

УДК 622.28.002:622.016

В.Г. Харитонов, А.В. Ремезов

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК КАНАТНЫМИ АНКЕРАМИ

После первоначальных стендовых испытаний (1), в соответствии с разработанной методикой, шахтные испытания канатных анкеров проводились в подготовительных выработках пласта Полысаевский-1 шахты "Заречная" для оценки работоспособности и эксплуатационной надежности канатных анкеров в целом и отдельных их элементов и узлов, а также проверки соответствия конструктивных параметров канатных анкеров горно-геологическим условиям, технологическим требованиям и расчетным параметрам.

При проведении эксплуатационных испытаний канатных анкеров, проводилось изучение напряженно-деформированного состояния приконтурного массива на опытных участках до

начала испытаний, а также в различные периоды поддержания выработок, закрепленных канатными анкерами.

Для проведения исследований на опытных участках в вентиляционном штреке № 905бис была оборудована замерная станция № 3 (3С3) (рис. 1). На вентиляционном штреке № 905 оборудовано три замерные станции: 3С1, 3С2 и 3С4. Замерная станция 3С4 располагалась на экспериментальном участке, усиленном канатными анкерами. Замерные станции 3С1 и 3С2 были расположены на участках, закрепленных стандартной анкерной сталеполимерной крепью.

Замерные станции № 1, № 2 и № 4 включали глубинные реперы 3 в кровле пласта, глубинные реперы 7 в краевой зоне

пласта, установленные в скважинах диаметром 43 мм. Глубина скважин в кровле пласта составляла 4,5 м, в боках выработки – 4 м. В скважинах кровли пласта устанавливались 6-7 реперов. В боках выработки – 4 репера. Для оценки напряженного состояния в бортах выработки на замерной станции № 2 устанавливались фотоупругие датчики 10, а для замера конвергенции почвы с кровлей, в почве выработки устанавливается почвенный репер 9.

Исследование кровли и краевой зоны угольного пласта проводили с использованием жесткого эндоскопа РП-451 с боковым окуляром по скважинам диаметром 43 мм на замерной станции № 1 и № 3.

