



Ю. М. ХАЛИМЕНДИК,
доктор техн. наук
(Национальный
горный университет)

УДК 622.281.622.28.04

Применение крепи в слабых слоистых породах угольных шахт

Раскрыт механизм деформирования системы крепь–массив выработок глубоких шахт. Приведены конструктивные элементы крепи для предотвращения выдавливания пород кровли, внедрения стоек в подошву выработок, а также для улучшения работы узла податливости рамной крепи. Показана идеализированная схема крепления выработок глубоких шахт.

Ключевые слова: горное давление, слабые породы, внедрение стоек в подошву выработки, узел податливости, крепление выработки.

Контактная информация: khalimendyk@meta.ua

Главная функция крепи горных выработок – управление горным давлением, которое чаще всего является результатом гравитационных и тектонических сил, проявляющихся на контакте горного массива с элементами крепи. Разнообразие горнотехнических условий эксплуатации выработок и увеличение глубины ведения работ требует постоянного совершенствования конструкции крепи.

Первоначально для управления горным давлением использовали гипотезу Турнера, основанную на влиянии веса пород кровли на крепь, затем широкое распространение получила гипотеза М. М. Протодьяконова, в которой вес пород, воздействующий на крепь, располагается в параболическом своде обрушения. Применение такого подхода ограничивается глубиной ведения горных работ до 300 м [1].

С увеличением глубины ведения горных работ изменились формы проявления горного давления, расширилось представление о понятии «глубокая шахта» [2, 3]. Процессы деформации крепи выработок изучались с учетом запредельного состояния горных пород [4]. Несмотря на значительные успехи, достиг-

нутые в исследовании проявления горного давления, отдельные геомеханические процессы остаются недостаточно изученными.

Наиболее заметное визуальное проявление горного давления – вертикальная конвергенция, которую можно рассматривать как сумму процессов: опускание верхнего элемента крепи за счет внедрения стоек крепи в подошву выработки, проскальзывания в замковых соединениях, а также за счет пластических деформаций элементов крепи; поднятие подошвы выработки. Часто эти процессы ошибочно называют пучением, что уводит от правильных инженерных решений по предотвращению потерь площади сечения выработки.

Цель статьи – описание проявлений горного давления в слабых слоистых породах и обоснование конструктивных элементов крепи в этих условиях.

В упрощенном виде характер распределения напряжений горного массива вокруг выработки удобно рассмотреть в полярной системе координат (рис. 1) и описать формулами теории упругости [5]:

$$\sigma_r = \frac{\gamma H}{2} \left[(1 + \lambda) \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) + (1 - \lambda) \left(1 - \frac{4R^2}{r^2} + \frac{3R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma H}{2} \left[(1 + \lambda) \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - (1 - \lambda) \left(1 + \frac{3R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \right], \quad (2)$$

где σ_r и σ_θ – радиальные и нормальные тангенциальные напряжения в массиве пород после проведения выработки круглого сечения;

γ – удельный вес пород, МН/м²;

H – глубина заложения выработки, м;

λ – коэффициент бокового давления в нетронутном массиве;

R – радиус выработки, м;

r – радиус до рассматриваемой точки массива, м;

θ – угол полярной системы координат, ...°.

На примере шахты «Западно-Донбасская» проанализируем деформирование системы крепь–массив. Ранее [6] напряженное

состояние горного массива при проведении выработок измеряли в горизонтальном и вертикальном направлениях. На глубине 480 м коэффициент λ составил примерно 1, предел прочности пород аргиллита и алевролита на сжатие перпендикулярно к слоям – около 25 МПа. При $r = R$ согласно формулам (1) и (2) по всему контуру выработки действуют только сжимающие нормальные тангенциальные напряжения, равные $2\gamma H$, т. е. около 25 МПа. В слоистых породах коэффициент геометрической анизотропии изменяется от 1,3 до 2 [7], для аргиллитов и алевролитов Западного Донбасса – от 2,7 до 3,4 [8]. Таким образом, в кровле и подошве выработки предел прочности пород на сжатие параллельно слоям составит около 8 МПа, что примерно в 3 раза меньше возникающих сжимающих напряжений. В этих условиях в кровле и подошве выработок образуются клинья выдавливания слоистых пород (рис. 2).

