

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.142.5:004.42

С.В. Шаклеин, В.В. Гетман

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ АНИЗОТРОПИИ МОЩНОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И ЕГО ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В связи с вступлением в силу поправки в Налоговый кодекс, предусматривающей взимание налога за добычу угля с каждой извлеченной их недр тонны по фиксированной ставке, коренным образом изменился правовой статус маркшейдерского замера добычи по чистым угольным пачкам. Ранее результаты замера использовались при осуществлении государственного учета движения запасов и решения ряда корпоративных задач.

Новый статус замера требует использования жесткой методики маркшейдерских измерений мощности пласта в контуре отрабатываемого выемочного столба, обеспечивающей достоверность данных, необходимых для расчета платежей за

тикалльная) анизотропия для них не имеет принципиального значения

Собственно анизотропию мощности в контуре выемочного столба возможно оценить только геометрическими методами, поскольку использование геостатистических подходов невозможно, т.к. предполагает необходимость исследования характера вариограмм не менее чем по четырем различным направлениям [2]. Вместе с тем, следует обратить внимание на геостатистическую идею описания анизотропии с помощью эллипса анизотропии [2], которая, в целом, согласуется с отечественными горно-геометрическими представлениями.

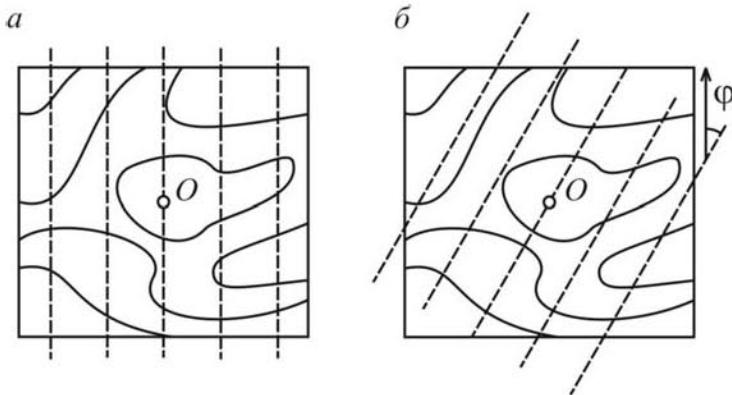


Рис. 1. К оценке анизотропии по методу Л. И. Четверикова

пользование недрами при добыче полезных ископаемых. Характер сети измерений мощности, определяемый системой горных выработок, предполагает прямоугольную ее конструкцию. Соотношение длин ее сторон явно должно соответствовать параметрам анизотропии геополя мощности пласта.

В связи с этим разработка методики оценки анизотропии мощности пласта в контуре выемочного столба является актуальной задачей, не имеющей в настоящее время общепризнанного решения.

На практике используют несколько простых моделей анизотропии: геометрическая и зональная. Для условий угольных месторождений вполне достаточно ограничиться учетом только геометрической анизотропии, поскольку зональная (вер-

К числу наиболее разработанных методов геометрического подхода следует отнести предложение Л. И. Четверикова [1], который исходит из того, что всесторонняя характеристика анизотропии может быть осуществлена при помощи построения предлагаемой им индикаторы анизотропии – воображаемой вспомогательной поверхности, выражающей изменчивость параметра по различным направлениям внутри объекта. Каждый радиус-вектор такой индикаторы геометрически в некотором масштабе пропорционален значению координированной изменчивости признака в направлении этого радиуса-вектора. Собственно показателем изменчивости полагается средняя величина первых разностей между значениями признака по избранному направлению радиуса-вектора. В отличие от традиционных разностных