В кровле пласта по данным эндоскопических исследований

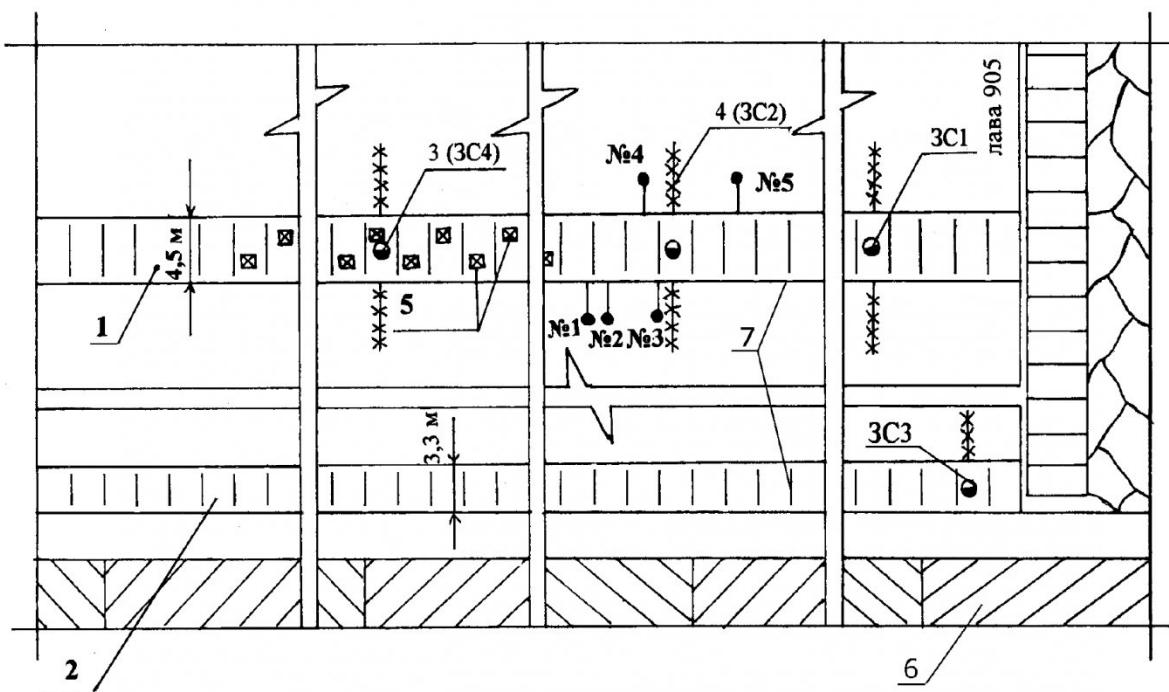


Рис. 1. Размещения замерных станций в вентиляционном штреке № 905 пласта Полысаевский-1 шахты "Заречная": 1 – вентиляционный штрек № 905; 2 – вентиляционный штрек № 905бис; 3 – вертикальная скважина Ø 43 мм; 4 – глубинные реперы в борту выработки; 5 – канатные анкеры; 6 – выработанное пространство; 7 – подхваты: № 1, № 2, № 3, № 4, № 5 – фотоупругие датчики ФТО-2 в борту выработки; 3С1, 3С2, 3С3, 3С4 – замерные станции

наблюдалось распределение количества поверхностей ослаблений по глубине (160 м до лавы), представленное в табл.1.

В кровле пласта на ЗСЗ в вентиляционном штреке 905бис в 58 м от лавы количество поверхностей ослабления, нарушений значительно больше (в 2,55 раза), чем в вентиляционном штреке 905 (табл. 2). На том же расстоянии до лавы обнаружено, что кровля вентиляционного штрека № 905 на интервале 2,25-3,7 м и выше представляет собой структуру, которая при сшивке анкерами в пачку мощностью 1,8-2 м обладает достаточной несущей способностью для подвески к ней неустойчивой части кровли на интервале 0-2,25 м. В вентиляционном штреке № 905бис граница контура неустойчивой части кровли размещена на глубине 3,6 м.

Комплексные исследования деформаций краевой зоны угольного пласта, эндоскопические исследования и измерения напряжений в зоне опорного давления с применением оптических датчиков позволили выявить параметры опорного давления лавы № 905, а также размеры зон пластических деформаций неустойчивой части краевой зоны угольного пласта, представляющих опасность вывалов и "сползаний" бортов выработок.

По данным наблюдений за относительными смещениями глубинных реперов в бортах выработки, а также за нагрузками по оптическим датчикам установлено, что влияние зоны опорного давления лавы № 905 на деформацию краевых зон пласта в вентиляционном штреке № 905 пласта Польсаевский-1 распространяется на 80-140 м впереди лавы.

По данным эндоскопических исследований стенок скважин, результатам измерения напряжений установлено, что граница пластической зоны пласта в лавном борту штрека № 905 в зоне влияния опорного

Таблица 1
Распределение поверхностей ослабления по глубине
в скважине на замерной станции № 1

Интервал наблюдений, м	Количество поверхностей ослабления, шт.	Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м
0 – 0,35	10	0,035
0,35 – 1,85	10	0,15
1,85 – 3,3	3	0,48
3,3 – 4,5	4	0,8
Всего	27	0,24

давления лавы № 905 располагается на глубине $X_m = 4-4,5$ м. Граница неустойчивой части лавного борта выработки располагается на глубине $X_0 = 1,8$ м. Отношение $X_0 / X_m = 0,4-0,45$. Для борта вентиляционного штрека № 905 со стороны целика $X_0 = 2,0-2,2$ м, $X_m = 4,5-5$ м. Интенсивность деформаций краевой зоны борта вентиляционного штрека № 905 со стороны целика выше, чем у лавного борта. Конвергенция бортов вентиляционного штрека № 905 в зоне влияния опорного давления лавы составляет 6-10 %.

