

Н.А. Колесник (канд. техн. наук., доц.)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
bugayovanatasha@mail.ru

А.А. Яйцов (директор угольной дирекции)

ЗАО «Донецкий металлургический завод «Донецксталь»,
г. Донецк

АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Разработана методика количественной оценки условий для поддержания выемочных выработок с учетом естественного разброса механических свойств массива. Методика учитывает все имеющиеся данные об испытаниях пород на прочность, и положение сечения выработок относительно вынимаемого угольного пласта.

Ключевые слова: стохастический разброс, физико-механические свойства горных пород.

Поддержание подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях является одной из наиболее актуальных задач, связанных с обеспечением высоких темпов угледобычи. Наиболее сложно обеспечить удовлетворительное состояние выемочных выработок, находящихся в зоне активного влияния очистных работ. Известно, что величина смещений на контуре выемочной выработки, примыкающей к действующему очистному забою и поддерживаемой позади действующей лавы для обеспечения возможности прямоточного проветривания и повторного использования выработки зависит от следующих основных горно-технических и горно-геологических факторов [1]:

- Вынимаемой мощности угольного пласта;
- Средневзвешенной прочности пород кровли, боков и почвы выработки в пределах зоны влияния этой выработки;
- Способа охраны выработки, и, в частности, жесткости искусственных опор, возводимых позади лавы;

-
- Несущей способности и податливости основной рамной арочной крепи;
 - Плотности и несущей способности усиливающей анкерной крепи;
 - Степени заполнения закрепного пространства;
 - Размеров поперечного сечения подготовительной выработки;
 - Трециноватости массива горных пород и, в частности, наличия малоамплитудных нарушений;
 - Угла падения пород;
 - Времени подержания выработки в характерных геомеханических зонах (в нетронутом массиве, в зоне динамического опорного давления, позади первой действующей лавы в зоне активных сдвижений, в зоне установившегося горного давления, в зоне динамического опорного давления второй лавы, использующей выработку повторно и т.д.);
 - Скорости подвигания лавы;
 - Других второстепенных факторов.

Горнотехническими факторами можно управлять и тем самым влиять на устойчивость подготовительной выработки. Однако основные горно-геологические факторы определены природой и поэтому рассматриваются в данной работе как исходные, определяющие начальное состояние среды, в которой будут сооружаться и эксплуатироваться подготовительные выработки. В связи с этим на первом этапе проектирования технологии отработки нового блока, панели или горизонта целесообразно рассматривать лишь главные горно-геологические факторы, например вынимаемую мощность угольного пласта, а также средне-взвешенную прочность пород кровли, боков и почвы выработки в пределах зоны влияния этой выработки с учетом и без учета размокания. При этом отдельно изучать распределение мощности и прочности отдельных породных слоев не имеет практического смысла. Это связано с тем, что величина смещений кровли, боков или почвы выработки определяется средне-взвешенной прочностью пород кровли, боков и почвы в целом, а не только каким-то отдельным слоем. Важны все породные или угольные слои, которые попадают в зону влияния выработки.

Разрез по скважине №4052 наглядно подтверждает сказанное (рис. 1). На этом разрезе не только почва, но и кровля угольного пласта представлены несколькими породными слоями сланцев, песчаников, углистых сланцев.

