Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.ХУШ, вып.2, 1975 г.

НАДЕЖНОСТЬ БУРОВОЙ РАЗВЕДКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В.Н.ВОЛКОВ

Выяснение реальных возможностей разведки залежей полезных ископаемых тесно связано с разработкой общих теоретических положений в этой области.

Изменчивость – природное свойство тел полезных ископаемых, которое выражается в неоднородности или непостоянстве их параметров. Достаточно полная оценка изменчивости какого-либо параметра залежи в пределах изучаемой площади включает: характер изменений; амплитуду и частоту колебаний; проявление координированных и нерегулярных колебаний разного ранга и масштаба; наличие анизотропии; соотношение с кондициями. В целом перечисленные элементы отражают тип, облик или, по Е.О.Погребицкому, структуру изменчивости залежи на площади.

К важнейшим параметрам угольных пластов относятся: мощность и строение, гипсометрия, зольность углей. В пределах шахтного (карьерного) поля можно выделить три главных типа пространственных моделей изменчивости угольного пласта. Эти модели одинаково применимы к каждому из названных параметров, но более наглядно могут быть показаны на примере мощности (рис. 1).

Пласт I имеет практически постоянную выдержанную мощность (a,с) или направленное ее изменение (b, d). Наблюдаемая волнистость параметров несущественна. Облик пласта в целом однороден. Элементы структуры (зональность, блоковость) намечаются при тренде (b) или у тонких пластов, стоящих на грани кондиции (с, d). Этой модели отвечают пласты, формировавшиеся в сравнительно стабильных условиях без существенных проявлений вторичных факторов.

Пласт II относительно изменчивый, с постоянной средней мощностью (a, с) или некоторым ее трендом (b, d). Характерны повсеместно ощутимые колебания признаков по амплитуде и частоте, что обуславливает не-

однородный, часто зональный или блоковый облик пласта на площади. Это особенно характерно для пластов тонких и средней мощности, неоднородность которых усиливается за счет некондиционных участков (c, d). Модели II отвечают пласты, образование которых связано с менее стабильными генетическими условиями, зонами расщеплений, или нарушенные проявлением вторичных факторов, в частности размывов.

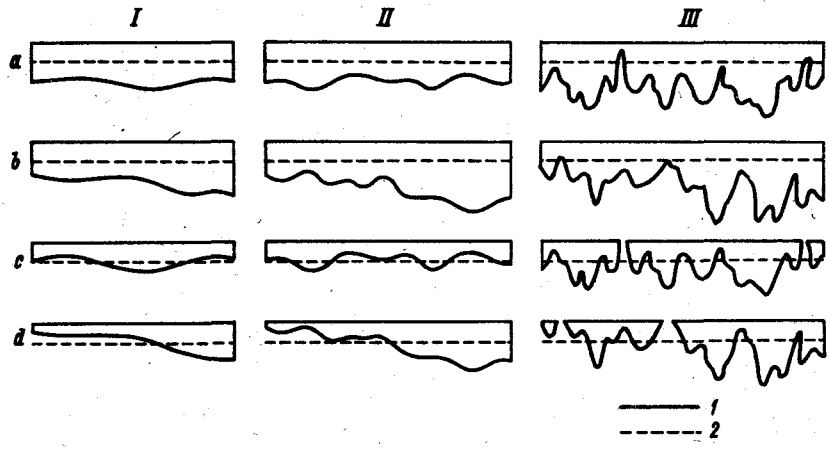


Рис. 1. Основные типы (I–III) и варианты (a-d) моделей изменчивости мощности угольных пластов на площади шахтного (карьерного) поля
1 – кривые изменения мощности; 2 – кондиция по мощности. Вертикальный и горизонтальный масштабы не соблюдены

Пласт III изменчивый, иногда прерывный, с более или менее постоянным средним уровнем мощности (a, c) или неясно выраженным ее трендом (b, d). Характерны значительные колебания по амплитуде и частоте, что создает сложный и, как правило, блоковый или даже пятнистый характер структуры изменчивости. Это прежде всего отражается на оценке кондиционности (c, d) многих пластов. Однако и для кондиционных в целом залежей имеют значение так называемые аномальные блоки с высокими или, наоборот, низкими значениями параметров. Пласты, отвечающие модели III, формировались в неоднородных первичных условиях или в дальнейшем подвергались широкому воздействию вторичных факторов (размывов, пластических деформаций, внедрению боковых пород).

