



В.В. Гетман
ОАО СУЭК-Кузбасс
заместитель технического директора
по землепользованию и лицензированию
getmanvv@suek.ru



С.В. Шаклеин
д-р техн. наук
эксперт России по недропользованию
Институт вычислительных технологий СО РАН
ведущий научный сотрудник
svs1950@mail.ru

Оценка анизотропии мощности угольных пластов

На основе использования эксплуатационных данных оценены погрешности определения характеристик анизотропии мощности угольного пласта по данным геологоразведочных скважин и шахтных измерений в подготовительных выработках. Даны рекомендации, позволяющие надежно определять характеристики анизотропии мощности пласта до начала ведения очистных работ и использовать их для проектирования сетей шахтных измерений в выемочном контуре

Through the use of operational data there were estimated the errors of determining characteristics of anisotropy capacity of coal seam according to exploration wells and data mining measurements in development workings. The recommendations which permitted reliable definition of characteristics of anisotropy formation thickness before conducting extraction operations and use them for network design of mining measurement circuit are presented

Ключевые слова: оценка анизотропии, мощность пласта

Keywords: estimation of anisotropy, seam thickness

Одним из основных подсчетных параметров угольных месторождений является мощность пласта, характер выдержанности которой в рамках установленной группы сложности геологического строения месторождения определяет плотность и конфигурацию проектируемой разведочной сети [3]. Вполне логично предположить, что для обеспечения равномерной степени разведанности предназначенного к отработке фрагмента участка недр конфигурация разве-

дочной сети должна учитывать анизотропию мощности, т.е. иметь наибольшую плотность сети по направлению ее максимальной изменчивости. Вероятно, что впервые на необходимость учета анизотропии при проектировании сетей точечных измерений признаков указал в 1948 г. Д.А. Казаковский, который считал, что «в общем наиболее рациональной формой сетки нужно считать такую, при которой показатель изменчивости, вычисленный по всем направлениям разведочных линий, имеет

приблизительно одно и то же значение. Когда интенсивность изменчивости показателей неизвестна, по необходимости приходится пользоваться квадратной сеткой» [1].

Существующие методические рекомендации [3] не предусматривают необходимости учета анизотропии мощности при проектировании разведочных сетей даже на участках детализации (например, при уточнении контуров размывов, замещений и т.п.). Однако критиковать такой подход можно только в условиях доказанной возможности установления характеристик анизотропии мощности по данным геологоразведочных работ.

Значительно более важен учет анизотропии при формировании сетей шахтных измерений мощности, ориентированных на определение количества добытого угля по чистым угольным пачкам. Результаты такого подсчета ныне коренным образом изменили свой правовой статус, поскольку стали основой для определения размера налога на добычу угля. Поэтому в современном правовом поле точность определения объема добычи угля должна быть значимо выше точности подсчета запасов, тогда как ранее она могла быть сопоставима с ней, что было обусловлено использованием результата определения добычи лишь в целях учета движения запасов.

Существующие нормативные требования к сетям замеров мощности в горных выработках добывающих предприятий явно исходят из предположения о том, что мощность пласта по направлению его простирания изменяется более интенсивно, чем по падению. Особенно ярко это проявляется при формировании сетей замеров в выемочных столбах угольных шахт. Так, последние из выпущенных нормативных рекомендаций по производству маркшейдерских замеров [4] предусматривают, что расстояние между замерами мощности вдоль выемочного столба (преимущественно ориентированного по простиранию пласта) должно превышать расстояние между замерами по линии очистного забоя (преимущественно ориентированного по падению) в зависимости от выдержанности пластов в 2,5–10 раз. Насколько справедливы подобные предположения, можно установить только по результатам натуральных измерений. Следует отметить, что существовавшие до введения в действие норматива [4] подходы рекомендовали производить измерения в шахтах по квадратной сети с расстоянием между точками измерений 15–20 м [2].