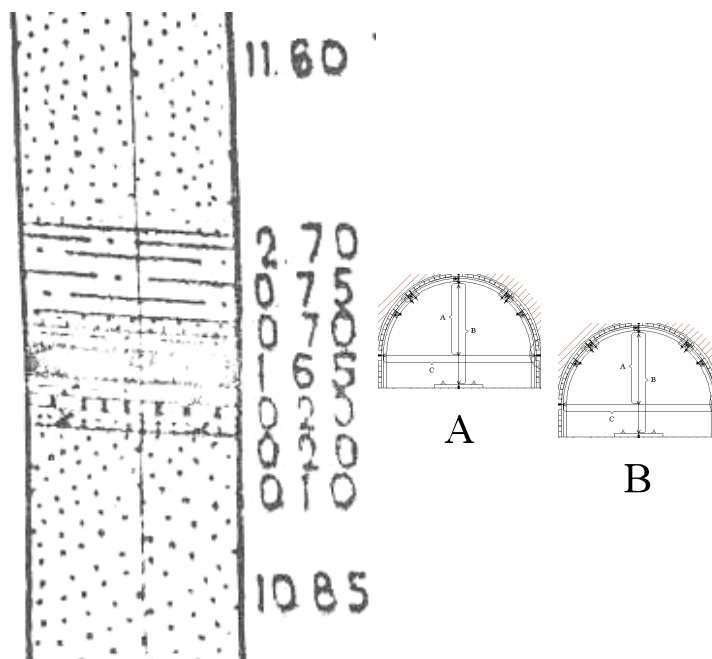


Рис. 1. Типичный стратиграфический разрез толщи в окрестности пласта блока 10 ш/у Покровское

При этом смещения на контуре выработки будут зависеть не только от прочности этих слоев, но и от положения сечения выработки относительно указанных породных слоев. Так при положении «А» смещения кровли будут иметь тенденцию к уменьшению, а почвы наоборот к увеличению, поскольку в кровлю выработки попадает в основном слой прочного песчаника, а в почва будет представлена мелкослоистой толщей слабых углей, углистых и песчаных сланцев. В положении сечения «В» в почву выработки попадает прочный песчаник, а в кровле возникает слой песчаного сланца. Учитывая то, что слой песчаного сланца размещается непосредственно на контуре выработки, его ослабляющее влияние будет максимально выражено, что приведет к росту смещений в кровле выработки. Наоборот, прочный песчаник в почве создает предпосылки для уменьшения смещений пород

почвы выработки. Из рассмотрения рис. 1 становится также понятно, что с учетом размещения сечения выработки некоторые слои разделяются на две части: одна часть попадает в боковые стенки выработки, а вторая часть размещается в кровле или почве, хотя это физически один и тот же слой. Таким образом, отслеживание отдельного породного слоя без учета его положения относительно сечения выработки не имеет смысла.

На основании этого принято решение учитывать прочность *всех* породных слоев, которые попадают в зону влияния выработки. Известно, что для достоверного расчета смещений достаточно знать мощность, прочность и положение всех слоев в кровле на высоту 1,5 ширины выработки, и 1 ширину выработки в бока и почву [1].

При расчете средневзвешенных прочностей использованы следующие основные геомеханические принципы. Чем выше значение прочности породного слоя и чем больше его мощность в пределах зоны влияния выработки, и чем ближе этот слой к контуру выработки, тем сильнее влияет данный слой на устойчивость выработки, что означает больший вес указанного слоя в общей средневзвешенной прочности кровли, боков или почвы. Этот принцип был выдвинут и достоверно доказан еще в 70-х. Указанный принцип положен в основу формулы для определения средневзвешенной прочности R пород кровли, боков и почвы выработки (рис. 2). Здесь R , h , y означают прочность отдельного слоя, его мощность и расстояние от центра слоя до центра сечения выработки. Средневзвешенная прочность боков выработки определяется в отдельности для верхней половины сечения и для нижней, а затем усредняется [2]. Численный анализ горно-геологических условий отработки шахтного поля показан на примере блока 10 ш/у Покровское.

Главным источником данных о прочности вмещающих пород в странах СНГ являются карты прочности кровли и почвы. В пределах блока 10 имеется 230 разведочных скважин. Из них 51 расположена в северной части блока, 92 в центральной (верхний горизонт которой в настоящее время готовится для отработки) и 117 в южной. Из этих скважин только 51 имеет данные об испы-

таниях механических свойств вмещающих пород. В большинстве случаев проводятся испытания на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии образца. Некоторые породные слои испытаны на предел прочности в водонасыщенном состоянии. Еще меньшее число слоев испытано на предел прочности на растяжение в воздушносухом состоянии.