Реальные угольные пласты в пределах указанной площади в большинстве случаев соответствуют моделям II и III. Модель I встречается редко, она в лучшем случае характеризует отдельный участок или блок пласта. В зависимости от абсолютных значений параметра и пределов их колебаний, размеров, формы, ориентировки и расположения на площади отдельных зон или блоков структура изменчивости угольных залежей достаточно разнообразна [3] . В частности, форма таких блоков может быть изометричной и вытянутой, размеры колеблются от нескольких километров до нескольких десятков метров и менее, расположение на площади равномерное, пятнистое или полосовидное. В то же время, отличаясь друг от

друга, сами блоки и зоны обладают в пределах своих границ более или менее однородным строением и изменчивостью залежи.

Структура изменчивости угольных пластов является главным исходным условием при решении вопросов их разведки, оценки и эксплуатации.

Угольные пласты разведуют буровыми скважинами. Горные выработки (канавы, шурфы, штольни) используют сравнительно редко, задают, как правило, вдоль выходов, не охватывая всей разведуемой площади. Буровая разведка обуславливает прерывистый, дискретный характер получаемых фактических данных. Вследствие этого выявить непрерывную пространственную картину поведения залежи можно только при систематических массовых межскважинных прогнозах. При прогнозах природных изменчивых тел появляются так называемые ошибки аналогии (интерполяции), которые вместе с техническими погрешностями документации и опробования определяют надежность разведки. Подобный способ разведки угольных месторождений сохранится и в ближайшем будущем, пока не получат широкого распространения геофизические методы непрерывного межскважинного прослеживания угольных пластов, что приведет к качественно новому этапу в изучении месторождений.

Дискретный характер разведки определяет два существенно различных варианта расположения скважин: вдоль так называемых граничных (инвариантных) линий, разделяющих геологически однородные зоны или блоки и определяющих, таким образом, структуру изменчивости залежи; по системе параллельных линий или правильных сеток. Первый из этих приемов, предложенный П.А.Шехтманом [14] и имеющий аналогии с топографической съемкой поверхности, с позиций разведки теоретически оправдан. Однако в конкретных условиях он нереален, так как граничные линии разведчику (в отличие от топографа) неизвестны. К тому же при разведке многопластовых месторождений граничные линии одного пласта обычно не совпадают в плане с такими линиями у других пластов. Поэтому единственно возможными остаются системы расположения скважин по линиям или сеткам (чаще всего квадратной и прямоугольной). В этом случае необходимая точность результата достигается последовательным сгущением сети скважин на всей изучаемой площади или с дифференциацией для отдельных ее участков.

Со сгущением сети выработок (при небольшом значении технических погрешностей документации) ошибки межскважинной интерполяции уменьшаются, а надежность разведки соответственно возрастает.

На протяжении последних десятилетий существенно изменились задачи разведки угольных месторождений: от выявления средних характеристик параметров пластов, диапазона их колебаний, гарантированных цифр балансовых запасов в пределах разведуемого поля до надежной геометризации параметров на площади, в частности картирования некондиционных и кондиционных зон, а в пределах последних – участков и блоков с различными характеристиками свойств пласта. Поскольку размеры таких блоков могут быть самыми различными, в том числе небольшими, сеть буровой разведки приходится значительно сгущать. Соответственно требова-

ния к результатам разведки дополнились в настоящее время новыми существенными элементами, два из которых имеют главное значение: выявление и картирование аномальных блоков, начиная с минимальных по размеру, но определяющих облик и промышленную ценность пластов; обеспечение определенной точности межскважинных прогнозов в пределах разведуемой площади.

Как было показано выше, структура изменчивости пластов может быть неоднородной, отражая различные ранги – от крупных до мелких. Любая же реальная сеть разведки выявляет структуру изменчивости пласта лишь до определенного ранга, в то время как все остальные, более мелкие уровни изменчивости, систематически не обнаруживаются и снижают точность результата (рис. 2). Поэтому качественные формулировки требований должны сопровождаться цифровыми характеристиками и отражать: размер и форму наименьшего участка или блока, подлежащего выявлению; допустимые величины ошибок межскважинной интерполяции мощности пласта, его гипсометрии, зольности углей; допустимые величины технических погрешностей документации и опробования скважин.

