

УДК 622.831

ВЛИЯНИЕ ОТПОРА КРЕПИ НА СОСТОЯНИЕ ВЫРАБОТОК ПРИ ИХ ПОВТОРНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Халимендик Ю. М., Бруй А. В.

*(ГВУЗ «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск, Украина)*

Воронин С. А.

(ДТЭК «Павлоградуголь», г. Павлоград, Украина)

Розроблено методика розрахунку параметрів кріплення підготовчих виробок при повторному використанні. Виконано аналіз ефективності виконання паспортів підтримання виробок на шахтах Західного Донбасу. Проведено оцінку стану виробки з урахуванням необхідної та фактичної несучої здатності кріплення.

Procedure for calculation of support parameters for development workings in their re-use is developed. Analysis of effectiveness of making plans for maintenance of mine workings at the mines of Western Donbas is performed. The condition of mine working is estimated taking into account desired and actual support bearing capacity.

Внедрение прогрессивных бесцеликовых технологических схем с повторным использованием подготовительных выработок на угольных шахтах решает задачи прямоточного проветривания, своевременного обеспечения фронта очистных работ и улучшает технико-экономические показатели работы шахты. В то же время, остаются нерешенными задачи повышения эффективности обеспечения устойчивости подготовительных выработок планируемых для повторного использования. Как правило, ухудшение их состояния обусловлено увеличением глубины ведения горных работ, несоответствием типа крепи горно-геологическим услови-

ям, низким качеством сооружения (большие пустоты закрепного пространства, слабая затяжка замковых соединений, отсутствие или плохое качество забутовки, и др.), что способствует интенсификации проявлений горного давления. Неудовлетворительное состояние выработок приводит к необходимости их ремонта, резкому возрастанию трудовых, материальных и временных затрат. Многочисленные способы и средства обеспечения эксплуатационного состояния повторно используемых выработок (проведение с запасом на осадку, подрывка, ремонт и перекрепление деформированных участков крепи) зачастую приводят лишь к временному эффекту.

Разнообразие в подходах к поддержанию выработок для повторного использования, отражающееся в действующих паспортах поддержания выработок предопределено неоднозначностью нормативных документов. Так, основные закономерности проявления горного давления и методики расчетов основных технологических схем при ведении очистных работ приведены в КД [1]. Однако поддержание подготовительных выработок приведено в виде схем крепления и основных требований к безопасности ведения работ.

Указаниями [2] предусматриваются условия, требования и расчет несущей способности органной крепи при повторном использовании выработок в зависимости от степени обрушаемости пород кровли. Расчетная нагрузка на искусственные ограждения определяется в зависимости от мощности разрабатываемого пласта и степени обрушаемости пород кровли. Эта величина колеблется от 400 тс/м до 2000 тс/м (4000 кН/м–20000 кН/м), соответственно для легкообрушающихся и труднообрушающихся пород.

По классификации ДонУГИ породы кровли и почвы в Западном Донбассе в большинстве случаев необходимо отнести к породам неустойчивым и очень неустойчивым. При этом пунктом 5.4.12 предписано повторное использование участковых подготовительных выработок, которые поддерживаются за очистным забоем, применять на пластах с устойчивыми и средней устойчивости боковыми породами, то есть при $\sigma_{сж} > 30$ МПа.

Проектные решения по выбору способов и средств поддержания выработок принимаются на основании расчета величины

максимальной конвергенции сечения выработки. Надо полагать, что применяемые коэффициенты обоснованы конвергенцией в выработках с существующими крепями, которые приведены в СОУ [3], и не учитывают изменения в отпоре крепи или укрепление массива горных пород анкерами. За основу прогнозирования нагрузки на крепь взят вес пород свода расслоения над выработкой, рассчитываемый по формуле М. М. Протодьяконова.

Но при проходе лавы формируется зона расслоений пород не тождественная своду обрушений. Свод обрушений на сопряжении с лавой объединяется с вертикальными смещениями в лаве и формируется зона разгрузки в массиве. Эта зона значительно отличается от свода обрушений и может превышать её по высоте и зависеть от сил взаимодействия между слоями пород при перемещении опорного давления вглубь массива.