Для получения ответа на поставленные вопросы были выполнены исследования харак-

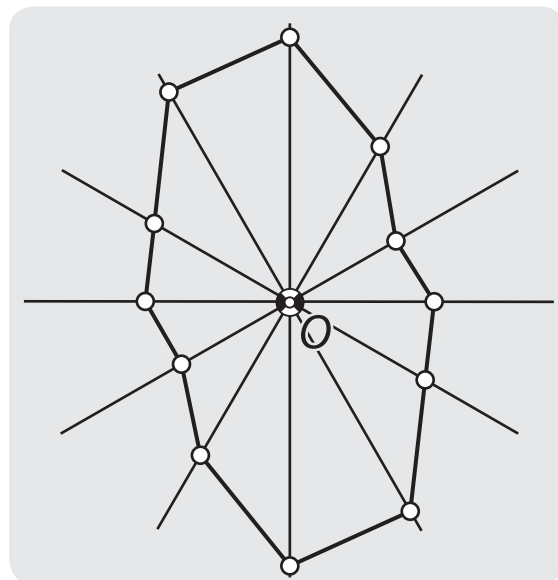
тера проявления анизотропии мощности по группе уже отработанных выемочных столбов шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Для оценки анизотропии использовался несколько модифицированный метод Л.И. Четверикова [5] ориентированный на работу с моделью изменения признака, представленной системой изолиний. Л.И. Четвериков исходил из того, что всесторонняя характеристика анизотропии может быть получена при помощи построения предлагаемой им индикатрисы анизотропии – воображаемой вспомогательной эллипсовидной замкнутой ломаной, выражающей изменчивость параметра по различным направлениям внутри геологического объекта. Графической основой для построения индикатрисы является серия равновеликих направлений с равными углами между ними φ (рис. 1).

Выбрав необходимый масштаб, вдоль каждого из направлений от центра индикатрисы O откладывается, соответствующие им величины показателя изменчивости. В качестве такого показателя Л.И. Четвериковым используется средняя величина первых разностей между значениями признака по избранному направлению радиус-вектора.

Методика построения индикатрисы анизотропии Л.И. Четверикова сводится к тому, что на анализируемый фрагмент топографической поверхности (рис. 2а) накладывается сетка параллельных линий, центр которой совпадает с положением «точки» измерения анизотропии (точки O). Затем определяется показатель изменчивости, соответствующий

Рис. 1.
Индикатриса анизотропии



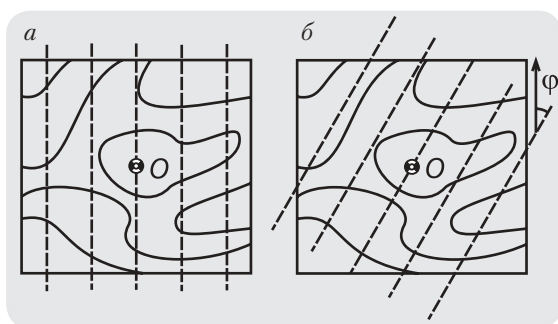
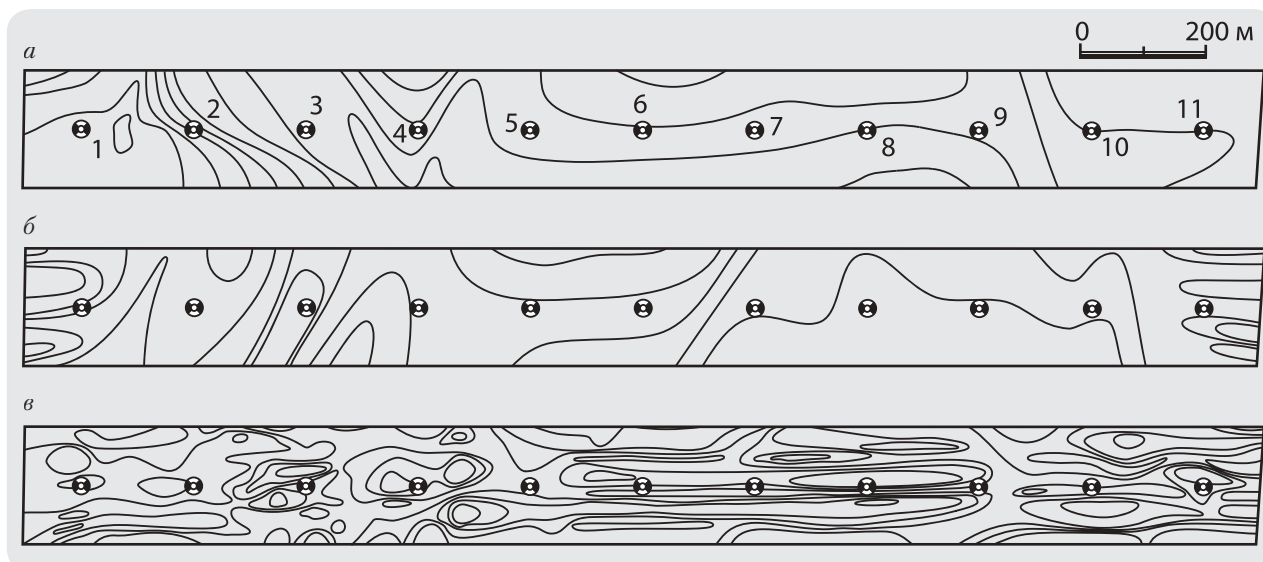


Рис. 2.
К оценке анизотропии по методу Л.И. Четверикова

данной ориентации палетки. После этого палетка поворачивается на угол ϕ и вычисляется показатель изменчивости, отвечающий новому ее положению и т.д. По результатам расчетов отстраивается индикатриса анизотропии.