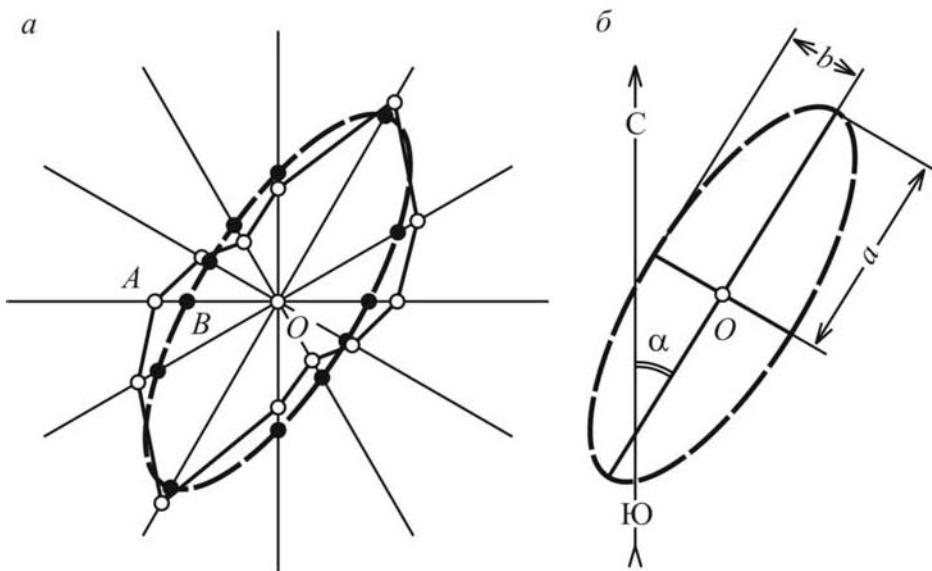


Рис. 3. Принцип аппроксимации индикатрисы анизотропии эллипсом

методов, Л. И. Четвериков предлагает использовать не данные в точках производства замеров, а полученные в результате геометризации признака его топографические поверхности представленные в виде системы изолиний.

Собственно методика построения индикатрисы анизотропии Л. И. Четверикова сводится к тому, что на анализируемый фрагмент топографической поверхности (рис. 1) «набрасывается» палетка – сетка параллельных линий (пунктирные линии на рис. 1), центр которой совпадает с положением «точки» измерения анизотропии (точкой O).

Для каждой линии палетки определяется ее длина l_i , находящаяся в пределах контура оценки и подсчитывается количество интервалов между изолиниями на плане, пересекаемое всеми линиями палетки при данной ее ориентировке – величина n .

Полагая, что величина сечения изолиний K , при котором выполнено их построение постоянным, рассчитывается величина показателя изменчивости

$$I = K \frac{n}{\sum l_i}. \quad (1)$$

Величина этого показателя полагается соответствующей направлению ориентации линий палетки.

Затем все линии палетки разворачиваются на угол ϕ (рис. 1б) и определяется показатель изменчивости I , соответствующий данной ориентации палетки. После этого палетка вновь поворачивается на угол ϕ и вычисляется новое значение показателя изменчивости. Разворот палетки осуществляется до тех пор, пока общий угол ее поворота не составит 180° .

По завершению описанных действий, осуществляется построение индикатрисы анизотропии.

Основой для построения индикатрисы является серия равновеликих направлений, формирующих сектора, угол между которыми равен ϕ (рис. 2). Выбрав необходимый масштаб, вдоль каждого из них от центра индикатрисы O откладывается соответствующее направлению величина показателя изменчивости.

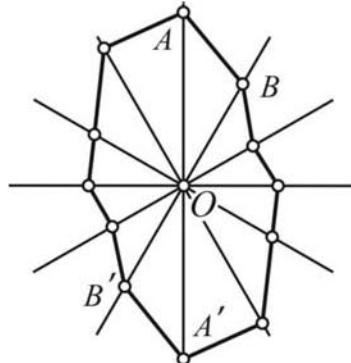


Рис. 2. Индикатриса анизотропии

В результате этих действий на каждом направлении будут нанесены две точки. На рис. 2 точки A и A' соответствуют показателю изменчивости по направлению «юг – север», B и B' – направлению под углом ϕ . Собственно индикатриса представляет собой многоугольник, соединяющие все нанесенные на нее точки.