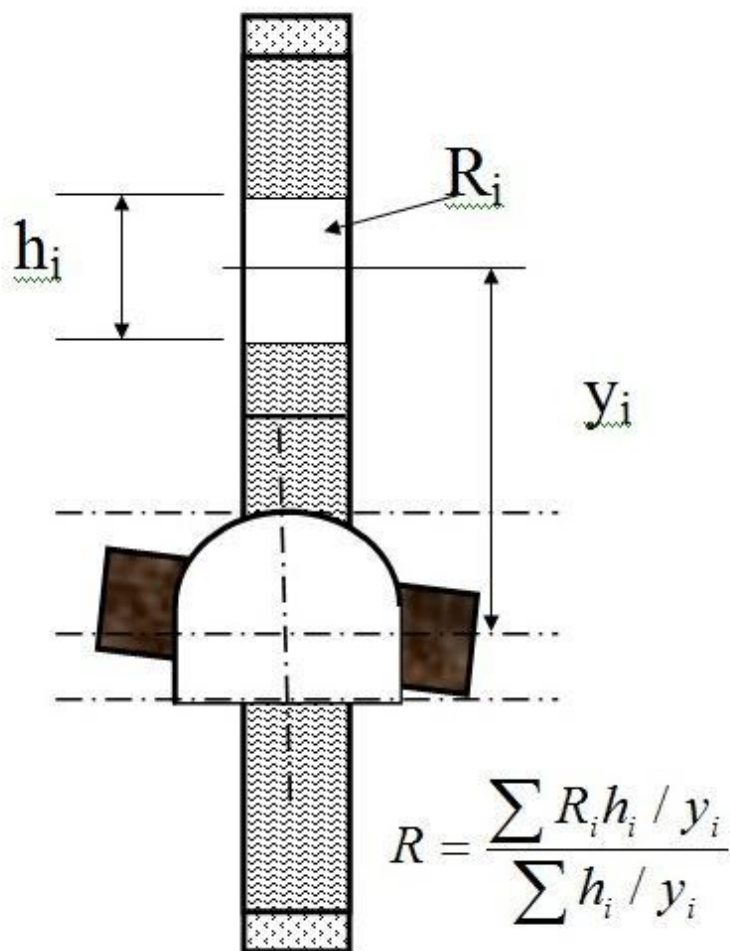


Рис. 2. Схема к расчету средневзвешенной прочности пород

Результаты всех испытаний занесены в базу данных, в которой имеются сведения о структуре вмещающих пород, координатах скважин, а также прочностных характеристиках вмещающих пород. Для определения средневзвешенной прочности пород кровли, почвы и боков выработки было составлено несколько подпрограмм, каждая из которых выполняла свою функцию. Вначале готовится первый рабочий файл с исходными данными.

Этот файл выбирается с базы данных. Файл содержит координаты текущей скважины, индекс породы (песчаник, сланец песчаный, сланец глинистый, уголь), мощность слоя, выход керна при бурении разведочной скважины. Если длина колонки керна меньше, чем длина интервала бурения, это свидетельствует о повышенной трещиноватости пород, что будет учитываться поправочным коэффициентом при определении средневзвешенной прочности.

Даже в тех скважинах, в которых проводились испытания прочностных свойств пород часть слоев породы либо вообще не испытана либо испытана не полностью. В силу ограниченного количества данных было принято решение о восстановлении части данных по названию породы и степени ее метаморфизма. На основании анализа ранее выполненных исследований были выбраны эмпирические зависимости, которые могут восстановить прочность породы в зависимости от глубины ее залегания, типа породы и степени диагенеза [3]. Так для данной шахты, обрабатывающей уголь марки К прогнозная прочность песчаника в пределах блока 10 должна составлять 80 МПа, сланца песчаного 55 МПа, сланца глинистого 45 МПа, угля 7,5 МПа.

Следующая подпрограмма усредняет данные по прочности, если в пределах слоя испытано более одного образца и сводит все данные в общий список. Там где испытания не проводились, прочность указывается прогнозная. Для оценки разброса прогнозных и фактических данных был проведен статистический анализ, краткие результаты которого показаны на рис. 3 и в таблице 1. График зависимости прогнозной прочности и фактической показан на рис. 3,а. Регрессионная зависимость свидетельствует о том, что средние величины фактической прочности практически совпадают с прогнозной, поскольку множитель регрессии равен 1,02. Это дает основание для применения метода восстановления прочностных показателей пород по их названию и степени диагенеза и свидетельствует о надежности используемой зависимости.