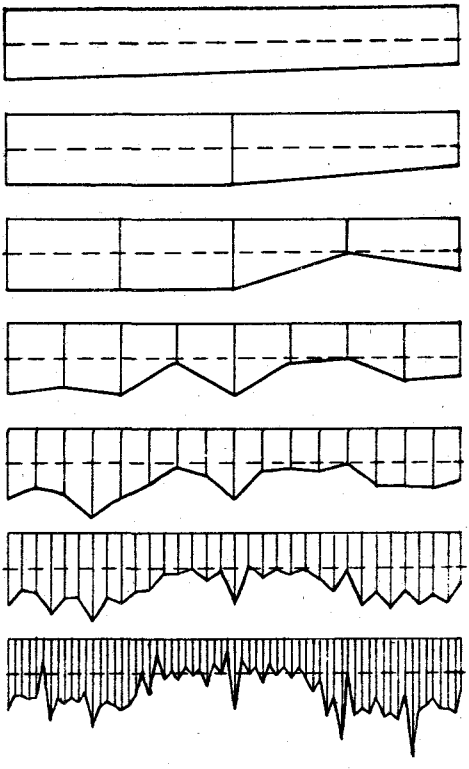


Рис. 2. Схема выявления структуры изменчивости мощности угольного пласта в зависимости от плотности сети скважин. Условные обозначения см. на рис. 1

Единые требования такого рода, годные для всех месторождений и условий, вряд ли целесообразны. Скорей всего они должны быть дифференцированы в зависимости от конкретных геологических, горногеологических и горноэкономических условий. Но эти требования должны существовать, чтобы при составлении проекта эксплуатации знать, на какую точность разведки можно рассчитывать в каждом конкретном случае. Между тем подобная постановка вопроса о требованиях к разведке разработана пока недостаточно. Примером удачного использования указанных требований к оценке ре-

зультатов разведки является работа К.В.Гаврилина [4], в которой учтены принятые совместно с проектным институтом предельные ошибки межскважинной интерполяции основных параметров мощных пластов Канско-Ачинского бассейна (мощность ±3 м; гипсометрия ±5 м; зольность углей ±3% A^c. Убедительно показаны существенные различия сети разведки, необходимой для выявления средних характеристик параметров залежи, с одной стороны, и обеспечения заданной точности межскважинной интерполяции данных, с другой.

Из вышеизложенных положений следует, что плотность сети должна быть прежде всего нацелена на выявление и картирование элементов структуры залежи, которые определяют ее облик и промышленную оценку. Вследствие неоднородности структуры изменчивости пластов модели II и III в условиях буровой разведки необходимо исходить из минимального размера таких блоков, подлежащих выявлению. Вторым контролирующим фактором при выборе сети является предельная ошибка межскважинной интерполяции. Размер аномальных блоков, подлежащих выявлению, во многих случаях является ведущим и требует наибольшей густоты сети. Для кондиционных пластов, без ясно выраженных аномальных участков, определяющим фактором будет размер ошибок межскважинной интерполяции.

Плотность сети для выявления и картирования каких-либо блоков в общем соизмерима с размерами этих блоков, отражая важный принцип соответствия в разведке или, по Е.О.Погребицкому, представительность системы разведки [9]. Согласно этому принципу в условиях буровой разведки надежное выявление структуры изменчивости залежи возможно только в том случае, если размер и форма аномальных блоков, определяющих эту структуру, отвечают соответствующему размеру и форме сети разведки (см. рис.2). Выведены достаточно строгие количественные зависимости (с учетом вероятности результата) между плотностью квадратной (рис. 3), прямоугольной, треугольной сети, с одной стороны, и размером аномальных блоков или тел круглой, овальной и вытянутой формы, с другой [8,12,15].

Справедливость приведенных положений очевидна. Однако выбрать минимальный размер блока, определяющего плотность сети, далеко не всегда просто, поскольку он может составлять не только сотни, но и десятки метров. Вопрос решается на основе прогнозной (экспертной) геолого-промышленной оценки облика пласта по всем имеющимся данным. Надежность такой оценки прямо зависит от количества фактического материала. Поэтому уже на стадии предварительной разведки должна быть получена достаточная информация о структуре и рангах изменчивости пластов, о размерах и соотношении отдельных блоков. Обычная равномерная и редкая сеть скважин предварительной разведки не может дать подобных сведений. Правильным решением вопроса представляется проходка на этой стадии не менее двух взаимно перпендикулярных детализационных профилей, о чем, в частности, пишет К.В.Миронов [7]. Эти профили должны быть очень детальными, с шагом не более 50-100 м, ибо в противном случае задача (выявление существенных рангов изменчивости)

не будет выполнена, и профили во многом потеряют смысл и не оправдают затраты.

