УДК 622.232.75

С.Г.СТРАДАНЧЕНКО, *д-р техн. наук, director@siurgtu.ru*
Н.В.ТИТОВ, *д-р техн. наук, профессор, rpm@itsinpi.ru*
А.А.ПРИВАЛОВ, *д-р техн. наук, профессор, (8636) 22 20 36*
Ю.В.ТУРУК, *канд. техн. наук, старший преподаватель, rpm@itsinpi.ru*
Шахтинский институт (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)»

S.G.STRADANCHENKO, *Dr. in eng. sc., director@siurgtu.ru*
N.V.TITOV, *Dr. in eng. sc., professor, rpm@itsinpi.ru*
A.A.PRIVALOV, *Dr. in eng. sc., professor, (8636) 22 20 36*
Yu.V.TURUK, *PhD in eng. sc., senior lecturer, rpm@itsinpi.ru*
The Novocherkassk Polytechnical Institute

РАСЧЕТ КРЕПИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, РАЗДЕЛЕННЫХ ПОДАТЛИВЫМИ ЦЕЛИКАМИ НА АНТРАЦИТОВЫХ ПЛАСТАХ

Представлена методика расчета крепи параллельных выработок, разделенных податливыми целиками на антрацитовых пластах. Рассмотрена в качестве примера разработка экспериментальных паспортов охраны и поддержания парных конвейерных штреков с применением сталеполимерных анкерных крепей.

***Ключевые слова*:** жесткие и податливые целики, разгрузочные скважины, опережающие выработки, смещение пород, вид крепи, задаваемая податливость целика.

CALCULATION OF SUPPORTS OF PARALLEL WORKINGS DIVIDED WITH YIELDABLE PILLARS AT ANTHRACITE SEAMS

The article presents the methods for calculation of supports of parallel workings divided with yieldable pillars at anthracite seams. Consideration is given to the development of experimental data card for protection and maintenance of paired conveyor entries with using the steelpolymer anchor supports.

***Key words*:** rigid and yielding pillars; relief holes, advance workings, rock movements, type of support, preset yielding of pillar.

При проведении и поддержании параллельных выработок с формированием между ними податливых целиков характер деформирования пород вокруг них имеет свои особенности и различия по отношению к таким же выработкам, разделенным жесткими или разрушаемыми целиками. Эти особенности и различия характеризуются, прежде всего, «уходом» целиков из-под нагрузки за счет придания им предварительной податливости. Податливость целика на антрацитовом пласте должна формироваться при проведении опережающей выработки путем бурения разгрузочных скважин. В этом случае проведение отстающей выработки будет мало влиять на рост смещений пород как вокруг опережающей выработки, так и самой отстающей [1].

Основными факторами, влияющими на смещения пород в выработках, являются: принятый вид крепи, форма сечения выработок, строение, состав и свойства пород кровли и почвы, воздействие очистных работ. Обязательное условие – недопущение расслоений кровли при подвигании проходческих забоев. Это обеспечивается качественным возведением крепи вслед за проходкой. Наиболее эффективным видом крепи в данном случае является сталеполимерная анкерная крепь, сразу вступающая в работу и скрепляющая слоистую кровлю выработки на всю глубину анкерования.

Смещения пород в опережающей и отстающей выработках при их проведении будут мало отличаться друг от друга, но незначительный рост смещений в опережающей выработке от влияния проходки отстающей и в самой отстающей все же следует учитывать в пределах 15-20 %.

Предельно допустимые смещения пород для анкерных крепей, а значит и предварительно задаваемая податливость целика между спаренными выработками должна быть не более $U_ц \le 300$ мм. В этом случае смещение пород в обеих выработках от взаимного влияния при проходке не скажется существенно на их состоянии, поскольку целик подастся на незначительную величину, и напряжения в нем снизятся до $K_3\gamma H < \gamma H$. При этом коэффициент концентрации напряжений K_3 будет находиться в пределах 0,9-0,95. Напряжения в боках обеих выработок со стороны массива составят $K_1\gamma H > \gamma H$. Коэффициент K_1 не превысит величины 1,8-2,2. Величину $U_ц$ задают в зависимости от прочности пород кровли: чем они прочнее, тем меньше $U_ц$. При отработке пласта и попадании участков спаренных выработок в зону опорного давления величина податливости целика $\Delta U_ц$ в этой зоне возрастет и может достигнуть значения $\Delta U_ц = (0{,}3\text{-}0{,}6)U_ц$ от общей величины податливости. При этом напряжения в целике будут мало отличаться от $K_3\gamma H$. Напряжения в боках обеих выработок со стороны массива увеличатся до значения $K_2\gamma H$, коэффициент K_2 будет зависеть от размера целика, глубины ведения работ и типа кровли по обрушаемости,