После формирования клиньев выдавливания в кровле и подошве выработки в ее стенках возрастают вертикальные и горизонтальные напряжения. На связь между образованием свода обрушения и интенсивностью пучения указал П. М. Цимбаревич в работе [9]. Анализ взаимодействия дезинтеграции пород подошвы и высоты свода обрушения свидетельствует о линейной зависимости между ними [10]. Доказано, что напряжения в стенках выработки после реализации упругих и неупругих деформаций возрастают в 2 раза [11]. Принимая во внимание эти данные, проанализируем проявления горного давления в слоистых породах разной крепости, вмещающих пласт l_2 шахты «Алмазная» (рис. 3).

Вертикальное напряжение нетронутого массива в месте обследования составляет 20 МПа. После формирования дополнительного напряжения оно может увеличиться до 40 МПа. С учетом коэффициента бокового распора для песчаника горизонтальное напряжение будет 17 МПа, для угля – 6,5 МПа, а для алевролита и аргиллита – около 30 МПа.

Различие в крепости пород, напряжений в слоях и наличие анизотропии приводят к первичной деформации отдельных слоев пород в виде псевдопучения, т. е. выдавливания их в горизонтальной плоскости (рис. 4) с вывалообразованием под более прочными породами (рис. 4 и 5).

Такая деформация пород вокруг выработки происходит на тех глубоких угольных шахтах

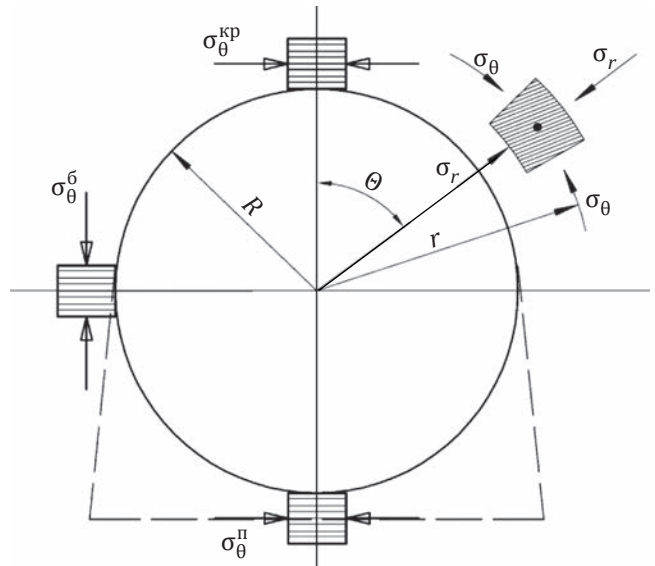


Рис. 1. Формирование напряженного состояния горного массива вокруг выработки: $\sigma_{\theta}^{кр}$ и $\sigma_{\theta}^п$ – сжимающие окружные напряжения, действующие в кровле и подошве параллельно породным слоям; $\sigma_{\theta}^б$ – сжимающие окружные напряжения, действующие в бортах выработки перпендикулярно к породным слоям.

Украины, боковые породы которых обладают слоистой структурой (рис. 6 и 7).

Согласно установленным закономерностям [5, 12, 13] для уменьшения размеров зоны запределных деформаций вокруг выработки необходимо максимально увеличить отпор, создаваемый крепью, особенно в начальный период после ее установки, что способствует минимизации смещений, максимально возможному сохранению естествен-

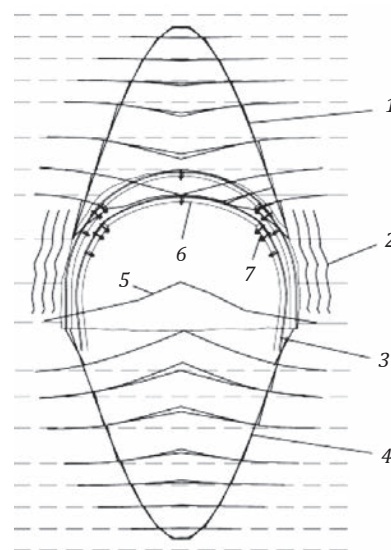


Рис. 2. Схема деформирования системы крепь-массив вокруг выработки глубокой шахты: 1 – клин выдавливания в кровле; 2 – разрушение бортов; 3 – внедрение стоек крепи в подошву; 4 – клин выдавливания в подошве; 5 – поднятие подошвы; 6 – опускание кровли; 7 – смещение в замках.