Для упрощения процедуры оценки показателя анизотропии I предлагается использовать квадратную палетку с длиной диагонали, равной наименьшему расстоянию между подготовительными штреками. При вращении такой палетки вокруг центра O все ее линии будут постоянно находиться внутри контура выемочного столба.

Поэтому, при условии постоянства сечения изолиний, при ее применении показатель анизотропии Л. И. Четверикова, вычисляемый по реко-

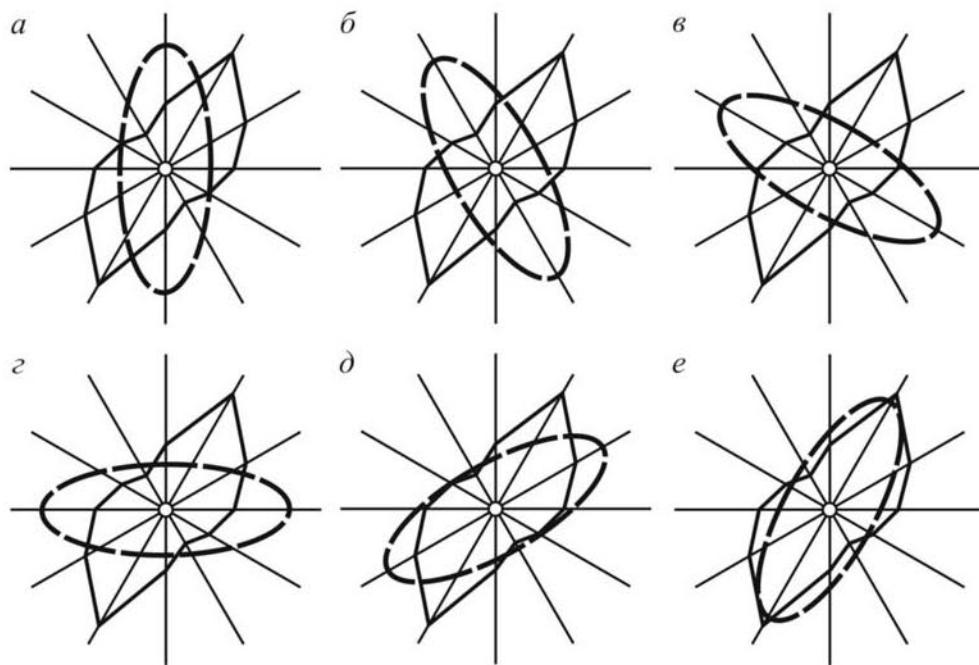


Рис. 4. Возможные направления расположения большой оси аппроксимирующего эллипса при угле между лучами индикаторы, равном 30°

мендаемой формуле (1) при любом угле ее поворота ϕ будет равен:

$$I = tm, \quad (2)$$

где $t = \frac{K}{\sum l_i} = \text{const}$ – отношение сечения изолиний к суммарной длине линий палетки; n – суммарное количество изолиний, пересекаемых линиями палетки.

Поскольку, при оценке анизотропии необходимо ориентироваться на соотношения значений ее показателей по различным направлениям, то, учитывая постоянство коэффициента пропорциональности t , в качестве эквивалентного показателя может быть использовано только число n пересечений линий палетки изолиниями.

Апробированные геостатистической практикой представления о геометрической (эллиптической) анизотропии наталкивают на очевидную мысль о том, что построенную индикаторису анизотропии следует аппроксимировать эллипсом, сгладив, тем самым, отдельные частные колебания оценок по направлениям. Такую аппроксимацию следует рассматривать в качестве метода математической обработки индикаторис.

Собственно аппроксимацию предлагается осуществлять с помощью метода наименьших квадратов.

На рис. 3 представлена индикаториса анизотропии и аппроксимирующий ее эллипс (рис. 3.2a), параметры которого характеризуются ориентировкой его главной оси a и длинами большой и малой полуосей – a и b (рис. 3б).