$$K_2 = 1 + (K_o - 1)(0{,}1H - l_ц)/0{,}1H ,$$

где $K_o = 2$ при I и III типах кровли и $K_o = 3$ при II типе кровли по классификации ВНИМИ.

Смещения в выработках возрастут со стороны кровли и боков за счет их деформирования.

Оформление целика податливым благоприятно скажется на уменьшении величины смещений со стороны почвы выработок при наличии пучащих пород.

За 1-й лавой конвейерная выработка погашается, а вентиляционная сохраняется. На участке интенсивных сдвижений пород за лавой заданная величина податливости целика $U_ц$ может полностью реализоваться. Кроме того, из-за деформирования краевых частей целика как со стороны конвейерной выработки (в большей степени), так и стороны вентиляционной (в меньшей степени), общий размер целика $l_ц$ снижается, и за счет этого смещения пород кровли в вентиляционной выработке могут несколько увеличиться, если принятая ширина целика не обеспечит его работу в режиме заданной деформации при обрушении пород в выработанном пространстве до исчерпания податливости $U_ц$. В этой связи важными и взаимоувязываемыми параметрами целика для поддержания спаренных выработок в эксплуатационном состоянии за весь срок их службы остаются принятые величины $B_ц$ и $U_ц$.

Концентрация напряжений, равная $K_4\gamma H > \gamma H$, будет проявляться в боку вентиляционной выработки со стороны массива, а со стороны выработанного пространства не превысит величины γH. В данном случае коэффициент K_4 будет на уровне или несколько меньше коэффициента K_2 за счет перераспределения нагрузок на участке массива $B_ц + B_2$ при обрушении пород в выработанном пространстве за 1-й лавой.

Таким образом, учитывая изложенное, расчет параметров крепи спаренных выработок с учетом рассчитанных величин целика $B_ц$ и $U_ц$ можно производить по методикам ВНИМИ [2, 3].

Порядок выбора размеров сечений и расчета параметров крепи для конкретных горных выработок следующий:

• выбирают размеры расчетного поперечного сечения выработки в свету, учитывая требования к условиям транспорта, вентиляции, водоотлива и общие компоновочные решения;

• определяют размеры поперечного сечения выработки в проходке с учетом толщины и податливости крепи, затяжки и забутовки, при этом ориентировочно увеличивают принятые размеры поперечного сечения выработки в свету на 0,6 м по ширине и 0,5 м по высоте;

• рассчитывают ожидаемые смещения пород дифференцированно для рамных крепей в кровле, боках и почве выработки с учетом влияния геологических и горнотехнических факторов, а для анкерных – только в кровле;

• при расчете смещений пород, вызванных применением податливого целика, по нормативным методикам уточнения и дополнения касаются определения следующих величин: Δ – конструктивной податливости крепи; $K_в$ – коэффициента учитывающего степень увеличения смещений за счет взаимного влияния выработок; $K_к$ – коэффициента, характеризующего долю смещений пород кровли в общих смещениях пород в выработках при креплении рамной крепью; U_1, $U_л$, $U_1^ц$, $\Delta U_1^ц$, $K_ц$, учитывающих дополнительные смещения от влияния опорного давления первой лавы, интенсивных сдвижений пород за первой лавой и опорного давления второй лавы при креплении выработок рамной или анкерной крепью;

• по величине максимальных смещений пород на контуре выработки определяют нормативную и расчетную нагрузку на крепь, выбирают тип и конструкцию основной крепи и крепи усиления и с учетом сопротивления крепей рассчитывают плотность их установки;

• если смещения пород почвы больше величины, допустимой по технологическим требованиям, то предусматривают мероприятия по уменьшению их смещений (разгрузка массива, упрочнение пород и т.д.);

• с учетом расчетных смещений пород и плотности установки крепи, а также дополнительных мероприятий по уменьшению смещений пород, определяют податливость крепи Δ и окончательно устанавливают необходимые размеры сечения выработки в проходке путем увеличения размеров в свету на значение Δ;

• по типовым проектам выработок с учетом требуемых размеров в свету и в проходке выбирают наиболее близкое сечение выработки.