В вентиляционном штреке № 905бис, охраняемым узким (4,5 м) целиком углем, граница пластической области в зоне влияния опорного давления лавы в лавном борту расположена на глубине $X_m > 7$ м. Граница неустойчивой части лавного борта на сопряжении с лавой размещена на глубине $X_0 = 2,5-2,8$ м от края пласта. Из соот-

ношения $X_0 / X_m = 0,42$, следует, что $X_m \approx 7$ м. Конвергенция бортов вентиляционного штрека № 905бис составляет 22-28 %. Состояние бортов выработки представляет опасность для обслуживающего персонала.

Связывая начало проявления интенсивных деформаций пласта в бортах вентиляционного штрека № 905 с проявлением максимума зоны опорного давления можно полагать, что он располагается в 16-20 м впереди забоя лавы. По глубине (X_m) распространения пластической области, определенной эндоскопическими наблюдениями и воспринимаемыми оптическими датчиками, напряжениям (σ_l^k) оценка ее максимальной нормальной компоненты $\sigma_{l\max}^k$ на границе с упругой областью была определена из предположения линейной аппроксимации распределения нормальной компоненты напряжений в пластической области

Таблица 2
Распределение поверхностей ослабления по глубине
в скважине на замерной станции № 3

Интервал наблюдений, м	Количество поверхностей ослабления, шт.	Среднее расстояние между поверхностями ослабления, м
0 – 0,35	12	0,029
0,35 – 1,85	22	0,068
1,85 – 3,3	18	0,08
3,3 – 4,5	17	0,188
Всего	69	0,09

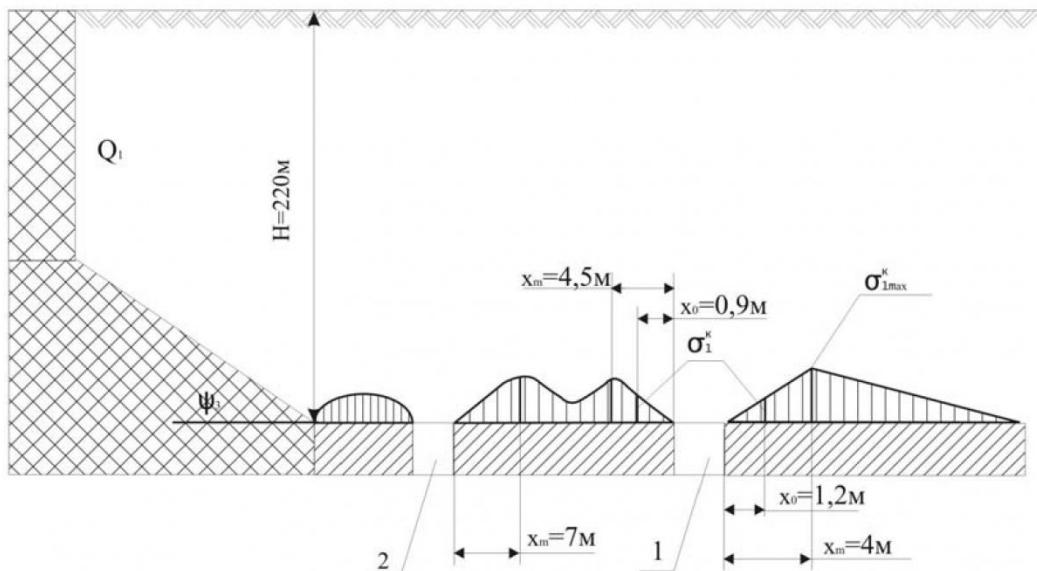


Рис. 2. Распределение напряжений в боках вентиляционных штреков № 905 и 905бис в зоне (16-20 м от забоя лавы) максимума опорного давления лавы № 905: 1 – вентиляционный штreyк № 905; 2 – вентиляционный штreyк № 905бис; X_0 – глубина расположения fotoупругого датчика; X_m – глубина распространения пластических деформаций в борту выработки (координата максимума опорного давления)

$$\frac{\sigma_{1\max}^k}{x_m} = \frac{\sigma_1^k}{x_0^*},$$

где x_0^* – глубина размещения оптического датчика в борту выработки.