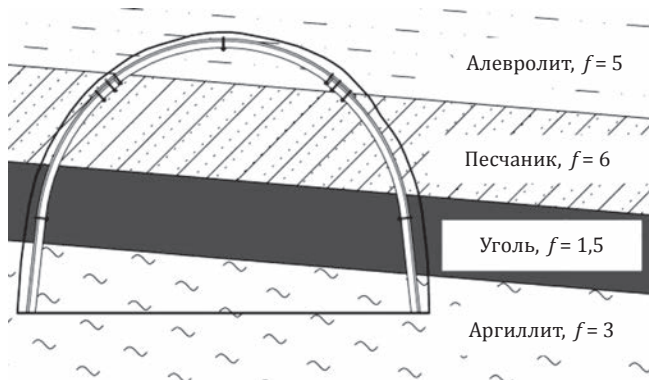


Рис. 3. Горно-геологические условия проведения 2-го южного конвейерного штрека шахты «Алмазная».



Рис. 4. Псевдоупучение угля (пласт l_2) из-под песчаника во 2-м южном конвейерном штреке шахты «Алмазная».



Рис. 5. Вывалы угля под песчаником во 2-м южном конвейерном штреке шахты «Алмазная».

ной прочности пород и улучшению устойчивости выработки. Аналогичные выводы на основе результатов ведения горных работ получены и авторами [14]. Увеличивая отпор, можно добиться более раннего наступления равновесия системы. При этом размеры зоны неупругих деформаций будут меньшими по сравнению со случаем, когда применяется крепь с меньшим отпором и большей податливостью, т. е. важно увеличивать начальный отпор, создаваемый крепью. Такой подход был использован в условиях шахт Западного Донбасса при разработке геометрических и конструктивных элементов арочной металлической крепи.

Процесс вертикальной конвергенции проявляется в виде интенсивного и менее активного периодов. Продолжительность интенсивного периода меняется на протяжении до 50 сут. Кроме того, наблюдается тенденция роста с увеличением глубины [8, 15]. Ремонтные работы в виде перекрепления вызывают активизацию процессов [14]. Для компенсации активного периода разработаны и внедрены металлические крепи КШПУ, отличающиеся удлиненными стойками крепи и шатровостью [15].

Процесс клинообразования в кровле можно предотвращать с помощью анкерных систем. Эффективность их использования объясняется повышением момента сопротивления анкерowanych слоев пород.

Важное условие применения анкеров – расположение за пределами клина выдавливания пород кровли. Для решения этой задачи используется теория Götze [16], основанная на закреплении свода обрушения пород кровли до его образования.

Разрушенные породы подошвы способствуют опусканию в нее стоек крепи, причем перемещение происходит по наклонной плоскости, представленной границей нарушенных и ненарушенных пород (см. рис. 2).

С опусканием стоек по наклонной поверхности нижнего клина выдавливания пород между крепью и массивом в бортах выработки образуются пустоты. При этом затяжка складывается с разворотом в гармошку (рис. 8).

Это проявление горного давления в виде продвижения затяжки одна на другую позволяет визуально обнаруживать внедрение стоек в подошву без инструментальных наблюдений. Опускание стоек крепи в подошву приводит к увеличению клина выдавливания пород кровли, т. е. к возрастанию давления на крепь [10].

Процесс опускания стоек крепи подтверждается результатами данных наблюдательной станции, заложенной в уклоне № 1 пласта l_8 горизонта 550 м шахты «Белозерская». Реперы были заложены в двух сечениях выработки (рис. 9). Для определения каждой составляющей вертикальной конвергенции с технической точностью выполнялось нивелирование реперов. Во время проведения наблюдений выработка находилась вне зоны влияния очистных работ. В кровле залегал алевролит ($f = 3$), непосредственная подошва была представлена аргиллитами ($f = 2$), основная – алевролитами ($f = 5$). Динамика опускания стоек и поднятия подошвы выработки показана на рис. 9.