Рассмотрим в качестве примера разработку экспериментальных паспортов охраны и поддержания парных конвейерных штреков с применением сталеполимерных анкерных крепей.

Выполним расчет параметров анкерной крепи для представленных горно-геологических условий по уточненной и дополненной нами нормативной методике в связи с введением элементов податливости в разделительный целик. Уточнения и дополнения вводятся в соответствующие расчетные коэффициенты и величины нормативных смещений.

Определяем расчетное сопротивление на сжатие пород кровли выработки

$$R_с = (R_{с1}m_1 + R_{с2}m_2 + \ldots R_{сn}m_n)K_с / B,$$

где $R_{с1}$, $R_{с2}$, $R_{сn}$ – сопротивления сжатию слоев пород кровли, МПа; m_1, m_2,… m_n – мощности слоев пород, м; $K_с$ – коэффициент, учитывающий нарушенность пород кровли трещиноватостью, для данных условий $K_с = 0{,}9$.

Тогда $R_с = 4 \cdot 40 \cdot 0{,}9 : 4 = 36$ МПа.

Определяем расчетные смещения пород кровли парных выработок при проведении и поддержании их в массиве до влияния первой лавы

$$U_м = U_т K_\alpha K_ш K_в K_а,$$

где $U_т$ – типовые смещения кровли, определяемые в зависимости от глубины H и расчетного сопротивления пород в кровле сжатию $K_с$ по нормативному графику при $B = 5$ м, $K_\alpha = 1$, $K_ш = 1$, $K_в = 1$, $K_а = 1$, для данных условий $U_т = 40$ мм; K_α – коэффициент, учитывающий расположение выработ-

ток, для данных условий $K_\alpha = 1$; $K_ш$ – коэффициент, учитывающий отличие расчетной ширины выработок от $B = 5$ м, определяется по формуле $K_ш = 0{,}25(B - 1) = 0{,}25(4 - 1) = 0{,}75$; $K_в$ – коэффициент, учитывающий влияние других смежных выработок на расстояниях $l \le 15$ м, формула по определению коэффициента $K_в$ скорректирована в связи с оформлением целика податливым, для данных условий $K_в = 0{,}7[1 + (1 - l/15)] = 1{,}2$; $K_а$ – коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород анкерами, для принятой анкерной крепи $K_а = 0{,}5$.

Таким образом,

$$U_м = 40 \cdot 1 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}5 = 18 \text{ мм}.$$

Выбор крепи парных выработок и расчет ее параметров производим по расчетным смещениям пород на контуре выработок при воздействии на них опорного давления от первой лавы. В этом случае расчетные смещения определяются по формуле

$$U_п = U_м + U_л K_ш K_в K_к K_а,$$

где $K_к$ – коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли, для данных условий $K_к = 1$; $U_л$ – расчетные смещения кровли в период влияния опорного давления на протяжении $0{,}1H$ от первой лавы, определяемые в зависимости от глубины H и сопротивления сжатию пород $R_с$ по нормативному графику с введенной нами поправкой на величину $\Delta U_ц = 0{,}3U_ц$ ($U_ц$ – общая заданная податливость целика), $U_л = 75 - 0{,}3 \times \times 100 = 45$ мм.

Тогда

$$U_п = 18 + 45 \cdot 0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 1 \cdot 0{,}5 = 38 \text{ мм}.$$

Согласно полученным расчетным смещениям, условия поддержания парных штреков по интенсивности проявлений горного давления благоприятные и относятся к небольшому горному давлению. В этом случае поддержание кровли обоих штреков в зоне опорного давления от первой лавы можно производить одной анкерной крепью, устанавливаемой при их проходке, с параметрами, определяемыми по нормативной таблице:

$$P_а = 45 \text{ кН/м}^2; \quad l_а = 1{,}8 \text{ м}.$$

Принимаем количество анкеров в ряду $n_к = 4$.

