров сталеполимерного анкерного крепления во время проведения, эксплуатации, а также за устойчивостью выработок при обеспечении геодинамически безопасных условий.

Анализ нормативных критериев по расчету параметров и области применения анкерной крепи [2] показал, что они не учитывают геомеханические факторы, характеризующие особенности механизма перераспределения напряжений при проведении и поддержании выработок на удароопасных пластах и подработанных участках, а также параметры формирования деформационных зон в прилегающем массиве. Поэтому для уточнения нормативных критериев и разработки изменений и дополнений в нормативные документы по определению параметров анкерной крепи в

основу инструментальных и аналитических исследований были положены следующие положения:

Первое положение — перераспределение напряжений около выработки, принимается в соответствии с разработанным ВНИМИ механизмом сдвижения массива на пластах опасных по горным ударам. Основные положения расчетной схемы для условий крепления выработок, пройденных по удароопасным пластам должны учитывать, что удароопасные пласты характеризуются прочными вмещающими породами почвы-кровли, строением, прочностью угольного пласта и способностью их упруго деформироваться, накапливать упругую энергию, реализующуюся при разгрузке пласта, массива прилегающих пород. При разгрузке увеличение объема пласта и пород способствует их выталкиванию и разрушению на мелкие блоки прилегающих в ближней зоне пород и слоев. Реализация накопленной энергии при разгрузке массива, пласта от зоны дезинтеграции сопровождается подвижкой слоев [3].

Второе положение — использование для определения параметров формирования зон деформаций пласта, массива, прилегающих к выработке, основных закономерностей зональной дезинтеграции.

Третье положение — в основу определения параметров расслоения кровли положена общепринятая теория свода М.М. Протодьяконова, причем за условный контур свода принимается — граница зоны дезинтеграции боковых пород.

Четвертое положение — формирование зон деформаций: I — зоны разрушения, II — зоны пластически — упругих деформаций; III — упруго-пластических деформаций сопровождается изменением коэффициента структурного ослабления K_c , коэффициента концентрации напряжений K_k , увеличением фактического пролета

выработки, что вызывает необходимость усиления крепи. Формирования зон деформаций на удароопасных пластах может происходить в динамическом режиме в виде толчков или выражаться в пластических подвижках при значительной дилатансии прилегающего к выработке углепородного массива.

Пятое положение — характер изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород и удароопасного угольного пласта при проведении выработки, при его нагружении или перераспределении напряжений в зоне опорного давления находится в соответствии с закономерностями, установленными ВНИМИ (Петухов И.М.).

Вокруг выработки происходит перераспределение напряжений при формировании зон по закону толчкообразного деформирования краевой части, которое на опасных пластах по горным ударам проявляется более интенсивно. Оно происходит путем выдавливания массива, пласта в сторону выработки по плоскостям. Эти сдвиги происходят неравномерно и вызываются чаще сдвигами боковых пород при многократном приложении динамических нагрузок и при проявлении разрывов кровли и почвы. Сдвиги боковых пород носят волновой характер, вызывают колебания в массиве, при этом возникают вертикальные смещения и подвижки слоев пород в направлении действия горизонтальных касательных напряжений, которые сопровождаются созданием мелкоблочной среды, постепенной потерей несущей способности пород и контакта их на границах разрушения у контура свода над выработкой.

На основании анализа и экспериментально-аналитической обработки результатов ранее выполненных исследований рассмотрена возможность использования для прогнозной оценки устойчивости выработки и формирования зон деформаций, прилегаю-

щих к контуру выработки общепринятых критериев:

- нормативного критерия

$$H/R_c \leq 25 [1];$$

- критерия, характеризующий зонообразование около выработки

$$0,35 \leq \gamma H/R \leq 0,8;$$

- критерия устойчивости породных обнажений Г.А. Крупенникова.

Для определения параметров зон деформаций массива, прилегающего к выработке в основном использован обобщающий критерий определения условия устойчивости породных обнажений Г.А.Крупенникова:

$$K_{c.o} R_c \geq K_k \gamma H,$$

где $K_{c.o}$ и K_k — коэффициенты структурного ослабления и концентрации напряжений в окрестности выработки.

При оценке устойчивости выработок, закрепленных анкерной крепью, велись замеры смещений кровли, почвы, боков выработки на контуре и на различном удалении от контура, а также исследования изменения прочностных свойств массива R_c , коэффициента структурного ослабления $K_{c.o}$, прилегающего массива в течение времени поддержания выработок и сравнение с принятыми в нормативной расчетной схеме критериев и параметров анкерной крепи. Замеры производились впереди очистного забоя, в створе с забоем и в поддерживаемой выработке по мере отхода от монтажной камеры, а также после отработки следующего выемочного столба. Определялись параметры зон деформаций массива (в кровле, почве, боках выработок) в зависимости от изменений значений коэффициента структурного ослабления — K_c , коэффициента концентрации напряжений — K_k во времени и с глубиной. Проверялось соответствие критерия H/R_c (устойчивости выработки), принятым параметрам анкерной крепи на

рассматриваемый момент состояния выработки и необходимости выполнения усиления крепи.