Сущность модернизации такого подхода состояла в использовании в качестве показателя изменчивости числа пересекаемых всеми линиями палетки изолиний, что совершенно корректно в условиях обеспечения неизменности длин этих линий и использования единого сечения изолиний. Кроме того, многоугольник индикатрисы аппроксимировался эллипсом (аналог используемой в геостатистике диаграммы геометрической анизотропии [6]), отклонение большей оси которого от меридиана и отношение длины большей оси к малой были приняты в качестве основных характеристик анизотропии.

Рис. 3.
Изолинии мощности пласта Байкаимский в выемочном столбе № 1306, построенные по данным измерений в скважинах (а), в подготовительных выработках (б) и в очистном пространстве (в)



Методика исследований анизотропии мощности в выемочных столбах сводилась к следующему.

Для каждого выемочного столба выполнялось построение изолиний мощности (при одинаковом сечении изолиний) по трем группам данным.

Во-первых, по результатам измерения мощности в скважинах. Достигнутая плотность разведочной сети в пределах исследуемых контуров оценки соответствовала требованиям категории А, т.е. в соответствии с [3] обеспечивала правомерность интерполяции мощностей пласта между скважинами, а, следовательно, и построение изомощностей.

Во-вторых, по замерам, расположенным в подготовительных штреках, в монтажных и в демонтажных камерах (расстояние между замерами вдоль выработок 30–40 м, между штреками – порядка 200 м).

И, в-третьих, по сети измерений, выполненных внутри очистного контура (по прямоугольным сеткам со сторонами от 20 до 40 м).

Понятно, что с наибольшей точностью топографическая поверхность мощности пласта отображается при использовании третьего варианта исходных данных.

В качестве примера на **рис. 3** и **4** изображены результаты геометризации мощности в контуре соседних, но имеющих различную протяженность выемочных столбов № 1306 и № 1308 пласта Байкаимский поля шахты «Красноярская». Сразу отметим, что иллюстрируемые этими рисунками последующие выводы полностью подтверждаются исследованиями, выполненными по материалам пластов Бреевский и Емельяновский Ленинского рудника.



Рис. 4.
Изолинии мощности пласта Байкаимский в выемочном столбе № 1308, построенные по данным измерений в скважинах (а), в подготовительных выработках (б) и в очистном пространстве (в)

Визуальный анализ **рис. 3в** и **4в** указывает на то, что положенное в основу рекомендаций [4] предположение о наибольшей изменчивости мощности по направлению простирания (по направлению движения очистного забоя) явно не является универсальным. Для условий рассматриваемых выемочных столбов наибольшее изменение мощности фактически происходит по направлению падения пласта. Сопоставление результатов геологоразведочных и очистных работ (**рис. 3а** и **3в**, а также **4а** и **4в**) показывает, что первые дают весьма приближенные представления о характере изменения мощности, которые, тем не менее, примерно на половине-трети площади адекватно отражают характер поведения изолиний мощности.

Неожиданно, но использование результатов измерений мощности только по подготовительным выработкам, несмотря на их значительное количество, не только не повышает качество изучения мощности в сравнении с материалами геологоразведочных работ (**рис. 3б** и **3в**), но и может приводить даже к его снижению (**рис. 4б** и **4в**). Это разрушает сложившуюся в советский период и продолжающую действовать в настоящее время точку зрения, состоящую в признании информационной неэффективности размещения дополнительных разведочных скважин в теле выемочных столбов. В настоящее время, когда расстояния между подготовительными штреками возросли в 2–3 раза, получить достоверную информацию о геологии выемочных

столбов при отсутствии внутри них геологоразведочных скважин уже невозможно. Это еще раз подтверждает необходимость организации на угольных месторождениях работ по опережающему геологическому изучению недр, которые пока реально не выполняются, несмотря на существующие требования горного федерального законодательства.