Требуемое расстояние между рядами анкеров определяем по полученному меньшему значению из расчетов по факторам горного давления и устойчивости непосредственной кровли:

$$C_к = \frac{n_к}{ПВ},$$

где $П$ – минимальная плотность установки анкеров в зависимости от степени устойчивости пород в кровле выработки, для пород средней устойчивости $П = 0{,}7$ анк/м^2, но с учетом их трещиноватости для данных условий принимаем $П = 1{,}0$ анк/м^2.

Тогда $C_к = 4/(1 \cdot 4) = 1$ м.

Согласно установленным требованиям, в действующих нормативах анкеры в кровле устанавливаются под подхваты с затяжкой металлической сварной решеткой. В качестве подхватов можно использовать металлические полосы, швеллеры, желобчатые профили и др.

Параметры анкерной крепи в боках выработки определяем по степени относительной напряженности пород:

$$\sigma_б = K_б K_в K_о \gamma H / R_{с.б},$$

где $K_б$ – коэффициент концентрации напряжений в боках от проходки выработки, $K_б = 1{,}5$; γ – средняя плотность пород, $\gamma = 0{,}025$ МН/м^3; $K_о$ – коэффициент увеличения напряжений в боках выработок при воздействии на них опорного давления от работающих лав,

$$K_о = 1 + (K_{max} - 1)(0{,}1H - l_ц)/0{,}1H,$$

$K_{max} = 2$ для представленных пород кровли; $R_{с.б}$ – расчетное сопротивление слоев, пласта угля и пород в боках выработок на сжатие, МПа.

При формировании целика с податливыми элементами бока спаренных выработок должны быть закреплены анкерами с разными параметрами. Со стороны целика напряжения будут меньше γH и в этой связи для обеспечения устойчивости боков достаточно поддержать их анкерами с парамет-

рами $P_а = 15$ кН/м^2; $l_а = 1{,}2$ м, чтобы не допустить отслоений угля при работе целика в податливом режиме. В боках выработок со стороны массива параметры крепи находим по степени относительной напряженности пород:

$$\sigma_б = 1{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}87 \cdot 0{,}025 \cdot 300/10 = 2{,}5.$$

По величине $\sigma_б = 2{,}5$ согласно нормативному графику параметры анкерной крепи в боках выработок со стороны массива будут равны:

$$P_{а.б} = 28 \text{ кН/м}^2; \; l_{а.б} = 1{,}8 \text{ м}.$$

Требуемое расстояние между рядами анкеров определяем в зависимости от степени разрушения боков по условию минимальной плотности их установки с учетом увеличения нагрузок на боковые породы при податливости целика $П = 0{,}8$ анк/м^2:

$$C_б = n_б / П = 3/0{,}8 \cdot 2{,}7 = 1{,}3 \text{ м}.$$

Со стороны целика расстояние между рядами анкеров в боках можно увеличить до 1,5 м.

Таким образом, в паспорт крепления парных штреков при их проведении и поддержании в зоне влияния первой лавы рекомендуются следующие параметры крепи:

• по кровле выработок – 4 сталеполимерных анкера в ряду с $l_а = 1{,}8$ м с химическим закреплением стержней по всей длине, расстояние между рядами анкеров $C_к = 1{,}0$ м, анкеры устанавливаются под подхваты с металлической решетчатой затяжкой, крайние анкеры имеют наклон в сторону от нормали к напластованию на угол 15-20°, расстояние их от боков не более 0,3 м;

• по бокам выработок со стороны целика – 3 сталеполимерных анкера в ряду с $l_{а.б.} = 1{,}2$ м, расстояние между рядами анкеров $C_к = 1{,}5$ м, анкеры в боках устанавливают под опорные плитки, которыми прижимают металлическую сетку (решетку), являющуюся затяжкой боков, с отклонением от напластования на угол 15-30° и на расстояние от кровли не более 0,5 м;