Расчет количества рам на 1 м производится исходя из рабочего сопротивления крепления по табличным данным ДонУГИ. Эти данные не совсем точны:

1. Стенд для получения рабочей характеристики позволяет проводить испытание лишь для арок сечением $13,8 \text{ м}^2$;
2. СОУ [3] не учитывает применяемых массово в Украине новых и эффективных замковых соединений;
3. Методикой не учитывается величина внедрения стоек в почву.

Охрана подготовительных выработок после прохода лавы предусматривается различными способами: литые и породные полосы, железобетонные тумбы, костры деревянные и накатные, буто- и кустокостры, органное крепление и чурбаковая стена. Несущая способность предлагаемых конструкций не дается. Приводятся лишь коэффициенты влияния этих способов [3]. При этом нет различия между ними за исключением породных полос.

Таким образом, для условий отработки маломощных пластов со слабометаморфизованными боковыми породами шахт Западного Донбасса нет четких и полных нормативных требований к технологическим операциям по усилению крепи охраняемой для повторного использования выработки. Поэтому поиск технических решений по повышению устойчивости подготовительных

выработок для их повторного использования является актуальной задачей современного угледобывающего предприятия.

Целью данной работы являлся анализ эффективности выполнения применяемых паспортов на шахтах Западного Донбасса со сравнением и сопоставлением проектной и фактической несущей способности крепи и оценкой состояния выработки.

Отработку запасов выемочного столба с погашением выработок вслед за подвиганием очистного забоя можно считать решенной задачей: Установка впереди движущегося очистного забоя опережающей крепи усиления позволяет сохранить сечение штрека. Установка только крепи усиления в штреке после прохода лавы не приводит к подобному эффекту. Установлено [4], что существует тесная корреляция между оседанием на концевом участке лавы и вертикальной конвергенцией выработки после прохода лавы. Данная зависимость наблюдается в различных горно-геологических условиях и при различных способах заполнения выработанного пространства на сопряжении со штреком и установлена путем проведения инструментальных замеров. Другими словами, необходимо минимизировать опускание кровли на краевом участке лавы для минимизации потери сечения подготовительной выработки после прохода лавы.

В данной работе уделено внимание разработке методики определения необходимого отпора крепи на сопряжении лавы со штреком на основании обобщения имеющегося опыта поддержания выработок в условиях слабометаморфизированных пород.

Согласно разработанной методике, вклад каждого элемента крепи в общий создаваемый системой отпор оценивается отдельно. Для оценивания каждому элементу в системе «крепь-массив» присваивается значение его несущей способности, взятой из результатов испытаний на стендах, нормативной и справочной литературы, а также непосредственно материалов инструментальных измерений в выработках. Создаваемый отпор определяется путем суммирования отпора всех элементов крепи. Таким образом, можно оценить отпор крепи, заложенный в паспорте крепления и поддержания, а также фактический отпор, исходя из сложившейся ситуации и проводимых мероприятий в выработке.

Остановимся на каждом из элементов крепи, используемого в паспортах поддержания выработок Западного Донбасса.

Арочная крепь. Определение типа крепления выработок и плотность установки производится в соответствии с разделом 8 [5] с учётом рекомендаций [6]. Рабочее сопротивление крепи определяется по данным стендовых испытаний ДонУГИ или ВНИИМШС или табличных данных нормативных документов [6, 7] с учётом различных замковых соединений.

Меры по повышению устойчивости горных выработок должны соответствовать требованиям СНиПа [8]. Например, п. 4.22 предполагает при крепости пород менее 15 МПа (150 кгс/см^2) под стойками следует предусматривать опоры, включающие вдавливание стоек крепи в почву.

Несущая способность арочной податливой крепи АПЗ из профиля СВП с замками АПЗ-030 составляет не более 10 т. [9].

Согласно протоколов лабораторных испытаний ГП «ДонУГИ» при использовании замков ЗПКм получена характеристика рабочего (без деформации элементов) сопротивления крепи указанная в таблице 1. Эта характеристика принимается в качестве расчётной при определении плотности крепления выработки.