Таблица 1

Значение коэффициента размокаемости для отдельных типов породы

Название породы	Значение коэффициента размокания
Песчаник	0,89
Сланец песчаный	0,668
Сланец глинистый	0,586
уголь	0,679

Вместе с тем необходимо отметить существенный разброс данных. На рис. 3,в приведено распределение фактической прочности сланца песчаного, теоретическая прочность которого должна составлять 550 бар. Статистический анализ показал, что фактическая гистограмма не противоречит нормальному закону распределения, а стандартное отклонение составляет ± 155 бар. Это значит, что коэффициент вариации равен 0,26, что вполне достаточно при решении проблем горного давления.

Полученные результаты позволили применить принятый метод обработки данных и для определения коэффициента размокания. Если отдельные образцы показывали существенный разброс соотношения пределов прочности в сухом и водонасыщенном состоянии, то массовая обработка всех данных показала устойчивую закономерность, которая хорошо согласуется с основами физики горных пород (таблица 1). Так наименее склонен к размоканию песчаник, затем сланец песчаный и уголь. Наиболее размокает сланец глинистый, поскольку содержит максимум глинистых минералов.

В результате последующей работы нескольких подпрограмм компьютер выдает четыре файла отдельно для кровли, боков и почвы выработки, а также усредненные данные по прочности вмещающих выработку пород. В этих файлах содержатся пределы прочности в каждой скважине и ее координаты. По этим файлам строятся искомые распределения прочности. При этом отпадает необходимость построения распределения мощности отдельных слоев, поскольку они автоматически учтены при расчете средневзвешенной прочности. Важно отметить, что данные распределения действительны для *конкретного положения сечения*