Следовательно, выбрать элементы структуры изменчивости пластов, подлежащие выявлению при детальной разведке, и соответственно определить плотность сети этой разведки можно только с учетом фактических данных по детализационным профилям. При этом структура изменчивости угольных пластов, соотношений и степени выраженности отдельных ее уровней или рангов анализируется прежде всего на основе геологической интерпретации графических построений и может дополняться различными аналитическими приемами, начиная от простого сглаживания до использования аппарата корреляционных или спектральных функций.

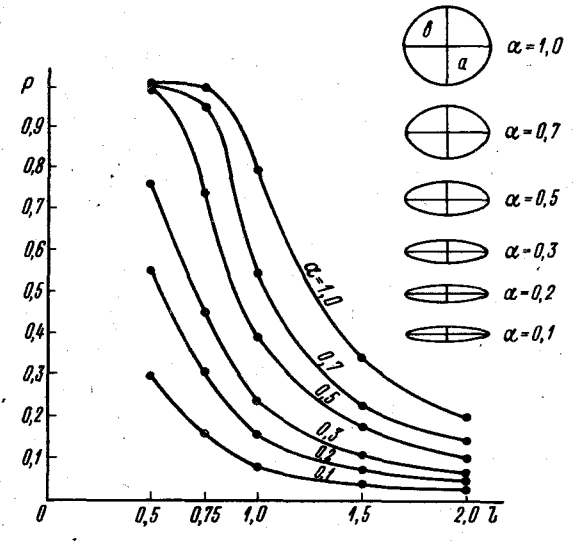


Рис. 3. Вероятность P вскрытия аномальных блоков угольного пласта при квадратной сети скважин в зависимости от величины шага сети l, размеров a, b и формы $\alpha = \frac{a}{b}$ изучаемого объекта (составлено по данным таблиц И.Д.Савинского, 1964)

Имеющиеся данные показывают, что без учета экономического фактора сеть детальной разведки пластов, отвечающих моделям II и особенно III, при условии их надежной геометризации, определяется величинами 200–50 м и менее. Однако при проведении столь плотных сетей сталкиваются с вопросами экономики и в результате – с компромиссом при выборе допустимых ошибок разведки, т.е. проблемой риска.

Плотная сеть разведки, особенно при необходимости бурения сравнительно глубоких скважин, несомненно, значительно увеличивает затраты. Связь плотности сети скважин, надежности разведки и экономики очевидна. Между тем конкретные способы взаимного учета этих сложных факторов разработаны недостаточно. Имеющиеся приемы, предложенные, в частности В.С.Огарковым [8], заслуживают внимания, но вряд ли могут быть использованы при всех условиях. Нужны прежде всего общие теоретические разработки проблемы экономической интерпретации требований к разведке и соответствующих этим требованиям систем разведки. Тем не менее экономический фактор не меняет исходного принципа соответствия в разведке и потому может контролировать только уровень точ-

ости и надежности получаемых результатов. Если выбранная сеть в расете на выявление данного ранга изменчивости оказалась чрезмерно дорогой, то замена ее на более редкую отразится на полноте результатов азведки, так как указанный элемент структуры, выраженный в каких-ибо аномальных блоках, не будет систематически изучен (см. рис. 2). ридется ограничиться прогнозной оценкой данного уровня изменчивости алежи. В худшем случае (при отсутствии информации) этот уровень изменчивости вовсе не будет изучен и окажется неожиданным для эксплуатации, что может привести к последующим доразведкам или изменению намеченного способа отработки пласта.

Итак, любая система буровой разведки может выявить структуру изменчивости пласта только до определенного уровня или ранга. Остальные, более мелкие ранги, систематически не выявляются, не картируются и составляют ошибки межскважинной интерполяции значений параметров. Последние дополняются также погрешностями изучения более крупных рангов и техническими ошибками документации и опробования скважин (рис.4).