Через два месяца в сечении II началось интенсивное опускание стоек в подошву выработки. На момент окончания наблюдений стойки опустились примерно на 0,5 м (см. рис. 9, сечение II). Опускание их с установленными подпятниками в сечении I на момент окончания наблюдений составило порядка 0,1 м, что соответствует толщине штыба (см. рис. 9, сечение I). Во время опускания стоек подошва поднималась примерно на 0,3 м. Таким образом, подпятник предотвратил опускание стоек крепи в подошву более чем в 3 раза.

Опускание стоек крепи в подошву выработки наблюдалось и в крепких породах при перекреплении выработок на шахте «Свято-Андреевская», где было отмечено самозатачивание их концов (рис. 10).

Для предотвращения опускания стоек крепи в подошву выработок был разработан новый вариант опорного башмака (рис. 11), изготавливаемого из листового металлопроката для крепи из СВП [17].

Конструкция позволяет монтировать его на стойку металлокрепи непосредственно перед установкой. При выемке горной массы комбайном такая опора не попадает в зону действия рабочего органа.

В реальных условиях трудно достичь номинального отпора арочной крепи при традиционном креплении горных выработок вследствие, например, неудачной конструкции замка, которая вызывает резкие колебания отпора из-за проскальзывания вдоль ножи крепи, а также установка рам без обеспечения плотного контакта с породным массивом (отсутствие расклинки и забутовки).

Замок с прямой планкой АПЗ-030 имеет ряд недостатков. Гайки затягиваются до видимого прогиба планки меньшего 100 Н·м. Кроме того, во время смещения элементов происходит пере-



Рис. 6. Клинья выдавливания пород кровли в шахте «Западно-Донбасская».

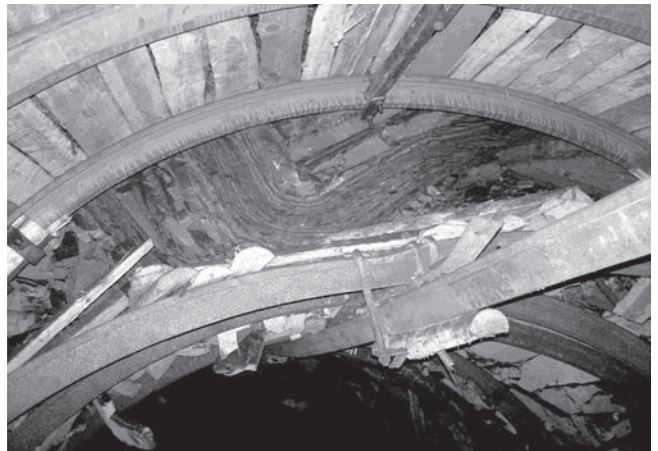


Рис. 7. Клинья выдавливания пород кровли в шахте «Свято-Андреевская».



Рис. 8. Складывание затяжки в гармошку (шахта «Комсомолец Донбасса»).

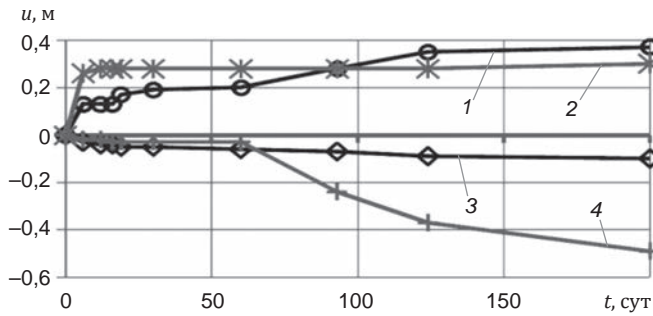


Рис. 9. Динамика поднятия подошвы и опускания стоек крепи в подошву выработки (шахта «Белозерская»): сечение I (1 – подошва; 3 – стойки с подпятниками); сечение II (2 – подошва; 4 – стойки без подпятников); u – смещение элемента.

кос скобы до определенного момента, а затем – резкий скачок в перемещении профилей крепи в замке. При проскальзывании в замке между ними возникают силы трения

$$T = \mu S, \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения;

S – сила сжатия за счет затягивания гаек скоб.