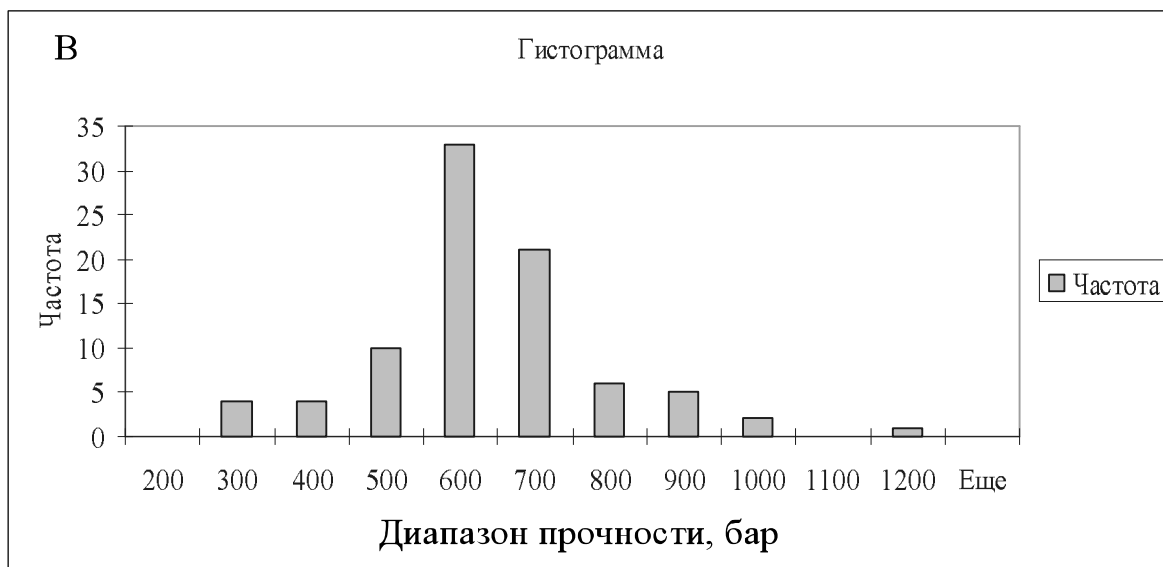
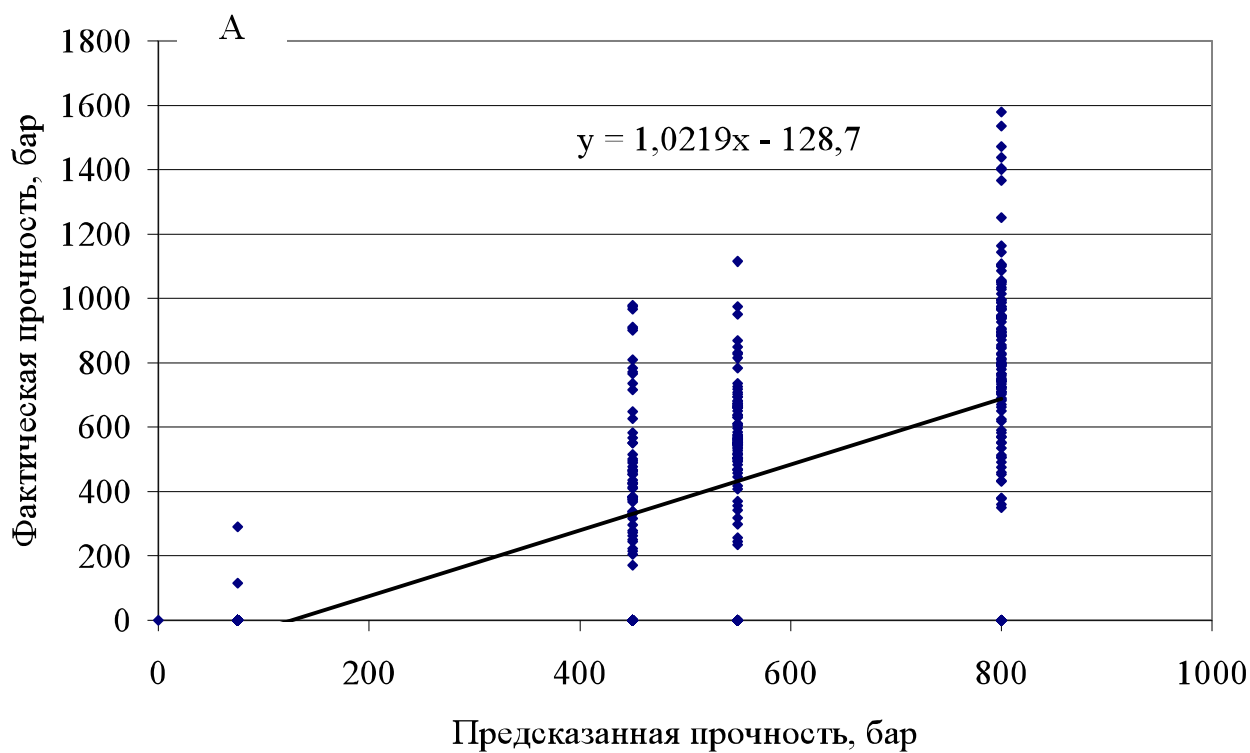


Рис. 3. Зависимость между прогнозной величиной прочности и фактической (А) и распределение фактической прочности для одной и той же породы (В)

выработки относительно угольного пласта. Для этого разработаны специальные подпрограммы, которые по заданному положению подошвы выработки относительно подошвы вынимаемого пласта, а также размерам ее сечения определяют положение системы координат в каждой скважине, относительно которой определяются средневзвешенные прочностные кровли, боков и почвы выработки. Изменяя положение сечения относительно вынимаемого пласта можно быстро получать карты распределения средневзвешенной прочности пород кровли, боков и почвы. Такие возможности имеют большое практическое значение, поскольку уже на предварительном этапе позволяют определить рациональное положение сечения выработки относительно почвы обрабатываемого пласта.

Разработанный пакет программ позволил построить достоверную карту вынимаемой мощности пласта. Отметим, что в каждой стратиграфической колонке величина вынимаемой мощности определяется из экономических соображений и технологических ограничений. Часто в диапазон вынимаемой мощности попадает несколько пачек угля, которые разделены прослойками углистого сланца алевролита или аргиллита. По результатам анализа оказалось, что вынимаемая мощность угольного пласта существенно изменяется в пределах блока 10 от 2 м до 0,3 м. Это позволило разделить блок на участки, которые будут обрабатываться разными технологиями. Кроме того величина вынимаемой мощности определяет величину смещений пород кровли в зоне активных сдвижений при повторном использовании выемочных выработок. Поэтому полученная карта применяется также для прогнозной оценки смещений на контуре выемочных выработок.