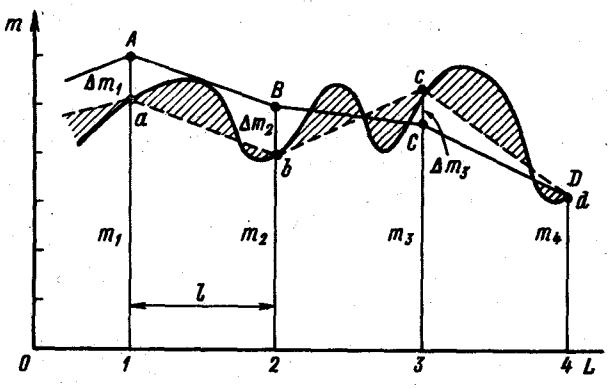


Рис. 4. Отклонение фактической кривой изменения мощности m пласта от данных межскважинной интерполяции (по В.С.Борисову, 1967)

$ABCD$ – изменение мощности пласта по данным интерполяции (на основе замеров по скважинам); $abcd$ – то же, но с исключением технических ошибок замера; $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3$ – технические погрешности замера мощности пласта по скважинам; l – расстояние между скважинами; заштриховано поле ошибок аналогии

Строгое решение задачи определения фактических ошибок разведки залежей выполнимо только в процессе эксплуатации. До этого возможны лишь приближенные расчетные оценки. Известно несколько такого рода оценок, надежность применения которых прежде всего зависит от выполнения ряда общих исходных условий.

Первые два принципиальных условия использования любых математических методов оценки взаимосвязаны и касаются природного характера облика залежи и дискретного способа разведки. Эти методы могут дать сравнительно надежные результаты, если соблюден принцип соответствия (представительности) разведки, а сама оценка проводится в пределах геологически однородных полей или блоков. Без выполнения этих обязательных условий полученные цифровые характеристики будут неопределенными [3,6,9,10].

Третье условие связано с задачами разведки и требованиями к ее результатам. Надо четко различать, с одной стороны, точность (или

ошибку) определения средних значений параметра в пределах шахтного поля или его части, что выполняется по многим точкам фактического материала, и, с другой стороны, точность (ошибку) интерполяции параметра между соседними скважинами на линии или в центрах элементарных разведочных ячеек. Названные типы ошибок могут различаться на целый порядок. Так, если ошибка определения средней мощности пласта на шахтном поле равна 5%, то ошибка интерполяции мощности в центре квадратной ячейки может быть равной 30–50% и более. Важность оценки тех и других видов ошибок очевидна. Способы их определения неодинаковы.

Для оценки точности определения средних значений параметра в пределах шахтного или карьерного поля можно использовать известные общие формулы статистики:

$$q = \frac{\sigma t}{\sqrt{n}} \quad ; \qquad (1)$$

$$Q = \frac{q t}{\bar{M}} 100 , \qquad (2)$$

где q – абсолютное значение ошибки; σ – стандартное отклонение; t – показатель степени вероятности; n – число точек наблюдения; Q – относительное значение ошибки, %; $\bar{M}$ – среднее значение параметра.

Правильность результата, полученного по формулам (1),(2), во многом зависит от надежности используемого в них значения стандартного отклонения σ . При явном преобладании в общем облике изменчивости угольной залежи нерегулярных (случайных) колебаний величина стандартного отклонения

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (m_i - \bar{M})^2}{n-1}} , \qquad (3)$$

где m_i – фактические значения признака.

При сложном характере структуры изменчивости залежи формула (3) обычно дает завышенные результаты. В этих, более частых на практике, случаях правильней использовать формулы, учитывающие только случайную составляющую изменчивости. Наиболее общей для таких условий, видимо, является формула Ю.В.Линника, А.П.Хусу [13] , основанная на использовании квадратов последовательных разностей значений признака:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta_i^r)^2}{C_{2r}^r (n-r)}} , \qquad (4)$$

где Δ_i^r – последовательные разности значений параметра r-го порядка; r – число порядков разностей; C_{2r}^r – число сочетаний из $2r$ по r .

Для угольных пластов в большинстве случаев достаточно использовать вторые разности ($r = 2$), для которых дисперсия уже автоматически характеризует только случайную составляющую изменчивости. Формула (4) примет вид:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta_i'')^2}{\sigma(n-2)}} \quad , \qquad (5)$$

где Δ_i'' – последовательные вторые разности значений параметра.

Практически близкие значения стандартного отклонения могут быть получены путем предварительного одно– или двухкратного сглаживания фактических значений параметра, например способом скользящего окна из трех членов. Формула (4) в этом случае выглядит так:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (m_i - \bar{m}_i)^2}{n - f}} \quad , \qquad (6)$$

где $\bar{m}_i$– сглаженное значение параметра в данной точке; f – число сглаживаний, для угольных пластов $f = 2$.