В качестве условия определения трех характе-

ризующих аппроксимирующий эллипс параметров (угла α и полуосей a и b) предлагается условие:

$$S = \sum_{i=1}^k (n_i - m_i)^2 = \min, \quad (3)$$

где n_i и m_i – соответственно, длина i -го луча индикаторисы анизотропии (количество пересечений изолиний линиями палетки) и расстояние между центром и аппроксимирующим эллипсом по направлению i -го луча; k – количество лучей.

Отыскание значений параметров α , a и b путем аналитического решения уравнения (3) никем ранее не производилось и, безусловно, является достаточно сложной задачей. Учитывая строго дискретный характер используемых данных (постоянное число лучей индикаторисы и углов между ними) и возможности, представляемые современной вычислительной техникой, поставленная задача была решена численным методом.

Разработанный алгоритм ее решения состоит в следующем.

Во-первых, выделяются все возможные направления расположения большой оси аппроксимирующего эллипса. При угле между лучами индикаторис в 30° выделяется шесть (рис. 4), а при 15° – 12 таких направлений.

Во-вторых, каждый из выделенных вариантов положения главной оси рассматривается индивидуально. Рассмотрение имеет целью определение конкретных значений длин полуосей a и b , для которых выполняется условие (3).

Поиск осуществляется методом перебора возможных значений полуосей. В качестве их максимально возможного значения принимается макси-

мальная наблюдаемая на индикаторе величина n_i . Минимально возможная длина полуосей принимается равной 1 (линии палетки пересекли только одну изолинию). Шаг перебора принимается равным 1.

Для каждого задаваемого в указанном диапазоне значения полуоси a рассматриваются все возможные величины полуоси b . Для каждой комбинации значений a и b по формуле (3) рассчитывается сумма квадратов отклонений S .

В ходе формирования вариантов возможных значений a и b возникают и такие, для которых $b > a$. Понятно, что они некорректны по своей сути и для них расчет суммы S просто не производится.

Для каждого рассматриваемой величины a , зависимость получаемой суммы S от b имеет характер функции, обладающей только одним экстремумом. Это создает возможность ограничения рассматриваемой совокупности полуосей b , т. е. сокращения объема перебора. Однако скорость современных рядовых средств вычислительной техники такова, что достигаемое сокращение времени расчетов совершенно не заметно, а, следовательно, и малозначимо.

Расчет величин m_i предлагается выполнять по формуле:

$$m_i = \sqrt{\frac{b^2}{1 - e^2 \cos^2 \varphi}},$$

где e – эксцентриситет эллипса.

В результате расчетов для каждого j -го варианта сочетаний возможных значений полуосей a и b для рассматриваемого варианта ориентации главной оси эллипса определяются значения суммы S . В качестве полуосей ориентированного под углом α эллипса выбираются те, при использовании которых сумма S была минимальна.

И, наконец, проводя указанные вычисления

для всех возможных вариантов ориентации эллипса, из всей совокупности значений полуосей выбирается та, для которой сумма S минимальна. Полученные таким образом полуоси и ориентация эллипса являются параметрами эллипса, аппроксимирующего индикатору анизотропии.

В качестве показателей описанной соответствующим эллипсом геометрической анизотропии предлагается использовать следующие основные характеристики.

Во-первых, ориентацию главной оси эллипса a , которая характеризует направления наибольшей изменчивости признака. А, во-вторых, отношение длины малой полуоси эллипса b к большой полуоси a .

Это отношение является характеристикой различий интенсивности изменения значений признака по направлению наибольшей и наименьшей изменчивости.

Геометрически, это отношения равно косинусу угла, на который необходимо повернуть плоскость проекции, в которой изображен эллипс, вокруг его большой оси так чтобы в новой проекции он превратился в окружность. Т. е. преобразовать координат так, чтобы анизотропное поле «превратилось» в изотропное.