Таблица 1
Рабочая нагрузка крепи АПЗ с замками ЗПКм

Размеры крепи:			Профиль	Сопротивление, кН на раму
сечение, м^2	ширина, мм	высота, мм		
11,2	4180	3130	СВП 22	290
13,8	4750	3440	СВП 22	280
15,5	5200	3550	СВП 27	365

Таким образом, применение замков ЗПКм повышает несущую способность арочной крепи до 30 т. Рамная крепь является эффективной при поддержании штрека до подхода лавы. В створе с лавой одна из стоек демонтируется и устанавливается без какого либо предварительного распора. Эти необходимые меропри-

ятия приводят к тому, что несущая способность рамы после прохода лавы стремится к нулю, поэтому при расчетах отпора крепи повторно используемой выработки вклад в общий отпор этого элемента не учитывается.

Анкерование пород существенно улучшает геологические характеристики пород, создает породную плиту в кровле выработки и способствует сохранности сечения выработки до подхода лавы. Методическими указаниями [10] предусмотрено введение поправочного коэффициента в расчётную крепость пород за счёт дополнительного крепления анкерами. Он изменяется от 1 до 2 в зависимости от плотности анкерования.

В створе с лавой происходит опускание кровли на сопряжении, и как следствие, над выработкой образуется свод обрушения. Сталеполимерные анкера длина которых 2,1 м после прохода лавы попадают в свод обрушения, высота которого превышает их длину. Этот процесс развивается независимо от количества анкеров и их направленности. Поэтому после прохода лавы эффективность сталеполимерных анкеров сводится к нулю и вклад данного элемента в общей несущей способности поддерживаемой выработки принимается равным 0.

Органные ряды на концевом участке лавы и стойки усиления в штреке. Несущая способность данного элемента крепи определяется из справочной литературы [11].

$$\sigma_{кр} = 293 - 7,76 \frac{l}{d}, \quad (1)$$

где $\sigma_{кр}$ – критическое напряжение сжатия, кг/см²;

293 – предел прочности на сжатие сухой сосны, кг/см²;

l – длина стойки, см;

d – диаметр стойки, см

Допустимая нагрузка на стойку определяется из выражения:

$$P = \frac{\sigma_{кр} \cdot F}{k}, \quad (2)$$

где k – коэффициент запаса прочности для деревянных стоек (без повторного использования $k = 1,5 \div 3$; при переносе стоек $k = 3 \div 5$);

F – площа поперечного сечення стойки, см².

Произведя расчеты по данным формулам, можно оценить отпор стоек в лаве. При условии, что их диаметр около 12 см и длина 1,2 м отпор каждой составляет ≈ 12 тонн. Для стоек в штреке диаметром 20 см и длиной 3,2 м отпор равен 19 тонн. Для удобства расчетов методикой принимается отпор деревянных стоек исходя из соотношения: 1 см диаметра стойки = 1 тонна.

Учитывая, что краевая часть в лаве нарушена от неупругих деформаций вокруг выемочной выработки, необходимо ее разобрать до почвы шириной не менее, чем установка двух брусьев. В случае установки органных рядов по бровке лавы без штробы до почвы штрека, стойки располагаются в деформированной части массива и, соответственно не могут выполнять своих функций, и будут либо вдавлены в разупрочненный массив, либо просто выдвлены вместе с почвой в сторону штрека (рис. 1).



Рис. 1. Деформирование стоек установленных по бровке

При расчете расстояния эффективной работы органных рядов методикой принимается, что призма сползания образуется под углом 45° , т.е. при фактической присечке 0,8 м установка деревянных стоек без выемки штробы на этом расстоянии неэффективна. Отпора такие стойки создать не смогут. Поэтому, в случае установки органных рядов по бровке лавы на расстоянии меньше величины присечки, отпор данных элементов не учитывается.

Костер. Несущая способность сухой сосны в направлении вдоль волокон составляет 1 т [11]. Учитывая, что точек опоры у костра 4, то и отпор всей конструкции костра составляет 4 т. При условии заполнения его быстротвердеющим составом, несущая способность может быть увеличена до 10 тонн.

Полигональная крепь. Полигональная крепь усиления изготавливается из круглого леса. Рама крепи состоит из подхвата, двух подкосов и двух боковых стоек. Элементы рамы деревянной усиливающей крепи распираются между собой двумя центральными и двумя боковыми прогонами. К элементам арочной крепи элементы деревянной усиливающей крепи подвязываются проволокой. Несущими элементами, воспринимающими горное давление, на контуре выработки, являются боковые стойки. По результатам лабораторных исследований польских ученых установлена зависимость отпора крепи от высоты и диаметра этих стоек [12].

$$P_{\max} = 266,79 + 1,3738 \cdot d - 0,0772 \cdot h, \quad (3)$$

где P_{\max} – максимальный отпор деревянной стойки, кН;

d – диаметр стойки, мм;

h – высота стойки, мм.

