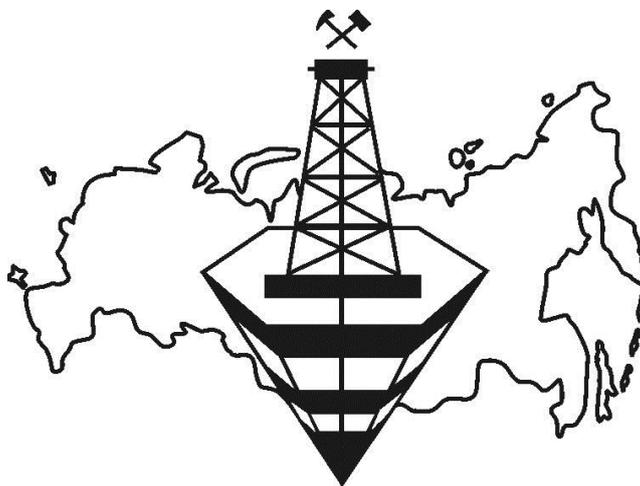




Т. Б. Рогова С. В. Шаклеин

**ГЕОМЕТРИЯ НЕДР.
ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Учебное пособие



Кемерово 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Т. Б. Рогова С. В. Шаклеин

**ГЕОМЕТРИЯ НЕДР.
ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Учебное пособие

Кемерово 2018

УДК 622.1.142.5(075.8)

Рецензенты:

Ведущий сотрудник лаборатории геомеханики и геометризации угольных месторождений Института угля ФИЦ УУХ СО РАН доктор технических наук М. В. Писаренко

Заместитель директора Новосибирского филиала ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» кандидат геолого-минералогических наук В. О. Ярков

Рогова Т. Б. **Геометрия недр. Особенности геометризации угольных месторождений** : учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин ; КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 180 с.

ISBN 978-5-906969-92-7

Изложены принципы и методы построения гипсометрических планов и фронтальных проекций пластов. Рассмотрены особенности, принципы, последовательность и практические приемы геометризации мощностей и основных показателей качества углей. Дана методика количественной оценки достоверности результатов геометризации.

Подготовлено по дисциплине «Геометрия недр», предназначено для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации 21.05.04.04 «Маркшейдерское дело».

Печатается по решению редакционно-издательского совета КузГТУ.

УДК 622.1.142.5(075.80)

© КузГТУ, 2018

© Рогова Т. Б.,

Шаклеин С. В., 2018

ISBN 978-5-906969-92-7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	9
Глава 1. Исходная информация, используемая при геометризации . . .	10
1.1. Инклинометрическая съемка скважин и ее обработка	10
1.2. Геологический разрез	15
1.3. План подсчета запасов	20
1.4. Оценка погрешности определения координат плаstopодсечений . .	31
1.5. Оценка погрешности определения мощностей пластов и показателей качества угля	35
Глава 2. Выбор вида и параметров горно-геометрической модели	43
2.1. Виды горно-геометрических моделей	43
2.2. Выбор плоскости проекции и построение основы графической модели	46
2.3. Выбор величины сечения и имен изолиний	48
Глава 3. Построение изолиний гипсометрии пластов	56
3.1. Построение изолиний методом ступенчатых отметок	57
3.2. Построение гипсометрических планов при отсутствии разрывных нарушений	57
3.3. Построение гипсометрических планов с учетом выявленных разрывных нарушений	72
3.4. Построение изофронтальных проекций пластов крутого залегания	80
3.5. Построение объемных горно-геометрических моделей (блок- диаграммы)	87
Глава 4. Геометризация мощности угольных пластов и основных показателей качества угля	96
4.1. Основные правила построения изолиний методом многогранника	96
4.2. Проведение изолиний на участках неопределенности	101
4.3. Построение изолиний в районе разрывных нарушений	106
4.4. Построение линии выклинивания пласта	107
4.5. Выделение аномальных замеров и их учет при геометризации . . .	109
4.6. Особенности построения изолиний показателей угольных пластов с применением компьютерных технологий	112
4.7. Специальные горно-геометрические модели	118
Глава 5. Оценка достоверности результатов геометризации	127
5.1. Значимость и принципы оценки достоверности результатов геометризации	127
5.2. Критерии разведанности угольных месторождений	131
5.3. Оценка правомерности интерполяции показателя в межскважинном пространстве	138
5.4. Определение ожидаемой погрешности геометризации	141