Поскольку именно эта операция используется в геостатистике, то по аналогии с применяемой в ней терминологией отношение полуосей будем именовать отношением анизотропии и обозначать как

$$k = \frac{b}{a}.$$

Применительно к решаемой задаче возникает необходимость введения еще одного показателя анизотропии, а именно соотношение анизотропии признака по заданным ортогональным направлениям, а именно по направлению расположения

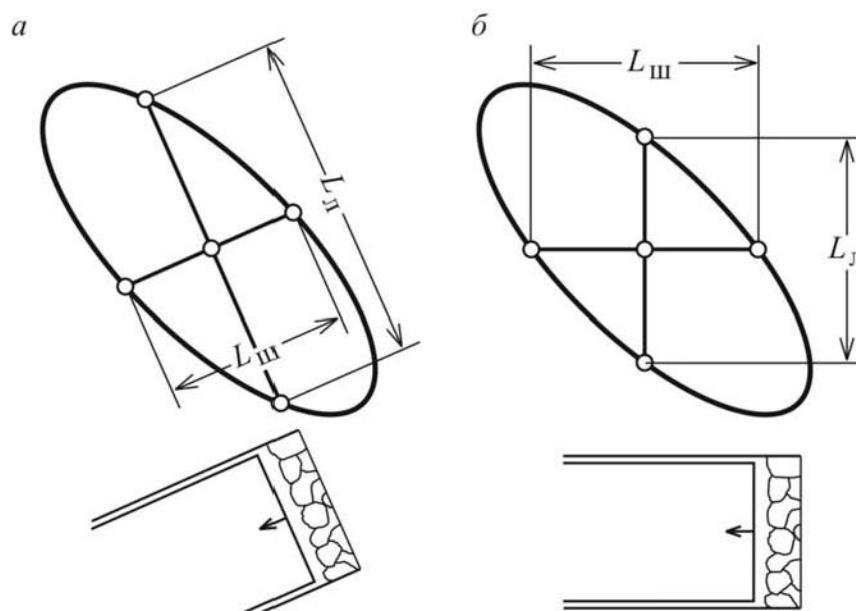


Рис. 5. Учет направления ведения горных работ

подготовительных и очистной выработок.

Необходимость введения такого показателя можно проиллюстрировать рис. 5. На нем изображено два совершенно одинаковых эллипса анизотропии, при различных направлениях ведения горных работ. Проводя через центр эллипсов направления, параллельные направлениям подготовительных штреков и линии очистного забоя, можно определить расстояния характеризующие степень анизотропии вдоль этих направлений.

Из рис. 5а следует, что скорость изменения признака вдоль направления очистного забоя почти в два раза выше, чем по направлению штреков. Отсюда следует, что для получения равноточных результатов по двум указанным направлениям измерений, сеть замеров по лаве должна быть примерно в два раза более густой, чем по штрекам.

При взаимной ориентации эллипса и горных выработок, имеющей место в условиях рис. 5б наблюдается равновеликая скорость изменения признака, как в направлении очистного забоя, так и в направлении штреков. Следовательно, плотность сети замеров в обоих направлениях может быть одинаковой.

Исходя из изложенного, требуется ввести еще один относительный показатель, который, в конце концов, и должен определять отношение интерва-

лов измерений между замерами в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Величину этого показателя, который, в связи с его зависимостью от технологических решений может быть условно назван технологическим отношением анизотропии, предлагается определять по формуле:

$$V = \frac{L_{\text{ш}}}{L_{\text{л}}},$$

где $L_{\text{ш}}$ и $L_{\text{л}}$ – проходящие через центр эллипса анизотропии расстояния между его токами, ориентированными, соответственно, вдоль подготовительных штреков и по линии очистного забоя.

Нетрудно заметить, что построение эллипса анизотропии является трудоемкой задачей, решение которой без применения средств вычислительной техники практически невозможно.

Разработанное программное обеспечение, оформленное в виде прикладной программы «ANIZ», реализует описанный выше алгоритм и снабжено рядом сервисных элементов, повышающих удобство работы. Вид панели программы представлен на рис. 6.