Учитывая, что испытание деревянных стоек на стенде производилось с предварительной подготовкой, а при установке в шахте используются влажные, кривые стойки с неточным отпил торца, целесообразно применить понижающий коэффициент около 1,5.

Используя для расчетов усредненные данные по диаметру и длине стоек получаем несущую способность полигональной крепи: 2 стойки · 20 т = 40 т.

Все используемые элементы поддерживаемой вслед за лавой крепи и их несущая способность сведены в таблицу 2.

При оценке отпора крепи важное значение имеет размер неподдерживаемой механизированной крепью части лавы, от которого будет зависеть вес пород, формирующий нагрузку на крепь.

Таблица 2

Несущая способность элементов крепи

Элемент крепи	Несущая способность элементов крепи, т/м	
	Впереди лавы	поддержание штрека
Арочная крепь с подпятником и замками АПЗ-030	10	0
Арочная крепь с подпятником и замками ЗПКм,	20-30	0
Анкерование кровли (увеличивает расчетную крепость пород в 1–2 раза)	0	0
Органый (обрезной) ряд	1т на 1см диаметра стойки	1т на 1см диаметра стойки
Стойки в штробе до почвы штрека	1т на 1см диаметра стойки	1т на 1см диаметра стойки
Стойки по бровке лавы без выемки штробы	0	0
Костры накатные	4	4
Костры накатные с заполнением быстротвердеющей смесью	10	10
Полигональная крепь	–	40

Для сопоставления величин расчетного и фактического отпора системы, методикой предусматривается определение приведенного отпора к 1 м² поддерживаемого пространства:

$$P_{общ} = \frac{P_{1м}}{B_{np} + 0,5 + L}, \quad (4)$$

где: $P_{1м}$ – нагрузка на 1 м выработанного пространства, т/м;
 B_{np} – ширина выработки в проходке, м;
 0,5 – ширина интенсивной зоны отжима у штрека с противоположной стороны, м;

L – расстояние от крайней секции мех. крепи да штрека, м.

На основании оценки паспортов крепления и поддержания выработок ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» по разработанной методике и результатам мониторинга, выполненного сотрудниками кафедры маркшейдерии, в этих выработках произведен анализ расхождений заложенных в паспорт величин отпора и его фактического значения. При выполнении анализа обследовано 20 выработок, предназначенных для повторного использования.

Во всех поддерживаемых выработках мероприятия, закладываемые в паспорта крепления, выполняются не в полном объеме, либо некачественно. Отпор, заложенный в паспорт поддержания, превышает показатель фактического отпора крепи. Разброс этих величин по различным предприятиям варьируется в пределах от 3 % до 44 % (рис. 2). В среднем величина отпора снижается на 21 % по сравнению с паспортной величиной.