• по бокам выработок со стороны массива – 3 пластполимерных анкера в ряду с $l_{а.б} = 1{,}8$ м с химическим закреплением стержней по всей длине, расстояние между рядами анкеров $C_б = 1{,}3$ м, анкеры устанавливают под опорные плитки, которыми прижимают секции металлических сварных решеток, являющихся затяжкой боков, с отклонением от напластования на угол 15-30° и на расстояние от кровли не более 0,5 м. Это позволит при работе добычного комбайна легко срезать анкеры и не создавать аварийных ситуаций при подходе его к штреку, при этом короткие секции затяжек быстро демонтируются.

За первой лавой одна спаренная выработка погашается, а другая поддерживается для повторного использования при работе смежной лавы. На этот период для поддержания выработки в эксплуатационном состоянии потребуется дополнительно усилить ее крепь.

Определим тип и параметры крепи усиления с учетом работы целика в податливом режиме. В качестве крепи усиления принимаем податливые гидравлические стойки ГВЗО с рабочей несущей способностью $N_s = 300$ кН или деревянные с $N_s = 150$ кН.

Приведенные расчеты не предусматривают установку крепи усиления перед первой лавой и на сопряжениях штреков с первой лавой. Крепь усиления необходимо устанавливать в сохраняемом штреке за забоем первой лавы на участках интенсивного сдвижения и обрушения основной кровли и перед второй погашающей его лавой. Размеры участков, на которых устанавливается крепь усиления, для данных условий можно уменьшить в два раза по сравнению с нормативными требованиями, благодаря охране штрека податливым целиком. В этой связи участок за забоем первой лавы для установки крепи усиления должен быть не менее 50 м, а перед второй лавой – не менее 25 м.

Определяем параметры крепи усиления, исходя из максимальных смещений кровли выработки 300 мм, с учетом нереализовавшейся перед первой лавой величины податливости целика $U_ц = 0{,}7$ и последующего его деформирования в зоне временного опорного давления за первой лавой:

$$P_у = 1{,}5(P - P_а)B,$$

где P – требуемое сопротивление крепи по максимальным смещениям кровли; $P_а$ – сопротивление установленной при проходке анкерной крепи, кН/м^2.

Тогда

$$P_у = 1{,}5\ (90 - 45)\ 4 = 270\ кН/м.$$

Принимая в качестве крепи усиления стойки ГЗВО с рабочей несущей способностью $N_s = 300$ кН, определяем их требуемое количество в рядах

$$n_{с.у} = C_к P_у / N_s = 1 \cdot 270/300 \geq 0{,}9 = 1{,}0.$$

При этом в паспорте следует предусмотреть на участках усиления анкерной крепи установку одной стойки ГЗВО в каждом ряду под жесткий верхняк между рядами анкерной крепи.

При принятии в качестве усиливающейся крепи деревянных стоек с $N_s = 150$ кН их количество в рядах должно составлять

$$n_{с.у} = C_к P_у / N_s = 1 \cdot 270/150 \geq 1{,}8 = 2{,}0,$$

т.е. две стойки между рядами анкерной крепи.

Предложенная методика позволяет существенно уточнить расчет крепи выемочных штреков (ходков) в вариантах с податливыми целиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Титов Н.В.* Пути повышения эффективности разработки тонких и средней мощности пологих антрацитовых пластов / Н.В.Титов, А.А.Привалов, Ю.В.Турук. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. 196 с.

2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / ВНИМИ. Л., 1977. 211 с.

3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / ВНИМИ. Л., 1985. 222 с.

REFERENCES

1. *Titov N.V.* Ways for higher efficiency of mining of thin and average-thichness of flat-lying anthracite seams / N.V.Titov, A.A.Privalov, Yu.V.Turuk. Rostov on Don: Publ. J.Izv.Sev.-Kavk. region, 2006. 196 p.

2. Directions for the rational layout, protection and maintenance of mine workings at coal mines in the USSR / VNIMI. Leningrad, 1977. 211 p.

3. Directions for the rational layout, protection and maintenance of mine workings at coal mines in the USSR / VNIMI. Leningrad, 1985. 222 p.