Максимальный коэффициент концентрации в боках вентиляционного штреека № 905 по компоненте σ_1^k равен $K\sigma_1^k = 2.4$ в лавном борту и $K\sigma_1^k = 2.5$ в борту целика. Высокие значения (К) обусловлены высокой скоростью подвигания лавы. Распределение напряжений в бортах вентиляционных штрееков лавы № 905 приведены на рис. 2.

Исследование деформаций кровли проводили с использованием глубинных реперов на трех участках: двух экспериментальных (ЗС1, ЗС2) и одном опытном (ЗС4), усиленном канатными анкерами.

Максимальные расслоения кровли на замерной станции ЗС2, при удалении от лавы на 135 м, наблюдались на интервале 1,5-2 м.

На ЗС1 максимальные расслоения наблюдались на интервалах 2-2,5 м и 3-3,5 м в 112 м от забоя лавы. При эндоскопическом исследовании скважины

на этих интервалах, в монолитной структуре наблюдались единичные трещины. По мере приближения лавы, величина деформации кровли на интервале 2-2,5 м увеличивалась, меняла знак и оставалась максимальной.

Таким образом, судя по деформациям кровли на ЗС1 и ЗС2, интервал 2-2,5 м можно считать за контур неустойчивой части пород кровли.

Вычислим суммарные относительные деформации кровли на замерных станциях ЗС1, ЗС2, ЗС4:

$$n_1 = \left\{ \sum_{i=1}^{6} \left[\frac{\Delta R_i 100}{h_{i+1} - h_i} \right] \right\} -$$

на станции ЗС1;

$$n_2 = \left\{ \sum_{i=1}^{6} \left[\frac{\Delta R_i 100}{h_{i+1} - h_i} \right] \right\} -$$

на станции ЗС2;

$$n_4 = \left\{ \sum_{i=1}^{6} \left[\frac{\Delta R_i 100}{h_{i+1} - h_i} \right] \right\} -$$

на станции ЗС4;

$h_{i+1} - h_i$ – интервал между соседними глубинными реперами в вертикальной скважине;

$\Delta R_i = R_{i+1} - R_i$ – деформация интервала между соседними

глубинными реперами.

В качестве критерия для сравнительной геомеханической оценки, можно принять показатели n_1^0 и n_2^0 , которые определяются как отношения суммарных относительных деформаций сравниваемых участков:

$$n_1^0 = \frac{n_2}{n_4}, \quad n_2^0 = \frac{n_1}{n_4}.$$

Сравнение суммарных относительных деформаций (рис. 3) на замерных станциях ЗС1, ЗС2, ЗС4 и по критериям n_1^0 и n_2^0 показывает, что геомеханическое состояние опытного (ЗС4) участка штреека, усиленного канатными анкерами, существенно предпочтительней других. На опытном участке штреека, закрепленном канатными анкерами (замерная станция ЗС4) показатель n_4 в несколько раз меньше, чем на ЗС1, ЗС2.

Впереди лавы на интервале 15-18 м в вентиляционном штрееке № 905 под каждый подхват стандартной крепи устанавливались по две гидравлические стойки. На опытном участке, после того как забойной крепью были подхвачены первые канатные анкеры, гидравлические стойки были убраны.

При подходе лавы к замер-

ным станциям нагрузка на канатные анкеры возрастила до 11 тс. Однако, вывалов, обрушений и резких видимых деформаций

не менее 4500 мм в штреке 905бис и 3600 мм в штреке 905.

Полученные результаты стендовых и шахтных исследований позволили провести геомеханическую оценку работоспособности канатных анкеров для крепления подготовительных выработок в сложных условиях, какими являются сопряжения выработок с лавой.

Полученные данные о геомеханическом состоянии приконтурного массива выработок явились некоторым дополнением к массиву ранее накопленной автором и другими исследователями исходной информации для расчета параметров канатных анкеров при доупрочнении кровли выработок, расположенных в зоне влияния очистных работ.

По данным исследования опыта технологии применения и расчету параметров канатных анкеров в развитых угледобывающих странах можно говорить о том, что канатные анкеры в начале эксплуатации выполняют две функции «сшивки» и «подвески» неустойчивой части массива к устойчивой.