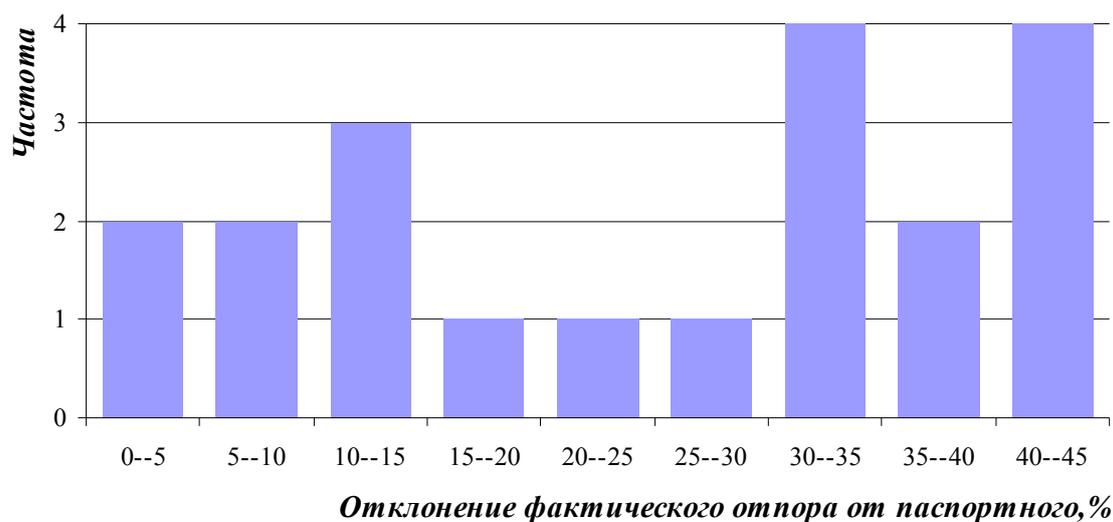


Рис. 2. Гистограмма распределения величин отклонения фактического отпора от его паспортного значения

Недостатки нормативных документов привели к необходимости иного критерия к обеспечению устойчивости повторно используемых подготовительных выработок, который заключается не в задании допустимых смещений выработки, а в задании необходимого отпора в зоне влияния динамического опорного давления.

Расчет необходимого отпора крепи для повторного использования производился в соответствии с разработанным на кафедре маркшейдерии способом заданных нагрузок [4], учитывающим физико-механические свойства вмещающих пород, установленные параметры зоны дезинтеграции, глубину ведения горных работ и размер краевой части лавы. Данный способ апробирован в условиях Западного Донбасса и обеспечивает потерю сечения штрека не более 30 %.

Для условий каждой поддерживаемой выработки рассчитан необходимый отпор всей системы по способу заданных нагрузок. Рассчитанная величина сопоставляется с фактическим отпором, создаваемым системой «крепь-массив».

Таким образом, неудовлетворительное состояние выработок зачастую связано с недостаточной величиной отпора крепи на стадии составления паспорта крепления. Систематически закладывается погрешность не менее 10-15 % в сторону занижения, вследствие чего крепь не создает отпор возникающим со стороны массива нагрузкам. Фактически создаваемый отпор еще меньше проектного. Если сопоставить рассчитанный необходимый отпор и тот, который реально создается, то расхождение в среднем по предприятиям составит порядка 30 %. Недостаточный отпор крепи не препятствует развитию процесса дезинтеграции массива, что влечет за собой большой процент потери сечения выработки и необходимость её последующего перекрепления. Среднее квадратическое отклонение составляет $\pm 19,3$ %, является высоким и свидетельствует об отсутствии однозначного подхода и четких рекомендаций при утверждении паспортов поддержания на разных предприятиях. ИТР при составлении паспортов поддержания опираются исключительно на опыт, накопленный в пределах своего предприятия. В паспорта закладываются мероприятия, традиционные для предприятия, материало- и трудоемкие, но неэффективные в плане создания отпора, что, в конечном счете, приводит к развитию неупругих деформаций в массиве и деформированию выработки.

Для исследования зависимости потери сечения выработки и создаваемого отпора в повторно используемых выработках определялась вертикальная конвергенция путем производства ниве-

лирования, линейных замеров, а также по экспресс-методике, разработанной сотрудниками кафедры маркшейдерии [13]. Вероятно, существенную роль в процессе деформирования выработки вслед за проходом лавы играет вынимаемая мощность, но в пределах исследуемых выработок она изменяется в основном в пределах 0,05 м. Несущественное колебание данного параметра позволяет его игнорировать при обработке.

Величина вертикальной конвергенции штрека после прохода лавы обрабатывалась методами математической статистики совместно с расчетным необходимым и фактическим отпором системы «крепь-массив». Для однозначности, необходимый отпор крепи рассчитан для условий фактической ширины неподдерживаемого механизированной крепью участка лавы. На рисунке 3 представлено графическое отображение зависимости вертикальной конвергенции поддерживаемой выработки от разности необходимо и фактического отпоров крепи.