В соответствии с закономерностью дезинтеграции [4] в прилегающем к выработке породугольном массиве выделены зоны, на основании выполненных замеров и использования соотношений критериев ($0,35 < \gamma H/R < 0,8$; $K_c R_c \geq K_k \gamma H$): I — зоны разрушения, II — зоны пластически-упругих деформаций; III — упруго-пластических деформаций (определяется величиной напряжений при трехосном напряженном состоянии и подвижкой массива в выработку без кускового разрушения, блоками).

При определении параметров зон деформаций исследовались изменения прочностных свойств и структурных характеристик массива в течение различных периодов поддержания выработок. Установлено, что формирование зон деформаций приводит к увеличению пролета во время поддержания выработки, соответственно, высоты расслоения пород кровли, что обуславливает в определенных условиях установку крепи усиления или уже при проведении выработки обязательное применение двухуровневого анкерования с использованием сталеполимерных и канатных анкеров. Помимо перечисленных факторов на формирование зон деформаций, и, соответственно, на обоснование выбора параметров крепи оказывают значительное влияние такие технологические процессы, как подрывка почвы и особенно боков выработки. Выполненными исследованиями получены количественные зависимости величины смещения боков выработки от величины подрывки почвы. Так величина дополнительных смещений кровли при величине подрывки почвы h определяется из выражения Δh

$= 0,13h$, при этом величина разрушения боков выработки при величине подрывки почвы h составит со стороны массива $B_M = h\sqrt{2}$, со стороны целика $B_{Ц} = h\sqrt{3}$.

Как было приведено выше, формирование зон деформаций способствует увеличению пролета, высоты расслоения, поэтому были рассмотрены условия предусматривающие необходимость применения на удароопасных пластах двухуровневого анкерования. На основании обработки замеров, выполненных в 61 выработке за время их проведения, поддержания и эксплуатации от 12 до 36 месяцев, были получены количественные выражения, позволяющие рассчитывать параметры анкерной крепи с учетом срока их поддержания — (1); (2): выражение (1) для расчета высоты расслоения кровли и выбора параметров анкерной крепи для выработки с заданным сроком поддержания t при ширине выработки l , прочности пород σ_p

$$h_k = h_0 e^{0,014t} \quad (1)$$

где $h_0 = l^2 / \sigma_p$, м.; выражение (2) для расчета смещения кровли через период времени t , мес. при $h_{k0} = 50$ мм,

$$h_{kt} = h_{k0} e^{0,02t}, \text{ мм} \quad (2).$$

В результате исследований получены количественные показатели, необходимые для расчета параметров анкерной крепи в условиях поддержания выработок на удароопасных и подработанных пластах, а также для корректировки нормативных критериев, определяющих устойчивость выработок с учетом временных нагрузочных параметров:

$$h_p = f_1 (B, R_c, H) f_2 (t) f_3 (K_k \gamma H, K_c).$$

На основании статистической обработки материалов ранее выполнен-

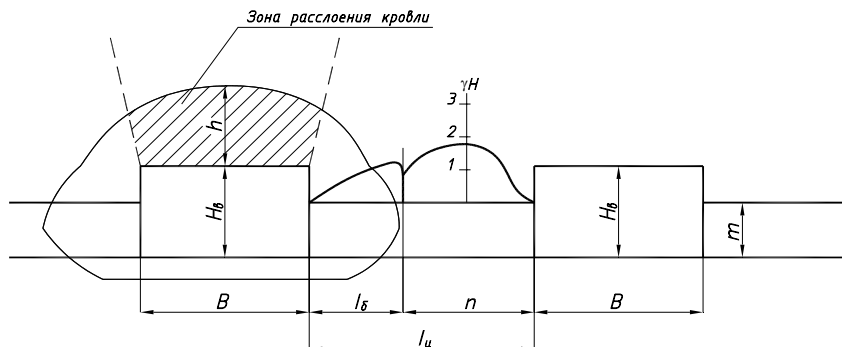


Рис. 1. Распределение напряжений в межштрековом целике вне зоны опорного давления с учетом зоны дезинтеграции, защитной зоны и формирования зоны расслоения пород кровли: h — высота зоны расслоения пород кровли, м; l_δ — расстояние до зоны дезинтеграции от контура выработки, м; n — величина защитной зоны в краевой части удароопасного пласта, м; l_u — величина податливого целика, м