В левой части панели расположено графическое окно с координатной системой индикаторы анизотропии. В правой части – окна ввода тексто-

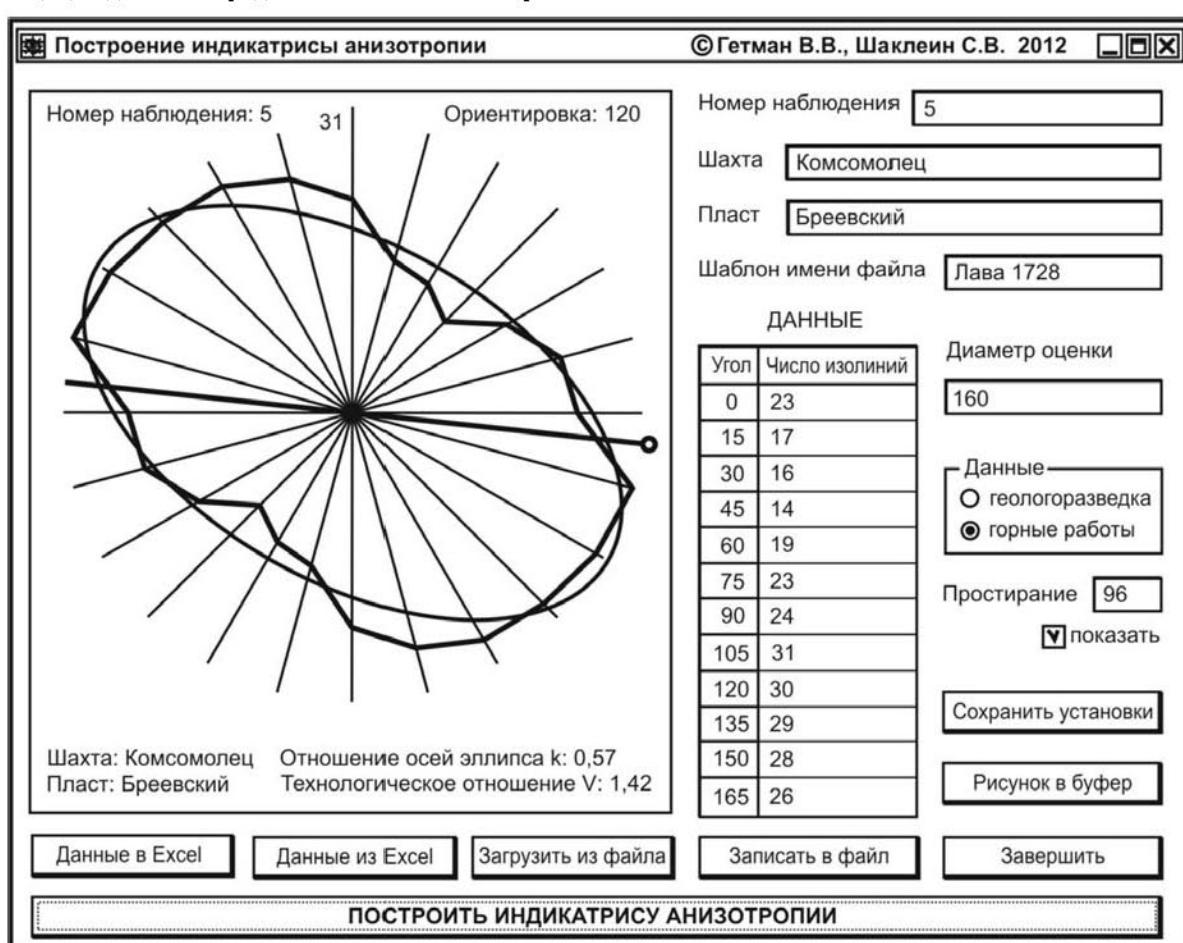


Рис. 6. Панель программы «ANIZ»

вой и числовой информации, а также управляющие кнопки.