Глава 6. Метод уравнивания сетей геологоразведочных измерений . . .	152
6.1. Понятие уравнивания	152
6.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей	154
6.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания	156
6.4. Выделение аномальных зон с помощью уравнивания	158
6.5. Уравнивание высотных отметок пласта	163
6.6. Использование уравнивания для прогнозирования местоположений и амплитуд дизъюнктивных нарушений	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	176
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	178

ПРЕДИСЛОВИЕ

Информационной основой проектирования и планирования развития горных работ на угледобывающих предприятиях являются горно-геометрические модели, количественно либо качественно отражающие условия залегания угольных пластов, закономерности изменения показателей качества угля, физико-механических свойств угля и вмещающих пород и т. д. Основную часть этих моделей формируют на стадии геологического изучения месторождений, т. е. предоставляют техническим службам горных предприятий уже в готовом виде. К ним, в первую очередь, относят модели гипсометрии пластов, часто именуемые структурными планами.

Некоторые модели, например, изменения качественных свойств угля, мощностей пластов, не входят в число моделей, построение которых предусмотрено в процессе геологоразведки и создаются непосредственно на предприятиях либо проектными организациями в процессе разработки проектов освоения недр.

Во всех случаях горно-геометрические модели, построенные по геологоразведочным данным, отражают реально существующие особенности разрабатываемого участка недр лишь приближенно. Появление в процессе ведения горных работ новых данных позволяет выполнять корректировку существующих моделей, непрерывно обеспечивать их актуальность.

Относительно недавно горно-геометрические модели участка недр рассматривали только как информационный ресурс, направленный на обеспечение проектирования и планирования развития горных работ.

В настоящее время, когда в целях привлечения дополнительных средств для реализации стратегии развития бизнеса, значительная часть российских горных компаний уже разместила свои акции на зарубежных фондовых биржах, а остальные готовятся к публичному их размещению, качество и актуальность горно-геометрических моделей приобрели также и финансовое значение. Это обусловлено тем, что капитализацию горного бизнеса преимущественно определяет состояние и достоверность оценок находящейся в его распоряжении минерально-сырьевой базы, отображаемой горно-геометрическими моделями. Таким образом, своевременное и качественное выполнение работ по геометризации месторождений способно принести бизнесу реальную прибыль.

Основное внимание в пособии уделено вопросам выполнения геометризации без использования средств вычислительной техники. Такой подход обусловлен несколькими причинами.

Во-первых, опасностью так называемого «компьютерного оглупления» обучаемых. Инженер-маркшейдер обязан уметь лично и сознательно выполнять работы по геометризации, а не просто знать и формально реализовывать последовательность действий, предусмотренную инструкцией пользователя того или иного программного продукта. Авторы разделяют позицию известного отечественного математика Елены Сергеевны Вентцель, сказавшей: «Применение математических методов не полезно, а вредно до тех пор, пока явление не освоено на доматематическом гуманитарном уровне».

Во-вторых, реализуемые в современных программных продуктах геостатистические подходы и методы применительно к условиям угольных месторождений не вполне корректны. Известно, что геометризация месторождений любых видов минерального сырья с помощью геостатистических методов является далеко не тривиальной задачей, решаемой с помощью сложного инструментария, применение которого часто справедливо называют искусством. Показательным является в этом плане эксперимент Экологического Агентства США [16] – один и тот же массив данных раздали 12 независимым специалистам в области геостатистики и попросили их выполнить оценку руды в блоке. В итоге не было получено даже двух одинаковых результатов, а разброс оценок был очень большой.

В условиях угольных месторождений применение геостатистики усложняется тем, что разведочные сети имеют крайне неравномерный характер при больших расстояниях между замерами, а горно-геологические показатели угольных пластов имеют невыдержанную анизотропию, являющуюся следствием того, что пласты представляют собой суперпозицию угольных линз (пласты сложного строения дополнительно включают еще и породные линзы), а если использовать терминологию проф. П. К. Соболевского – суперпозицию различных геохимических полей. Это нарушает основные условия применения геостатистики, одним из которых является требование по предварительному разделению объекта геометризации на однородные фрагменты – домены.