На конечной стадии поддержания выработок канатные анкеры выполняют преимущественно функцию «подвески». Горизонт подвески определяется высотой развившегося к моменту погашения выработки контура неустойчивой части массива, дезинтегрированного силами горного давления настолько, что при отсутствии дополнительного поддержания порода из него может вывалиться. Поэтому расчет параметров канатных анкеров (длина, плотность анкерования) целесообразно вести на основе прогноза

высоты контура неустойчивой части массива.

Основу исходной информации составляли наблюдения за высотой вывалов пород из кровли выработок, структурой кровли, шириной выработки и смещениями. Смещения кровли выработок являются некоторым интегральным показателем проявления горного давления в типовых условиях (ширина выработки – 3-6 м, глубина работ – 300 м, структура кровли – однородная непосредственная кровля мощностью более ширины выработки).

Высота контура неустойчивой части массива для одиночных выработок в типовых условиях в зависимости от ширины выработки и смещений кровли по данным ИУУ СО РАН аппроксимируется выражением вида

$$h = (ab^2 + bB + cU)\Pi,$$

где a , b , c – эмпирические коэффициенты полученные в результате натурных исследований:

$a = -0.0174$; $b = 0.4648$; $c = 4.72$; B , U – ширина выработки и смещения кровли соответственно; Π – поврежденность пород кровли:

$$\Pi = \left(\beta \frac{k \cdot k_1 n \cdot r_{\text{экв}}}{B \cdot R_{\text{срв.кр}}} + \Delta \Pi \right) k_2$$

β – эмпирические коэффициенты; k – максимальный коэффициент концентрации в боку выработки; k_1 – коэффициент учитывающий влияние на концентрацию напряжений формы выработки; n – число слоев пород кровли на интервале глубины, равной B ; $r_{\text{экв}}$ – эквивалентный радиус выработки; k_2 – коэффициент учитывающий влияние остаточного опорного давления через ширину целика.

Однако, коэффициенты (a , b , c) и параметр поврежденности (Π) для пласта Полысаевского-1 в условиях шахты «Заречная» были не определены.

Сравнение фактических высот вывалов, произошедших в

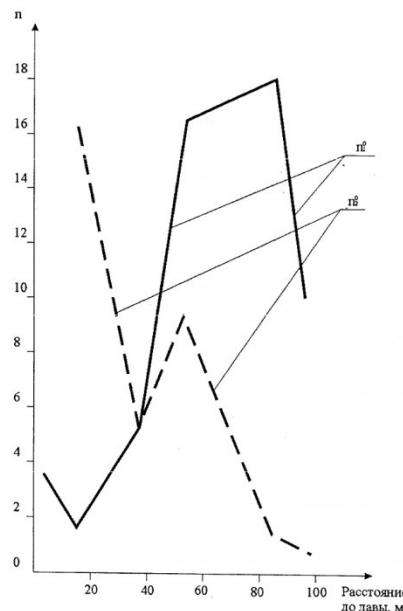


Рис. 3. Отношения n_1^0 и n_2^0 относительных деформаций кровли на замерных станциях вентиляционного штрека № 905 пласта Полысаевский-1 в зависимости от расстояния до лавы 905: $n_1^0 = n_2/n_4$ и $n_2^0 = n_1/n_4$ – отношения относительных деформаций кровли на замерных станциях 3C2 и 3C4; и 3C1 и 3C4, соответственно

со стороны кровли не наблюдалось. Кровля сохранила устойчивое состояние. За секциями лавной крепи наблюдалось зависание непосредственной кровли, подхваченной канатными анкерами.