Подготовка программы к работе состоит в заполнении общей, не имеющей обязательного характера информации, такой как наименование шахты (окно «Шахта»), пласта («Пласт») и диаметра оценки (длины диагонали палетки Л. И. Четверикова). С помощью переключателя «Данные» указывается, по каким данным была построена горно-геометрическая модель изменения мощности пласта – по данным разведки или по данным горных работ.

С помощью окна «Шаблон имени файла» пользователь может занести любую фразу, с которой будет начинаться автоматически генерируемое имя файла, в который будут записываться все введенные данные.

Все перечисленные данные могут быть записаны на диск для дальнейшего использования путем «нажатия» кнопки «Сохранить установки». При этом автоматически будет создан файл «anz.orcs», в котором общие данные будут сохранены. Файл формируется в том каталоге, в котором находится файл программы.

По завершению подготовки программы к работе в нее водятся исходные данные. Как это понятно из предыдущего текста, эти данные подготавливаются вручную с использованием плана горных работ, на котором показаны контуры выемочного столба и топографическая поверхность мощности пласта в изолиниях.

На план горных работ накладывается палетка Л. И. Четверикова таким образом, чтобы ее вертикальная ось совпадала с направлением на север. После этого подсчитывается суммарное количество пересечений изолиний всеми линиями палетки. Это целое число вводится в таблицу данных в колонку «Число изолиний» в строку соответствующую углу поворота палетки «0». Затем палетка разворачивается на 15° по направлению движения часовой стрелки и находится новое суммарное число пересечений, которое записывается в строку для угла 15° и т. д.

По заполнению данных о числе пересеченных

палеткой изолиний в окне «Простижение» указывается дирекционный угол (в принятой системе координат) направления подготовительных штревков в районе точки наблюдений.

Это направление может быть впоследствии показано на индикаторисе красной линией, заканчивающейся небольшой окружностью. Но ее построение производится только в случае, если на необходимость этого действия указывает наличие «птички» в окне «показать», размещенном под окном ввода дирекционного угла.

Помимо ввода данных по индикаторисе непосредственно в программе, возможен их импорт из табличного редактора «Excel». Для этого, сформированная в «Excel» колонка данных должна быть выделена и сохранена в буфере обмена.

После ввода данных пользователь получает возможность сохранить их на диске. Для этого служит кнопка «Записать в файл». Построение индикаторисы анизотропии производится программой после «нажатия» кнопки «Построить индикаторису анизотропии». После ее «нажатия» в графической части экрана появляется масштабное изображение индикаторисы с нанесением на нее аппроксимирующего эллипса и всех полученных результатов.

Экспорт полученного изображения в другие программные продукты осуществляется путем «нажатия» кнопки «Рисунок в буфер». Это обеспечивает помещение изображения в буфер обмена Microsoft Office, из которого его можно внедрить в документы текстовых, табличных и графических редакторов.

Реализованный программой «ANIZ» алгоритм позволяет выполнять все расчеты по оценке анизотропии мощности, необходимые для обоснования конструкции маркшейдерской сети измерения мощностей чистых угольных пачек пласта в контуре отрабатываемого выемочного столба представляемой органам Росприроднадзора, на которые возложены контрольно-надзорные функции за достоверность данных для расчета платежей за пользование недрами при добыче полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвериков, Л. И. Оценка анизотропии наблюдаемой изменчивости параметров тел полезных ископаемых / Л. И. Четвериков // Известия вузов. Горный журнал. – 1972. – № 4. – С. 36-40.
2. Armstrong, M. Basic Linear Geostatistics / M. Armstrong. – Berlin: Springer Verlag, 1998. – 153 p.

Авторы статьи

Шакlein

Сергей Васильевич,
докт. техн. наук, проф. каф.
маркшейдерского дела, кадастра
и геодезии КузГТУ, вед. научн.
сотр. Кемеровского филиала
ИВТ СО РАН.
E-mail: svs1959@mail.ru

Гетман

Валерий Валериевич,
зам. технического директора
по землепользованию и
лицензированию
ОАО «СУЭК-Кузбасс»
E-mail: getmanvv@suek.ru