Не случайно признанное международным экспертным сообществом Австралийское руководство по оценке и классификации угольных ресурсов [7] запрещает использовать результаты геостатистического анализа без учета других факторов, таких, например, как результаты ведения горных работ, результаты геологической интерпретации и т. д. Это Руководство подчеркивает, что вариография угольных переменных несет в себе риск переоценки или недооценки непрерывности переменных, в силу чего вариограмма может лишь помочь в определении расстояний непрерывности между точками наблюдения, а сама по себе в отдельности вообще не пригодна к использованию.

Кроме того, в процессе поддержания актуальности горно-геометрических моделей непосредственно на предприятии приходится использовать разнородные по точности данные геологоразведочных скважин, проб и замеров в горных выработках, что не рекомендуется геостатистикой. Специалисты в области геостатистики считают, что в идеальном случае все исследуемое множество проб должно принадлежать одному сравнительно однородному участку массива и представлять собой результат одного этапа исследования месторождения, полученный по одной методике. Только в этих условиях экспериментальные вариограммы правильно отражают структуру изменчивости залежи и могут быть использованы для моделирования.

В-третьих, работникам добывающих организаций, к числу которых относятся и маркшейдеры, следует понимать, что постоянно расширяющееся применение угольными геологоразведочными и проектными организациями формализованных методов геометризации обусловлено не их высокой эффективностью, а экономическими причинами. В условиях отсутствия их материальной ответственности за качество работ применение таких методов обеспечивает снижение трудозатрат на выполнение работ и, соответственно, увеличение прибыли.

Задача маркшейдера предприятия иная – обеспечить производство качественными горно-геометрическими моделями, стоимость создания которых имеет вторичное значение, поскольку она в любом случае будет многократно ниже возможного ущерба от принятия неоптимальных решений, основанных на недостоверной информационной основе.

В-четвертых, специфической особенностью текущего этапа внедрения компьютерных технологий геометризации является то, что эти методы применяются специалистами, не имеющими глубоких знаний в области геостатистики. В силу этого ими используются настраиваемые параметры алгоритмов, установленные разработчиками программных продуктов «по умолчанию». Налицо попытка свести геометризацию к некой формализованной математической процедуре, реализация которой может быть якобы осуществлена без привлечения иной возможной прямой и косвенной дополнительной информации, без использования опыта и интеллекта специалиста. То что это не так, прекрасно понимают все разработчики программных продуктов: все компьютерные системы предоставляют пользователям возможность добавлять в массив данных некие «фиктивные» точки, наличие которых обеспечивает управление результатами геометризации, формирование данных по которым возможно только в ручном режиме.

И, наконец, в-пятых, общепризнано, что в условиях угольных месторождений применение методов геостатистики никогда не приводило к сколько-нибудь значимому повышению качества геометризации по сравнению с «ручными» алгоритмами. При этом допускается значительно большая возможность появления грубых ошибок.

Вместе с тем, применение компьютерных технологий геометризации в режиме их совмещения с «ручными» технологиями полезно и необходимо, поскольку обеспечивает сокращение объема рутинных вычислительных процедур и формирование цифровых горно-геометрических моделей, используемых в системах проектирования и планирования горных работ.

Именно поэтому авторы сознательно избегали в учебном пособии вопросов применения ЭВМ с тем, чтобы изложить основные особенности геометризации угольных месторождений на докомпьютерном уровне, что даст возможность более глубоко ознакомиться с сущностью задач и критически анализировать различные предлагаемые алгоритмы автоматизированного решения горно-геометрических задач.