В случае, если коэффициент трения $\mu = 0,17$, угол трения α составит примерно 10° . Этим можно объяснить изгиб планки и резкие скачки при проскальзывании профилей крепи. Амплитуда скачков $A = l \operatorname{tg} \alpha$ (где l – совместная толщина соединения двух профилей). Например, для профиля СВП-22 амплитуда скачков может составлять до 40 мм (рис. 12).

Чтобы увеличить несущую способность крепи и уменьшить скачки проскальзывания профилей, амплитуда которых не превышает 8 мм, внедрены



Рис. 10. Самозатягивание концов стоек арочной крепи при опускании их в породе подошвы выработки (шахта «Свято-Андреевская»).

замковые соединения с базой сжатия элементов крепи по ребрам (ЗПКм) [18]. Затягивание гаек замка ЗПКм с усилием около 400 Н·м дало возможность увеличить несущую способность арочной крепи в 2 раза и улучшить рабочую характеристику (см. рис. 12).

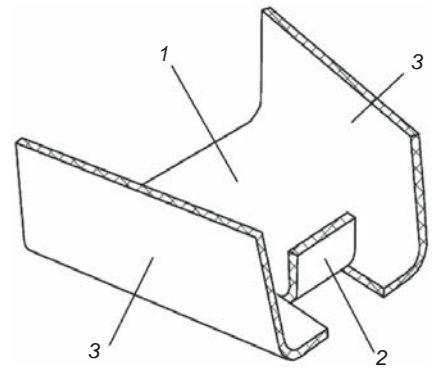


Рис. 11. Опорный башмак: 1 – основа; 2 и 3 – упоры.

Массовое применение крепи КШПУ позволило решить две задачи, заключающиеся в компенсации интенсивного периода поднятия подошвы за счет удлинения стоек и компенсации за счет отклонения их внутрь выработки с наклоном в сторону массива на 10° [19].

Применение металлической сетки для крепления межрамного пространства способствовало уменьшению объемов горной массы. Использование ее вместе с анкерами дало возможность упрочнить породы кровли и частично заполнить пространство между аркой и сеткой деревянными клиньями. Такая расклинка ускоряет совместное с анкерами включение в работу арочной крепи с армированным массивом.

Идеализированная схема крепления выработок в слабых слоистых боковых породах приведена на рис. 13.

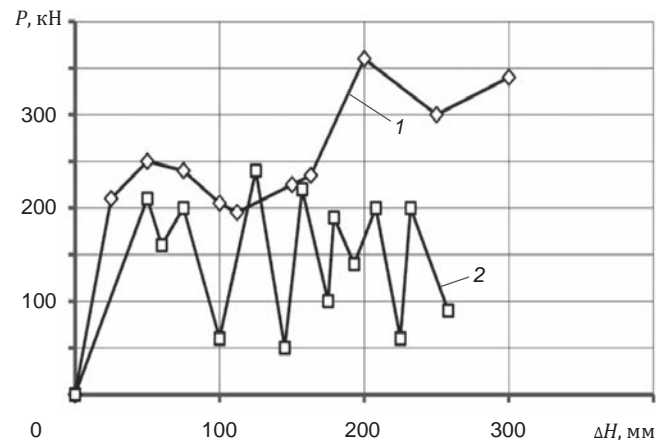


Рис. 12. Зависимость уменьшения высоты ΔH от нагрузки P на крепь КШПУ-11,7 с замковыми соединениями: 1 – ЗПКм; 2 – АПЗ-030.

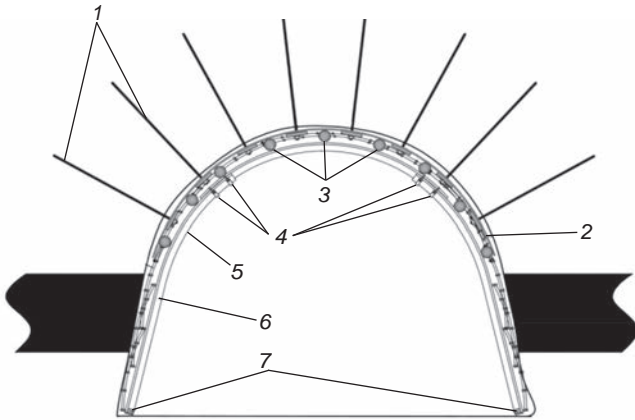


Рис. 13. Идеализированная схема крепления выработок глубоких шахт вне зоны влияния очистных работ: 1 – сталеполимерный анкер; 2 – металлический подхват; 3 – расклинка; 4 – замковое соединение типа ЗПКм; 5 – сетка; 6 – крепь типа КШПУ; 7 – подпятник.