Для количественной оценки параметров анизотропии мощности и геометрических закономерностей ее изменения в пределах контуров выемочных столбов были выбраны равномерно размещенные «точки» наблюдений, для которых выполнялось построение индикатрис анизотропии описанным выше способом. Это «точки» показаны на **рис. 3** и **4** условными знаками (11 «точек» для столба № 1306 и 16 – для более протяженного столба № 1308).

На **рис. 5** приведены графики, отражающие характер изменений отклонений направления большой оси индикатрисы (направления, вдоль которого изменение мощности максимально) от условного меридиана ($\Delta\alpha$), совпадающего с ориентацией линии очистного забоя. Отклонения против направления движения часовой стрелки рассматривались при этом как положительные, по направлению ее движения – как отрицательные.

Рис. 6. характеризует изменение отношений длины малой оси к большой (k), т.е. изменение значимости анизотропии.

Анализ графиков (**рис. 5, 6**) показывает, что на стадии геологоразведочных работ невозможно надежно оценить характеристики анизотропии мощности пласта, что исключает целесообразность ее учета в целях «тонкой настройки» параметров разведочной сети под локальные условия конкретных геологических объектов. Таким образом, изложенный

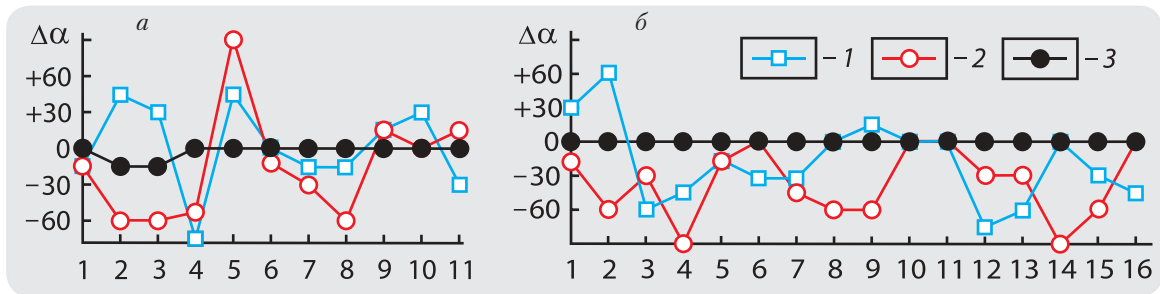
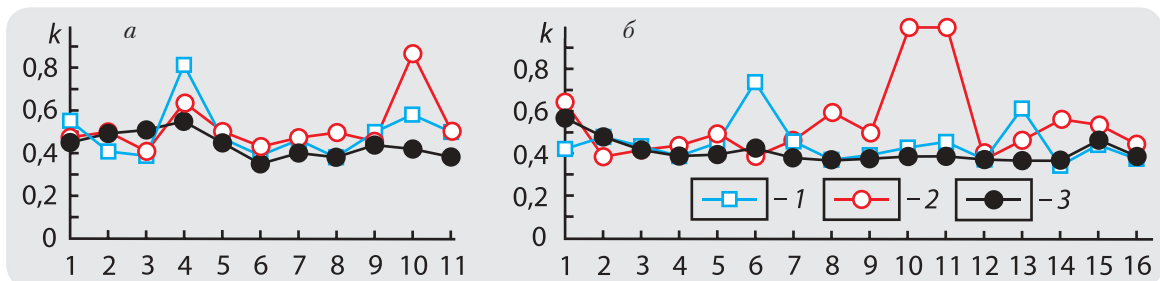


Рис. 5.
Изменение ориентации больших осей эллипсов индикатрис анизотропии мощности по выемочным столбам № 1306 (а) и № 1308 (б) пласта Байкаимский, построенных по данным измерений в скважинах (1), в подготовительных выработках (2) и в очистном пространстве (3)

в методических рекомендациях [3] подход к определению плотности сети скважин только по уровню выдержанности мощности является абсолютно справедливым.