Данный способ хорошо известен по работе П.Л.Каллистова [5]. Общая же характеристика надежности оценок стандартного отклонения применительно к геологическим объектам подробно рассмотрена в монографии Л.И.Четверикова [13].

К той же категории оценок точности определения средних значений параметров залежей относится способ В.В.Богацкого [1] с очень простыми конечными формулами расчета ошибок:

$$q = \pm \frac{0{,}67(НП - 1)}{n - 1} \bar{M} t \quad ; \qquad (7)$$

$$Q = \pm \frac{0{,}67(НП - 1)t}{n - 1} 100 \quad ; \qquad (8)$$

$$НП = \frac{m_{max} - m_{min}}{\bar{M} - m_{min}} \quad , \qquad (9)$$

где НП – показатель изменчивости (неравномерности); m_{max}, m_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения параметра.

Размеры ошибок, получаемых названными способами, в каждом конкретном случае не будут, конечно, строго одинаковыми. Однако при соблюдении представительности системы разведки и проведении расчетов в пределах однородных полей результаты будут достаточно близкими. Лучшие данные определяются по способам Ю.В.Линника, А.П.Хусу и В.В.Богацкого. В частности, способ В.В.Богацкого заслуживает большого внимания, как дающий во многих случаях наиболее близкие к действительным результатам и простой с точки зрения расчетов. Правда, здесь есть свои сложности, связанные с выбором максимального значения параметра.

Для оценки точности данных межскважинной интерполяции также раз-

работан ряд приемов, среди которых прежде всего следует назвать способы В.И.Попова [11] и Ж.Матерона [6] . По ним рассчитывается абсолютная величина ошибки, с которой определено среднее значение параметра между двумя скважинами, соседними на линии или в центре квадратной ячейки. Соответственно абсолютная величина ошибки может быть легко переведена в относительную по формуле (2).

В.И.Поповым для залежей со сложным характером изменчивости предложены следующие формулы определения абсолютных значений среднеквадратических ошибок межскважинной интерполяции: линейная ошибка между двумя соседними скважинами [x)]

$$q_{лин} = \pm t \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta_i'')^2}{6k}} \; ; \qquad (10)$$

ошибка интерполяции в центре квадратной ячейки из четырех скважин

$$q_{яч} = \pm t \sqrt{\frac{\Sigma K^2}{4k'}} \; , \qquad (11)$$

где k – число вторых разностей; K – абсолютные величины разностей между суммами значений параметра в двух противоположных углах ячейки (показатель Осецкого), $K = |(m_1 + m_3) - (m_2 + m_4)|$, m_1 , m_2, m_3, m_4 – значения параметра в ячейке; k' – число исследуемых ячеек.

Метод дискретного крайгинга Ж.Матерона позволяет определить ошибки той же категории и, кроме того, дифференцировать их в зависимости от числа скважин в ячейке и их взаимного расположения. Учитываются разные варианты, в том числе, например: четыре скважины по всем углам ячейки, три скважины, две скважины по одну сторону ячейки или в ее противоположных углах, одна скважина в углу ячейки и другие случаи. Для каждого такого варианта ошибки интерполяции находят по однотипным формулам или непосредственно из таблиц, например:

$$q_{лин} = \pm t \sqrt{\frac{3\alpha}{2}\left(\ln\frac{a}{H} - 0{,}39\right)} \; ; \qquad (12)$$

$$q_{яч} = \pm t \sqrt{3\alpha\left(1{,}28 - 0{,}25\ln\frac{H}{a}\right)} \; , \qquad (13)$$

где a – размер шага сети скважин, м; H – средняя мощность залежи, м ; 3α – показатель изменчивости исследуемого параметра.

Основное значение в этих формулах имеет показатель изменчивости (коэффициент абсолютно рассеяния по Ж.Матерону)

$$3\alpha = \frac{\sigma^2}{\ln L - \ln H} \; , \qquad (14)$$

---

x) Мерой линейной ошибки межскважинной интерполяции в способе В.И.Попова является одна из частных формул стандартного отклонения по Ю.В.Линнику, А.П.Хусу (см. формулы (4),(5),(10)).

где σ^2 – экспериментальная дисперсия (см.формулу (3)); L – линейный эквивалент оцениваемого участка, м, в случае прямоугольной формы равен сумме длин двух его сторон, а при более сложном контуре L находят с помощью простых выражений.