ВВЕДЕНИЕ

Геометризация месторождений полезных ископаемых, методика выполнения которой изучается в процессе освоения дисциплины «Геометрия недр», относится к числу важных в практическом и теоретическом отношении задач горного дела. Наличие оформленных в виде системы горно-геометрических моделей знаний о характере размещения в недрах тел полезных ископаемых и их свойствах является необходимым условием безопасного и эффективного ведения горных работ, организации долгосрочной маркетинговой политики добывающих предприятий, обеспечивает решение вопросов стоимостной оценки бизнеса и ряда иных вопросов горного промысла. Поэтому горный инженер, специализирующийся в области маркшейдерского дела, должен:

знать: виды моделей, применяемые при геометризации недр, методы и технологии горно-геометрического моделирования месторождений твердых полезных ископаемых, основные государственные и корпоративные требования к составу и содержанию горно-геометрических моделей;

уметь: обосновывать методику геометризации для различных горно-геологических условий разрабатываемых месторождений полезных ископаемых; самостоятельно выбирать комплекс методов геометризации и прогнозирования размещения показателей месторождения в пространстве недр;

владеть: навыками горно-геометрического моделирования, а также навыками подготовки документации по подсчету запасов и горно-геометрическому моделированию, отвечающими требованиям стандартов и нормативных документов.

Выпускники Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, подавляющее большинство которых осуществляет свою трудовую деятельность на предприятиях угольной промышленности, должны обладать компетенциями в области геометризации месторождений угля, методология которой составляет основу изучаемой в университете дисциплины «Геометрия недр».

Глава 1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ

1.1. Инклинометрическая съемка скважин и ее обработка

Основным видом горно-геометрической информации, используемой при построении горно-геометрических моделей пластов, является совокупность данных о пространственных координатах точек выполнения измерений или определений, т. е. мест встречи скважинами почвы изучаемого пласта, мест выполнения измерений или отбора проб в горных выработках.

При построении моделей гипсометрии пластов чрезвычайно важной является также информация об элементах залегания пласта в точках измерений. В горных выработках такие измерения осуществляют горным компасом, угломерными инструментами или косвенным способом с использованием метода «пересекающихся шнуров». В процессе геологоразведки методы получения такой информации не имеют значимого распространения как в силу своей дороговизны, низкой эффективности и нетехнологичности (ориентированный керн), так и в силу недостаточного аппаратного обеспечения производственных организаций (наклонометрия, фото- и телесъемка скважин). Поэтому вопрос об использовании при геометризации этого вида информации в данном пособии вообще не рассматривается.

Координаты плаstopодсечений геологоразведкой непосредственно не устанавливаются, т. к. в ходе буровых и каротажных работ выявляется только глубина вдоль оси скважины, на которой она пересекает почву пласта (так называемая осевая или стволовая глубина). Для расчета координат плаstopодсечений необходимо, таким образом, еще и знание положения скважины в пространстве недр.

Для этого производится инклинометрическая съемка скважин. Ее результаты используются впоследствии не только при геометризации, но и при построении опасных зон, поэтому маркшейдер должен иметь представление о данном виде съемки и уметь контролировать ее результаты.

Съемка скважин осуществляется специальными приборами – магнитометрическими или гироскопическими инклинометрами.

С их помощью в нескольких точках, удаленных друг от друга на расстояние H (измеряемое вдоль оси скважины и называемое осевой глубиной), определяются элементы залегания: зенитный угол θ (угол между вертикалью и осью скважины) и дирекционный угол (или магнитный азимут) направления погружения оси ствола скважины α (рис. 1.1). Величина θ обычно измеряется в скважинах с погрешностью до 10–30 минут, а α – 1–4 градусов.

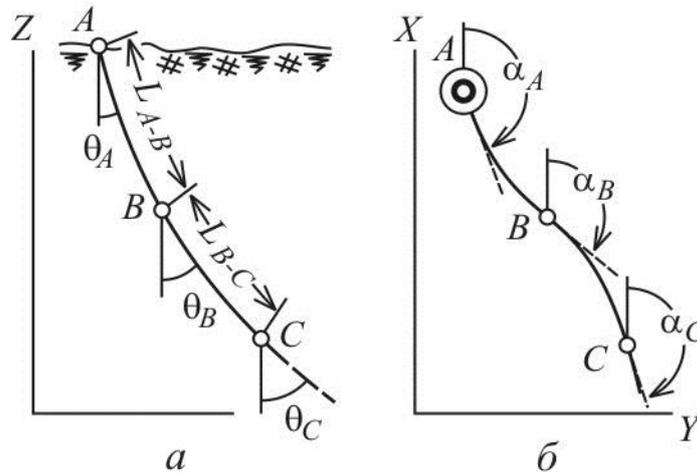


Рис. 1.1. Инклинометрические измерения в скважинах:
а – на вертикальной проекции; б – на плане

Инклинометрической съемке, в соответствии с нормативными требованиями [1], подлежат вертикальные скважины глубиной свыше 200 м и все наклонные скважины. Точки съемки должны располагаться на оси скважины не более чем через 20 м (после внедрения цифровой аппаратуры расстояния между точками измерений снижаются до 10 м).