Однако применительно к проектированию сетей шахтных измерений мощности игнорирование ее анизотропии уже не допустимо. Хотя погрешность определения ее характеристик на стадии подготовки выемочных столбов и сопоставима с погрешностями, наблюдаемыми при использовании геологоразведочных данных, но во всех проанализированных выемочных столбах наблюдается одна общая закономерность. Она состоит в том, что в первой и в последней точках наблюдений всегда имеет место вполне удовлетворительная сходимость между характеристиками анизотропии, полученными по данным замеров в подготовительных штреках с их «истинными» значениями, установленными на основании использования замеров в очистном пространстве. Причина этого совершенно ясна – наличие линий замеров в перпендикулярных к штрекам выработках –

Рис. 6.
Изменение отношения длин малых и больших осей эллипсов индикатрис анизотропии мощности по выемочным столбам № 1306 (а) и № 1308 (б) пласта Байкаимский, построенных по данным измерений в скважинах (1), в подготовительных выработках (2) и в очистном пространстве (3)



в монтажных и в демонтажных камерах. Аналогичные результаты наблюдаются и при наличии в теле столба диагональных вентиляционных печей.

Следовательно, при оценке анизотропии мощности по результатам измерений в подготовительных выработках построение индикатрис анизотропии следует осуществлять только в зонах, приуроченных к местам расположения секущих выемочный столб выработок.

В целом, проведенные исследования позволяют утверждать, что проектирование сети шахтных измерений мощности пласта, используемой для определения объема добычи угля по чистым угольным пачкам в целях определения размера НДС, не может быть выполнено по геологоразведочным данным. В связи с этим указывать конкретные характеристики такой сети в разделе «Геолого-маркшейдерское обеспечение предприятия» проектной документации угледобывающих предприятий и в проектной документации на производство маркшейдерских работ (выполняемой в соответствии с требованиями «Инструкции по производству маркшейдерских работ» РД 07-603-03) совершенно не допустимо. Это, к сожалению, явно затрудняет работу органов Росприроднадзора, осуществляющих государственный геологический контроль достоверности данных, необходимых для расчета платежей за пользование недрами при добыче полезных ископаемых.

Однако после завершения подготовки выемочного столба возникает возможность достоверной оценки анизотропии мощности по фрагментам ее горно-геометрической модели, примыкающим к монтажной и демонтажной

камерам и к диагональным вентиляционным печам. Используя полученные характеристики анизотропии, можно формировать предложения по рациональным соотношениям расстояний между маркшейдерскими замерами мощности пласта, выполняемыми по направлению линии груди очистного забоя и по направлению его движения. Данное отношение должно устанавливаться для каждого выемоч-

ного столба индивидуально до начала ведения очистных работ и при проверках представляться органам Росприроднадзора.

Отметим, что для условий рассматриваемого примера расстояние между замерами вдоль очистного забоя должно быть в два раза меньше, чем вдоль штреков, и кардинально отличается от формально «универсальных» рекомендаций норматива [4].

Литература

1. Казаковский Д.А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов месторождений / Казаковский Д.А. М.: Углетехиздат Западугля. 1948. 108 с.
2. Казаковский Д.А. Маркшейдерское дело / Д.А. Казаковский, С.Г. Авершин, А.Н. Белоликов, М.И. Гусев, В.Г. Зданович, Г.А. Кротов, В.Н. Лавров, К.М. Лебедев, М.П. Пятлин, Н.И. Стенин. М.: Углетехиздат. 1959. 688 с.
3. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (угли и горючие сланцы). Утв. распоряжением Минприроды России № 37-р от 05.06.2007. М. 2007. 31 с.
4. Методические указания по производству замеров горных выработок и определению (учету) объемов подземной добычи угля в зависимости от способов добычи и транспортировки (Минуглепром СССР, ВНИМИ). Л. 1989. 44 с.
5. Четвериков Л.И. Оценка анизотропии наблюдаемой изменчивости параметров тел полезных ископаемых / Л.И. Четвериков // Известия вузов. Горный журнал. 1972. № 4. С. 36-40.
6. Armstrong, M. Basic Linear Geostatistics / M. Armstrong. Berlin: Springer Verlag. 1998. 153 p.



АК «АЛРОСА» (ОАО)

**ПРОВОДИТ
ОТКРЫТЫЙ КОНКУРС
ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
В ОБЛАСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
в 2013 г.**

ВАШИ ИДЕИ ЖДЕТ ДОСТОЙНОЕ ВОЗНАГРАЖДЕНИЕ

**500 000 руб. - 1 место;
300 000 руб. - 2 место (2 премии);
200 000 руб. - 3 место (2 премии);
50 000 руб. - поощрительные премии (4 премии).**

Заявки на конкурс принимаются до 15 августа 2013 г.

*Положение о конкурсе размещено на сайтах www.alrosa.ru
в разделе «Наука и проектирование» и www.ynalrosa.ru.*

**ЖДЕМ СМЕЛЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ С ВЫСОКОЙ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ!**