Прежде чем строить карты средневзвешенной прочности кровли, боков и почвы выработки были проведены предварительные расчеты приведенной прочности почвы при разных положениях сечения относительно вынимаемого пласта (то есть при разной величине подрывки почвы пласта). Эти предварительные расчеты понадобились потому, что в почве пласта почти повсеместно присутствуют тонкие слои слабых неустойчивых пород типа углистых, глинистых сланцев, кучерявчиков и т.п. В случае

оставления таких тонкослоистых неустойчивых пород создаются условия для интенсивного пучения почвы, что заранее неприемлемо. В связи с этим были выполнены расчеты средневзвешенной прочности пород при разной величине подрывки почвы пласта. Оказалось, что при совмещении подошвы выработок с почвой обрабатываемого пласта большая часть площади шахтного поля в пределах первой очереди блока 10 имеет средневзвешенную прочность почвы выработки 18 – 26 МПа, что неприемлемо с точки зрения применения литой полосы в качестве охранного сооружения конвейерных штреков позади лавы. Полоса, имеющая прочность на сжатие 40 МПа и более будет вдавливаться в слабые породы почвы и провоцировать их пучение, что снижает эффективность работы охранного сооружения. Последующие пробы показали, что по мере увеличения подрывки прочность почвы постепенно увеличивается и при достижении величины подрывки 1,2 м средняя прочность почвы практически стабилизируется на приемлемом уровне 36-50 МПа. Именно при такой величине подрывки выполняется дальнейший анализ.

На рис. 4 показана карта распределения средневзвешенной (для краткости средней) прочности воздушносухой кровли выработки высотой 3,65 м, шириной 6м и с величиной подрывки почвы 1,2 м. Важно, что пакет Surfer, с помощью которого построена карта, дополнительно усредняет стохастические данные испытаний механических свойств вмещающих пород на основе вычисления показателей вариограмм. Видно, что в пределах первой очереди блока 10 средняя прочность кровли выемочной выработки будет изменяться от 40 до 90 МПа, то есть более чем в два раза. Это свидетельствует об особой актуальности предрасчета величины смещений на контуре выемочных выработок при проектировании технологии отработки указанных запасов. Такие расчеты позволят выявить проблемные участки, на которых сложно обеспечить устойчивость выемочных выработок. Кроме того, разработанная методика позволит выбрать и количественно оценить рациональные способы и параметры охраны выемочных выработок.

Точки на карте с наиболее неблагоприятными условиями поддержания выработки определялись путем дигитализации мест с минимальной средневзвешенной прочностью кровли, почвы и боков выработки в воздушносухом и водонасыщенном состоянии. Затем эти точки наносили на общую карту и определяли места, где наблюдалось максимальное количество наложений. Таким образом, была объективно определена скважина, характеризующая стратиграфический разрез с наименее благоприятными условиями для поддержания подготовительной выработки. Визуально, с помощью экспертов эту скважину обнаружить не удалось.

Несмотря на то, что в районе этой скважины и в кровле и в почве располагаются мощные слои песчаника плитчатого, его прочность на одноосное сжатие в основном ниже средней прочности сланца песчаного. По-видимому, это объясняется особой «плитчатой» структурой данного песчаника. Следует отметить, что в данной точке вынимаемая мощность составляет 1,95 м, поскольку вынимаемый пласт будет состоять из трех пачек: угля мощностью 1,1 м, углистого сланца мощностью 0,5 м и угля мощностью 0,35 м. Прочность отдельных слоев приведена с учетом выхода керна и коэффициентов размокания. Таким образом, все основные геологические факторы (вынимаемая мощность и прочность вмещающих пород) характеризуют условия поддержания выработки как неблагоприятные. Тот факт, что в качестве неблагоприятных условий выявлен песчаник, свидетельствует о правильности выбранного подхода и методики исследований. Если бы представителя неблагоприятных условий искали среди сланцев, истинный минимум не был бы найден.