Методы оценки В.И.Попова и особенно Ж.Матерона требуют проверки на фактическом материале многих угольных месторождений. Имеющиеся данные позволяют считать их заслуживающими внимания. Приведем пример, фактический материал для которого взят из работы Е.О.Погребицкого и касается одной из детально разведанных буроугольных залежей Днепровского бассейна [10].

Рассматривается пласт на участке размером 2х2 км, разбуренный по квадратной сетке с шагом 125 м. Пласт залегает горизонтально, размывы и тектонические нарушения не обнаружены. Средняя мощность пласта 5 м, коэффициент вариации мощности 43%, показатель изменчивости Ж.Матерона $3\alpha \simeq 0{,}7$. Пласт обладает сложным характером изменчивости, однако явно выраженного тренда на оцениваемом участке не наблюдают, поэтому участок можно рассматривать как единый блок.

Для изучения возможностей каждого из способов оценки при расчете ошибок интерполяции использовали значения мощности по сети скважин с шагом 250 м (см. таблицу). Промежуточные же значения мощности по сети с шагом 125 м учитывали только для определения фактических ошибок интерполяции.

Ошибки интерполяции

Вид оценки	Среднеквадратическая ошибка интерполяции мощности при $P \approx 70\%$ ($t = 1$)			
	для сторон ячейки между двумя скважинами на линии		для центров квадратной ячейки из четырех скважин	
	абсолютная, м	относительная, %	абсолютная, м	относительная, %
Фактическая ошибка	0,85	17	0,90	18
Способ В.И.Попова	0,90	18	1,0	20
Способ Ж.Матерона	1,10	22	1,25	25

Примечание. Для ячейки с тремя скважинами по углам ошибка по Ж.Матерону составит 1,35 (28%), с двумя скважинами в противоположных углах 1,6 (32%), с одной скважиной в углу 2,15 (43%).

Как видно, расчетные значения ошибок достаточно близки к фактическим. Имеются и другие примеры, показывающие сходство величин ошибок, получаемых названными методами. При этом в одних случаях относительно большие размеры ошибок дает способ Ж.Матерона, в других – способ В.И.Попова. Представляется, что способ Ж.Матерона удобен для тех условий, когда имеются ячейки с разным числом скважин и неодинаковым их взаимным расположением. Чтобы показать важность оценки ошибок

межскважинной интерполяции данных, укажем, что в том же примере ошибка определения среднего значения мощности пласта на всей площади участка при сети скважин с шагом 250 м составляет всего 1-2%.

Литература

1. Богацкий В.В. Математический анализ разведочной сети. Госгеолтехиздат, 1968.

2. Борисов В.С. Определение изменчивости основных параметров угольных пластов на примере сопоставления материалов горных и разведочных работ в Подмосковном угольном бассейне. Автореф. дисс. на соиск. уч.степени канд.техн.наук. Л. Изд.МГРИ, 1967.

3. Волков В.Н. Генетические основы морфологии угольных пластов. "Недра", 1973.

4. Гаврилин К.В. Достоверность результатов геометризации некоторых параметров угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна и плотность разведочной сети. В кн.: Геология угольных месторождений, т.1. "Наука", 1969.

5. Каллистов П.Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. Сов. геология, 1966, № 3.

6. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. "Мир", 1968.

7. Миронов К.В. Геологические основы разведки угольных месторождений. "Недра", 1973.

8. Огарков В.С. Методика разведки угольных месторождений платформенного типа. Госгеолтехиздат, 1961.

9. Погребицкий Е.О. О теоретических основах разведки. В кн.: Теоретические основы разведки. Изд. ЛГИ, 1973.

10. Погребицкий Е.О. О способах определения густоты разведочной сети. Зап. ЛГИ, 1964, т.47, вып.2.

11. Попов В.И. К оценке точности изображения залежи полезного ископаемого по данным разведки. Зап. ЛГИ, 1959, т.36, вып. 2.

12. Савинский И.Д. Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. "Недра", 1964.

13. Четвериков Л.И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. Изд.Воронежск. гос. ун-та, 1968.

14. Шехтман П.А. Применение в методике разведки принципа относительной точности. Тр. Среднеазиатск. НИИГМС, 1963, вып. 3.

15. Шурыгин А.М. Расчет оптимальных сетей для поисков эллиптических залежей. " Недра", 1972.