По существующим требованиям [1] достоверность 10 % замеров должна быть подтверждена повторными определениями. К сожалению, при приемке результатов работ исполнение данного требования заказчиками (недропользователями), как правило, не проверяется.

В практике разведки угольных месторождений преимущественно применяются магнитометрические приборы, что обусловлено небольшим диаметром геологоразведочных скважин. В настоящее время используются магнитометрические инклинометры семейства ИММН-42, имеющие относительно небольшую стоимость и минимальный диаметр 42 мм.

Измеренные инклинометром магнитные азимуты пересчитываются в дирекционные углы с использованием известных параметров: угла сближения (угол между осевым меридианом и меридианом в данной точке) и магнитного склонения.

Большинство гироскопических инклинометров имеют диаметр 73 мм и более и из-за этого не всегда пригодны для использования на месторождениях угля. Однако отечественной промышленностью уже выпускается гироскопический инклинометр ИГМ-42 и начат выпуск инклинометра УГИ-42, имеющих диаметр 42 мм. Применение гироскопических инклинометров представляется наиболее перспективным.

Относительно недавно наблюдались многочисленные случаи нарушения инструктивных требований к расстоянию между замерами, когда производилось всего один-три реальных замера (в устье, в середине скважины и в забое), а промежуточные замеры «дописывались» как результат интерполяции или экстраполяции. Обычно эти нарушения характерны для неглубоких вертикальных скважин (300–400 м).

Этим объясняется наблюдаемый различный характер зависимости значений азимутальных углов от осевой глубины для мелких и глубоких скважин, где измерения производились с большей тщательностью. В первом случае (рис. 1.2, *а*) углы почти функционально зависят от глубины, изменяются плавно и в небольших пределах. Во втором случае (рис. 1.2, *б*) зависимость от глубины имеет явно статистический характер.

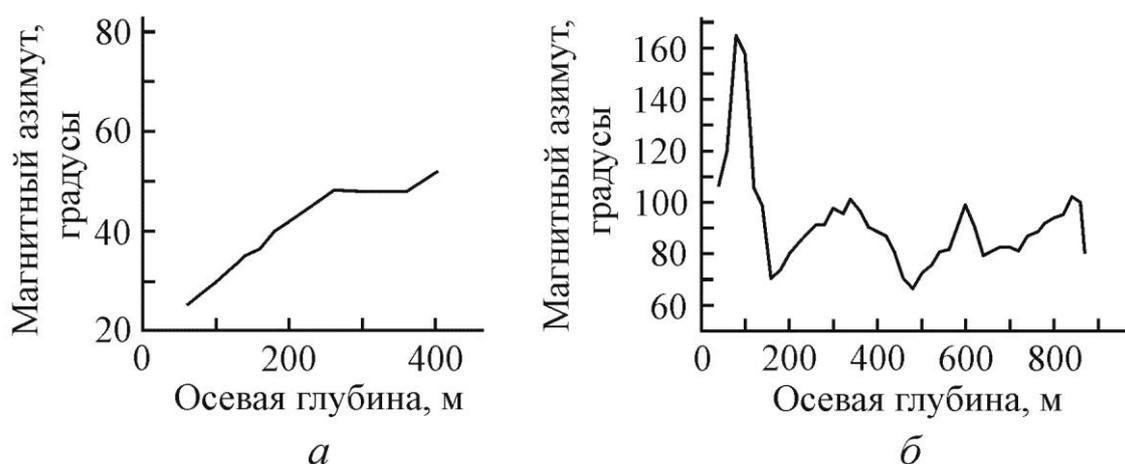


Рис. 1.2. Зависимость магнитных азимутов направления ствола скважины от осевой глубины: *а* – для скважины глубиной 405 м; *б* – для скважины глубиной 807 м

Таким образом, анализ зависимости азимутальных углов от глубины позволяет выделить скважины с «дописанными» замерами и с осторожностью относиться к данным по ним. В настоящее время, в связи с использованием инклинометров с электронной записью результатов, «дописывание» результатов измерений потеряло всякий смысл и прекратилось, однако при геометризации месторождений, помимо новых, используются данные и по скважинам предыдущих стадий геологического изучения, для которых выявление нарушений технологии инклинометрической съемки сохраняет свое значение.