Анализ разреза, отобранного как типичного представителя средних условий поддержания показывает, что найден действительно типичный представитель такого класса вмещающих пород. Так средняя прочность пород кровли и почвы колеблется в пределах 50-87 МПа, а вынимаемая мощность составляет 1,5 м. Чем меньше вынимаемая мощность пород, тем меньше величины оседаний кровли выработки позади лавы. На первый взгляд, кажется, что пример, в котором одновременно со средней

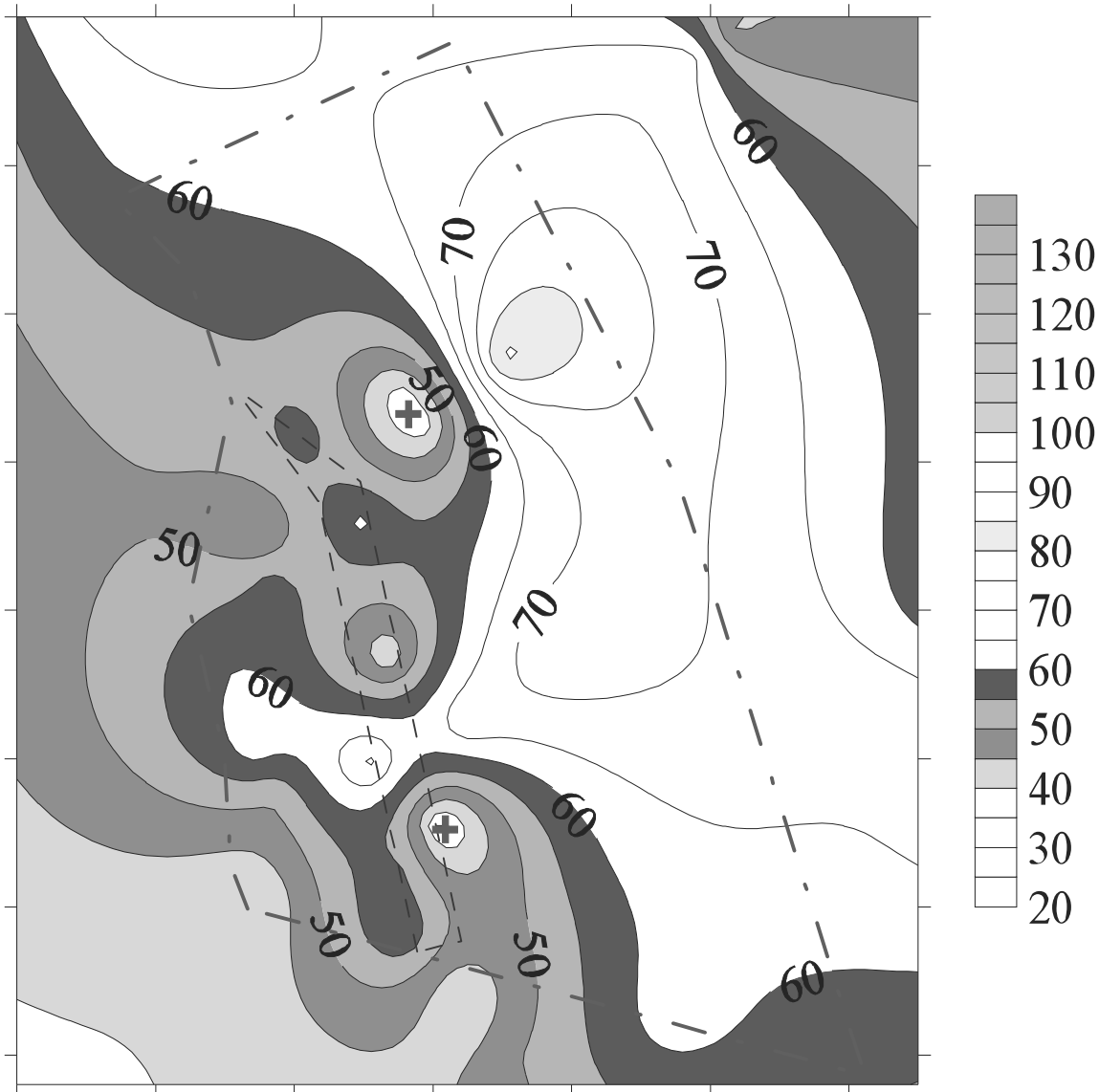


Рис. 4. Пример распределения прочности пород кровли в воздушносухом состоянии

прочностью выловлена средняя вынимаемая мощность, является случайной удачей. Однако анализ показывает, что это закономерность, которая просто объясняется. Чем меньше вынимаемая мощность пласта, тем больше слоев кровли и почвы будет попадать в бока выработки. Это означает, что при средней вынимаемой мощности часть наиболее тонких и слабых породных прослоев неизбежно попадает в бока выработки, которые не так критичны с точки зрения ее устойчивости по сравнению с кровлей и почвой. И наоборот, при большой вынимаемой мощности шанс

тонких прослоев слабых пород попасть в кровлю и почву возрастает, что и произошло в случае выбора неблагоприятных условий. Одновременно с этим, чем больше вынимаемая мощность, тем больше сдвигения пород не только впереди лавы (за счет ослабления кровли и/или почвы), но и позади нее (из-за большой высоты оседания кровли и возможного поднятия почвы в зоне активных сдвижений). Другим словами тот факт, что в неблагоприятные условия автоматически попала большая вынимаемая мощность пласта, а средние условия - средняя мощность закономерен.

Для обеспечения удовлетворительной устойчивости выемочных выработок на участках с неблагоприятными горно-геологическими условиями поддержания планируется применение следующих мероприятий: использование усиленных литых полос, комбинированных рамно-анкерных крепей совместного сопротивления, а также методов локальной разгрузки боков выработки с помощью разгрузочных щелей. Дальнейшим исследованием предусматривается выбор и геомеханическое обоснование рациональных параметров предлагаемых технологий.

ВЫВОДЫ