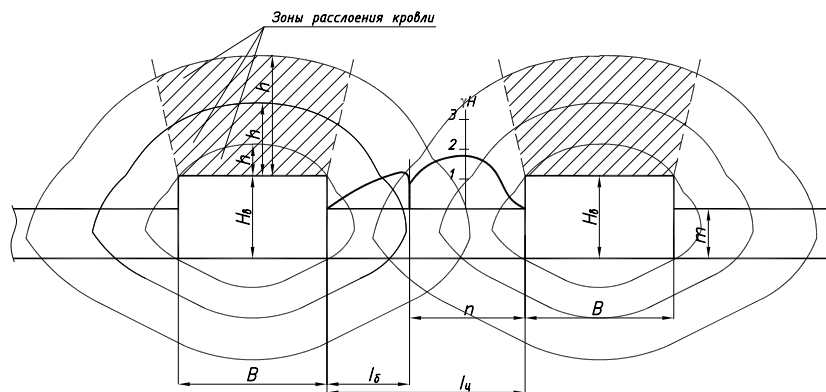


Рис. 2. Распределение напряжений в межштрековом целике в зоне опорного давления с учетом зоны дезинтеграции, защитной зоны и формирования зоны расслоения пород кровли: h — высота зоны расслоения пород кровли, м; l_δ — расстояние до зоны дезинтеграции от контура выработки, м; n — величина защитной зоны в краевой части удароопасного пласта, м; l_u — величина податливого целика, м.

ных исследований и материалов наблюдений в указанных выше выработках, разработаны положения по расчету параметров анкерной крепи с учетом формирования зон деформаций во время их поддержания.

Выполненными инструментальными исследованиями по оценке изменения прочностных и структурных характеристик прилегающего массива в течение всех периодов поддержания выработок

и расположения их относительно очистных забоев получены количественные зависимости их изменения по сравнению с принятыми значениями в нормативной расчетной схеме критериев и параметров анкерной крепи. Разработаны положения по расчету параметров анкерной крепи в выработках защитных и подработанных пластов с учетом формирования зон деформаций за время их поддержания. На рис. 1 и 2 при-

ведено распределение напряжений в целике и краевых частях массива, прилегающих к парным выработкам вне зоны опорного давления и при поддержании выработок в зоне опорного давления с учетом формирования зоны дезинтеграции, сопровождающегося изменением высоты расслоения и других геомеханических параметров.

При разработке дополнений и изменений в нормативные документы для повышения эффективности использования анкерной крепи в качестве средства управления перераспределением напряжений в массиве на удароопасных пластах и для повышения устойчивости выработок и выбора направлений совершенствования схем расчета учитывались полученные значения геомеханических параметров проявлений горного давления:

- смещения кровли на контуре выработки достигают 100—300 мм, безопасные значения смещений кровли 50—70 мм; смещения кровли в массиве 0,5—0,7В, м при В=5-6 м, и составляют 2,5—3,5 м;

- смещения почвы на контуре выработки —0,6—1,6 м; в массиве 2—3 м;

- подвижка боков угля 0,7м, подвижка угля в массиве 2,1м, подвижка пород на контуре 0,5 м в массиве 1,5—2,3 м.

Используемые методические положения инструментальных и аналитических исследований устойчивости выработок, закрепленных анкерной крепью на пластах опасных по горным ударам при парной подготовке позволили разработать критерии и дополнения обеспечивающие эффективное и безопасное применение анкерной крепи на удароопасных и подработанных пластах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления повышения устойчивости выработок на удароопасных пластах при использовании анкерной и рамно-анкерной крепи на шахтах ОАО «Воркутауголь» (Бучатский В.М., Таболов А.А., канд. техн. наук, Вельбовец С.Н., Соколов В.Н., инж. (ОАО «Воркутауголь»), Гусельников Л.М., Подосенов А.А., инж. (ПечорНИИпроект) — Горный информационно-аналитический бюллетень, №9, 2006.

2. *Инструкция* по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России-СПБ., 2007.70 с. (М-во топлива и энергети-

ки РФ. Гос. науч.-исслед.институт горн. геомех. И маркшейд. дела — Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

3. *Петухов И.М.* Горные удары на угольных шахтах. Недра, 1972, 229 с.

4. *Шемякин Е.И., Фисенко Г.Л., Курленя М.В., Опарин В.Н., Рева В.Н., Глушихин Ф.П., Розенбаум М.А., Троп Э.А., Кузнецов Ю.С.* Зональная дезинтеграция горных пород вокруг подземных выработок. Часть II: Разрушение горных пород на моделях и эквивалентных материалов// ФТПРПИ-1986. № 4. С.3-13. **ТАБ**

Коротко об авторе

Подосенов А.А. — инженер, гл. специалист сектора геомеханики научно-технического отдела СП институт «ПечорНИИпроект», (82151) 7-34-54.