Таким образом, канатные анкеры выполнили, взамен гидростоек, функцию упрочнения кровли.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что для обеспечения безопасности работ на сопряжении очистного забоя с вентиляционным штреком № 905бис целесообразно исключить все операции по креплению бортов выработок и поддержанию кровли в зоне опорного давления лавы путем надежного упрочнения боков и кровли выработки до подхода зоны опорного давления лавы. При этом длина канатных анкеров в кровле должна составлять

Таблица 3

Значения аргументов для расчета параметра поврежденности приконтурного массива выработок (Π)

Наименование выработки	β	m	k	k_1	$r_{\text{ЭКВ}}$	n	B	$R_{cp \cdot 636}$	$\Delta \Pi$	$k_2 = f(l_2)$	Π
Вент. штрек 905	3,2446	2,68	2,6	3	2,3	4	4,9	21,63	-0,34	1,5	0,968
Вент. штрек 905бис	3,2446	2,68	2,7	2,77	1,88	4	3,2	21,63	-0,34	3,96	1,77

Таблица 4

Расчетные параметры канатных анкеров

Наименование выработки	Длина анкеров м	Шаг установки, м	Количество анкеров в ряду, шт.	Плотность установки, анк./м ²	Расчетная несущая способность анкера, тс
Вентиляционный штрек № 905	3,4	0,8	1	0,278	20
Вентиляционный штрек № 905бис	4,5	0,8	2	0,7142	20

выработках, закрепленных анкерами на пластах Байкаимский, Полясаевский-2, Полясаевский-1, Надбайкаимский, Емельяновский, Толмачевский, шахт «Заречная», «Комсомолец», «Октябрьская», им. Кирова, им. Ярославского с расчетными значениями позволили получить оценку для Π и адаптировать полученную зависимость к условиям пласта Полясаевский-1.

Значения эмпирических коэффициентов и аргументов для расчета параметра поврежденности приведены в табл. 3, а расчетные параметры канатных анкеров, устанавливаемых для усиления стандартной сталеполимерной анкерной крепи на сопряжении вентиляционных штреков № 905 и № 905бис с лавой № 905 – в табл. 4.

В соответствии с разработанными паспортами в вентиляционном штреке № 905 были закреплены канатными анкерами экспериментальные участки и проведены шахтные исследования по оценке работоспособности канатных анкеров, отработке параметров технологии крепления сопряжения очистного забоя с примыкающими выработками канатными анкерами.

В период проходки кровля

вентиляционного штрека № 905 была закреплена стандартными сталеполимерными анкерами (по 4 анкера в ряду). Подхваты под решетчатую затяжку устанавливались через 0,8 м.

В соответствии с разработанным паспортом, канатные анкеры длиной 3,4 м устанавливались в промежутке между рамами. В качестве опорного элемента применяли спецпрофиль СВП-22 длиной 450 мм. 80 % анкеров закрепляли ампулами с полиэфирной смолой (АПЦ 470, по три ампулы на шпур). Ампулы диаметром 24 мм имели длину 470 мм. 20 % анкеров было закреплено ампулами с минеральной композицией.

Выполненные ранее стендовые (1) и настоящие шахтные испытания канатных анкеров были также использованы при разработке и внедрении технологического регламента установки канатных анкеров для подвески монорельсовой дороги в путевом бремсберге шахты "Заречная". Выбор параметров анкеров осуществляли с использованием разработанной методики прогноза высоты контура неустойчивой части массива. Изучение строения и структуры кровли проводилось с примене-

нием эндоскопа РВП-451. Глубину заглубления анкера за нижнюю границу несущего свода принимали из расчета подвески к паре анкеров перевозимого груза с учетом веса пород неустойчивой части массива, а также из условия, что часть веса пород воспринимает установленная ранее крепь (верхняк из СВП-22 на стойках).

Для подвески монорельсовой дороги в путевом бремсберге, спаренные канатные анкера длиной 4,3 м устанавливали по перекрестной схеме. Для обеспечения выполнения функции подвески и сшивки при закреплении использовали 3 ампулы АП 470.

Разработанные технологические приемы обеспечивают возможность закрепления канатных анкеров в сложных условиях. Так для подвески монорельсовой дороги на нижней приемной площадке канатные анкеры (длиной 6 м) были закреплены ампульным способом через разрушенную зону пород мощностью 2,5-3,0 м с применением полиэтиленовых труб для временной обсадки стенок скважин Ø43 мм.

□ Авторы статьи:

Харитонов

Виталий Геннадьевич
- директор ОАО "Шахта Заречная"

Ремезов

Анатолий Владимирович
- докт.техн.наук, проф. каф. РМПИ