В условиях существенного разброса механических свойств вмещающих пород сглаживание стохастической неоднородности результатов испытаний достигается несколькими этапами усреднения. Принцип усреднения построен на привязке породных слоев к сечению выработки, которая планируется к проведению. При этом усреднение вначале осуществляется по отдельным стратиграфическим колонкам с учетом расстояния породных слоев относительно центра подготовительной выработки, а затем по площади блока, подготовленного к отработке. Такой подход имеет значительные преимущества по сравнению с усреднением механических свойств по отдельным слоям без привязки их к положению сечения горной выработки.

Список литературы

1. Методические указания. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. КД 12.01.01.201-98. УкрНИИМИ. 1998. – 149 с.

2. Hamid Maleki ROCK MECHANICS STUDY OF LATERAL DESTRESSING FOR THE ADVANCE-AND-RELIEVE MINING METHOD// Proc/ 34 Int Conf jn Groyund Control in Mining.-WVU, Morgantown, 2012. Pp.214-219.

3. Имас А.Д., Писарев Н.Ф., Николаев А.Ф. Прогнозирование физико-механических свойств и разрушаемости углей и вмещающих пород Донецкого бассейна//Уголь Украины, №1, 1966.- С. 12-14.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Ю.М.Хадімендиком

Н.А. Колеснік

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

О.О. Яйцов

ЗАТ «Донецький металургійний завод «Донецьксталь», м. Донецьк

Розроблено методику кількісної оцінки умов для підтримання виїмкових виробок з урахуванням природного розкиду механічних властивостей масиву. Методика враховує всі наявні дані про випробування порід на міцність, та положення перерізу виробок відносно вугільного пласта, що виймається.

Ключові слова: стохастичний розкид, фізико-механічні властивості гірських порід.

N.A. Kolesnik

Donetsk National Technical University, Donetsk

A.A. Yaitsov

JSC "Donetsk Metallurgical Plant "Donetsksteel", Donetsk

New method for entries stability assessment has been developed and tested. This method uses all experimental data concerning rock strength and position of a roadway relatively coal seam bottom.

Keywords: stochastic variation, physical and mechanical properties of rocks.