Выводы. Применение разработанной схемы крепления подготовительных выработок в условиях слабых слоистых боковых пород Западного Донбасса способствовало значительному уменьшению вертикальной конвергенции и расширило повторное использование выработок до 70 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горная энциклопедия*. – М.: изд-во «Советская энциклопедия», 1986. – Т. 2. – С. 97.
2. *Заславский Ю. З.* Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донбасса / Ю. З. Заславский. – М.: Недра, 1966. – 267 с.
3. *Литвинский Г. Г.* Фундаментальные закономерности и новая классификация проявлений горного давления / Г. Г. Литвинский // *Наук. праці ДонНТУ. Сер. гірничо-геологічна*. – 2009. – Вип. 10 (151). – С. 21–28.
4. *Виноградов В. В.* Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В. В. Виноградов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
5. *Баклашов И. В.* Механика подземных сооружений и конструкций крепей / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, 1992. – 543 с.
6. *Мещанинов С. К.* Определение компонент напряжений массива горных пород / С. К. Мещанинов, Ю. М. Халимендик // *Геотехническая механика*. – 2000. – Вып. 22. – С. 75–79.
7. *Протосеня А. Г.* Геомеханика / А. Г. Протосеня, О. В. Тимофеев. – СПб. ГГИ им. Г. В. Плеханова. – СПб., 2008. – 117 с.
8. *Усаченко Б. М.* Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б. М. Усаченко. – К.: Наук. думка, 1979. – 136 с.
9. *Цимбаревич П. М.* Механика горных пород / П. М. Цимбаревич. – М.: Углетехиздат, 1948. – 247 с.
10. *Халимендик Ю. М.* Определение зависимости пучения почвы от высоты свода обрушения пород в горной выработке / Ю. М. Халимендик, А. С. Барышников // *Вісник Криворізького нац. ун-ту*. – 2012. – Вип. 30. – С. 249–252.
11. *Ерофеев Л. М.* Повышение надежности крепи горных выработок / Л. М. Ерофеев, Л. А. Мирошникова. – М.: Недра, 1988. – 245 с.
12. *Заславский Ю. З.* Новые виды крепи горных выработок / Ю. З. Заславский, Е. Б. Дружко. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
13. *Каретников В. Н.* Крепление капитальных и подготовительных выработок: справочник / В. Н. Каретников, В. Б. Клейменов, А. Г. Нуждиних. – М.: Недра, 1989. – 571 с.
14. *Зорин А. Н.* Механика разрушения породного массива и ее использование при добыче полезных ископаемых / А. Н. Зорин, Ю. М. Халимендик, В. Г. Колесников. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 413 с.
15. *Шмиголь А. В.* Обоснование способа и средств крепления выемочных штреков в условиях шахт Западного Донбасса: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / А. В. Шмиголь. – Днепропетровск, 1989. – 18 с.
16. *Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken*. Verlag Glückauf GmbH / [Junker M. et al.] – Essen. Germany. 2006. – 656 s.
17. *Пат. на корисну модель № 57469 Україна* / Опорний башмак рамного кріплення гірничих виробок зі спецпрофілю // Ю. М. Халимендик, В. В. Вишневецький, В. Ю. Халимендик. – № ua201010512; заявл. 31.08.10; опубл. 25.01.11, Бюл. № 4.
18. *Халимендик Ю. М.* Замковые соединения усиленной конструкции для повышения устойчивости горных выработок / Ю. М. Халимендик, С. Н. Александров, В. В. Вишневецкий // *Уголь Украины*. – 2007. – № 2. – С. 16–19.
19. *Кириченко В. Я.* Тенденции развития средств крепления подготовительных выработок на угольных шахтах Украины / В. Я. Кириченко, В. Я. Бондаренко // *Школа подземной разработки-2011*. – Днепропетровск – Ялта, 2011. – С. 16–19.