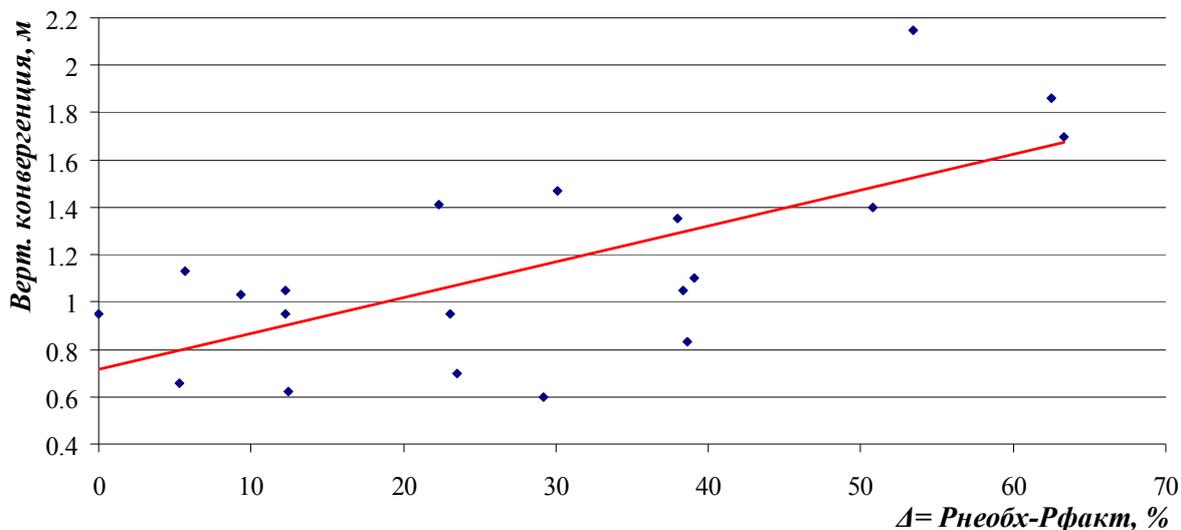


Рис. 3. Зависимость вертикальной конвергенции от отпора крепи

Как видно, с увеличением разности необходимого и фактического отпоров, величина вертикальной конвергенции выработки увеличивается по линейному закону. Данную зависимость можно описать уравнением:

$$\Delta h = 0,015 \cdot \Delta P + 0,72, \quad (5)$$

где Δh – вертикальная конвергенция, м;

ΔP – разность необходимого и фактического отпоров, %.

Коэффициент корреляции данной зависимости достаточно высок и составляет $r = 0,69$.

Вывод: Состояние выработок после прохода лав прямо зависит от отпора крепи. Установлено, что фактический суммарный отпор крепи меньше паспортного до 45 %. При сохранении выработок для повторного использования главными задачами надо считать правильное обоснование суммарного отпора крепи и выполнение технических решений в шахте.

СПИСОК ССЫЛОК

1. КД 12.01.01.503-2001 Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. — Изд. 4-е, дополнительное. Л. 1986. — 222 с.
3. Система обеспечения надёжного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. СОУ-П 10.1.05411357.010 : 2007. Минуглепром Украины. Киев. 2007 г.
4. Ю. М. Халимендик, А. В. Бруй, В. Ю. Халимендик. Поддержание сопряжения лавы со штреком – основа устойчивости поддерживаемых выработок // IV Міжнародна науково-практична конференція «Школа підземної розробки». — Дніпропетровськ, НГУ. — 2010. — С. 53—58.
5. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. СОУ 10.1.00185790.011: 2007. Мінвуглепром України. Київ. 2007.
6. Инструкция по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. СПб. Павлоград. 1994 — ВНИМИ.
7. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок, — СПб, 1991, ВНИМИ.
8. СНиП 11-94-80. Подземные горные выработки.

9. Рамные крепи горных выработок. ДонУГИ Донецк: ЦБНТИ, 1992 г.
10. КД 12.01.01.201-98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. Харьков: УкрНИИМИ, 1998 г.
11. Справочник горного инженера. Под. ред. д.т.н. В. К. Бугнева. — Москва, 1960.
12. Stanislaw Prusek. Określenie charakterystyk podpornościowych obudowy drewnianej. Wiadomości Górnicze, 7-8 / 2008, s. 485—493.
13. Халимендик Ю. М., Бруй Г. В., Сарвас С. В. Экспресс-анализ состояния выработки, закрепленной анкерной крепью // Збірник наукових праць УкрНДМІ. — Донецк, 2009. — № 5 (частина 1). — С. 150—155.