Обработка результатов съемки может производиться несколькими способами. Наиболее распространены способы, при применении которых скважина рассматривается в виде ломаной прямой. Специальных рекомендаций, определяющих порядок обработки результатов инклинометрической съемки при разведке угольных месторождений, в настоящее время не существует. В то же время действующие РД 153-39.0-072-01 [6] и стандарты Евро-Азиатского геофизического общества рекомендуют в качестве метода обработки инклинометрии так называемый метод «средних углов». Именно этот метод преимущественно используется для обработки результатов съемки угольных разведочных скважин.

Он состоит в рассмотрении каждого интервала между замерами в виде прямой, имеющей элементы залегания, равные среднеарифметическим значениям углов, измеренных на его концах. Так прямая, соединяющая точки измерения A и B (см. рис. 1.1), будет иметь зенитный угол, равный полусумме углов θ_A и θ_B , и дирекционный угол, равный полусумме углов α_A и α_B .

Координаты каждой последующей $i + 1$ точки съемки определяются по формулам

$$Z_{i+1} = Z_i - L_{i+1} \cos \frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2}; \quad (1.1)$$

$$X_{i+1} = X_i + L_{i+1} \sin \frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2} \cos \frac{\alpha_i + \alpha_{i+1}}{2}; \quad (1.2)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + L_{i+1} \sin \frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2} \sin \frac{\alpha_i + \alpha_{i+1}}{2}, \quad (1.3)$$

где L_{i+1} – расстояние между замерами i и $i + 1$.

Координаты первой точки съемки ($i = 1$) равны координатам устья скважины.

При расчетах учитывается немеханический характер определения средних значений дирекционных углов. Если один из углов равен, например, 16° , другой – 350° , то среднее значение будет равно 3° , а никак не 183° !

Координаты точки пластоподсечения P определяются на основе линейной интерполяции между координатами ближайших к нему точек замеров. Одна из них (V) должна иметь меньшую (H_V), а другая (N) – большую (H_N) осевую глубину, чем осевая глубина, на которой скважина встретила почву угольного пласта (H_P). Тогда:

$$Z_P = Z_V + (Z_N - Z_V)t; \quad (1.4)$$

$$X_P = X_V + (X_N - X_V)t; \quad (1.5)$$

$$Y_P = Y_V + (Y_N - Y_V)t \quad (1.6)$$

при

$$t = \frac{H_P + H_V}{H_N + H_V}. \quad (1.7)$$

При значительной интенсивности искривления ствола скважины РД 153-39.0-072-01 [6] рекомендует использовать иные методы расчета координат, например метод наименьшей кривизны, учитывающий угол перегиба (кривизну) исследуемого интервала скважины.

Наиболее точным является метод, использующий сплайн-функцию, который может быть реализован только на ЭВМ. При его применении ось скважины представляется в виде непрерывной кривой, имеющей на заданных расстояниях вдоль нее элементы залегания, равные измеренным. Кроме того, предполагается, что буровая колонна стремилась в процессе работы занять в пространстве недр наиболее выгодное положение.

Однако сравнение результатов обработки инклинометрической съемки различными методами скважин глубиной до 1,5 км показывает, что применение альтернативных методов «средних углов» более строгих методов вычислений не приводит к значимому изменению координат.

1.2. Геологический разрез

Исходным геологическим документом для построения гипсометрических планов является геологический разрез (разведочный профиль). Поэтому маркшейдер должен свободно читать размещенную на нем информацию. Следует иметь в виду, что условные обозначения, используемые на разрезах, не только не постоянны во времени, но и несколько различаются в разных разведочных организациях, что, впрочем, не противоречит ГОСТам, т. к. все обозначения выносятся на один из листов графической части геологического отчета.

Рассмотрим содержание информации, размещенной на геологическом разрезе, на примере рис. 1.3.

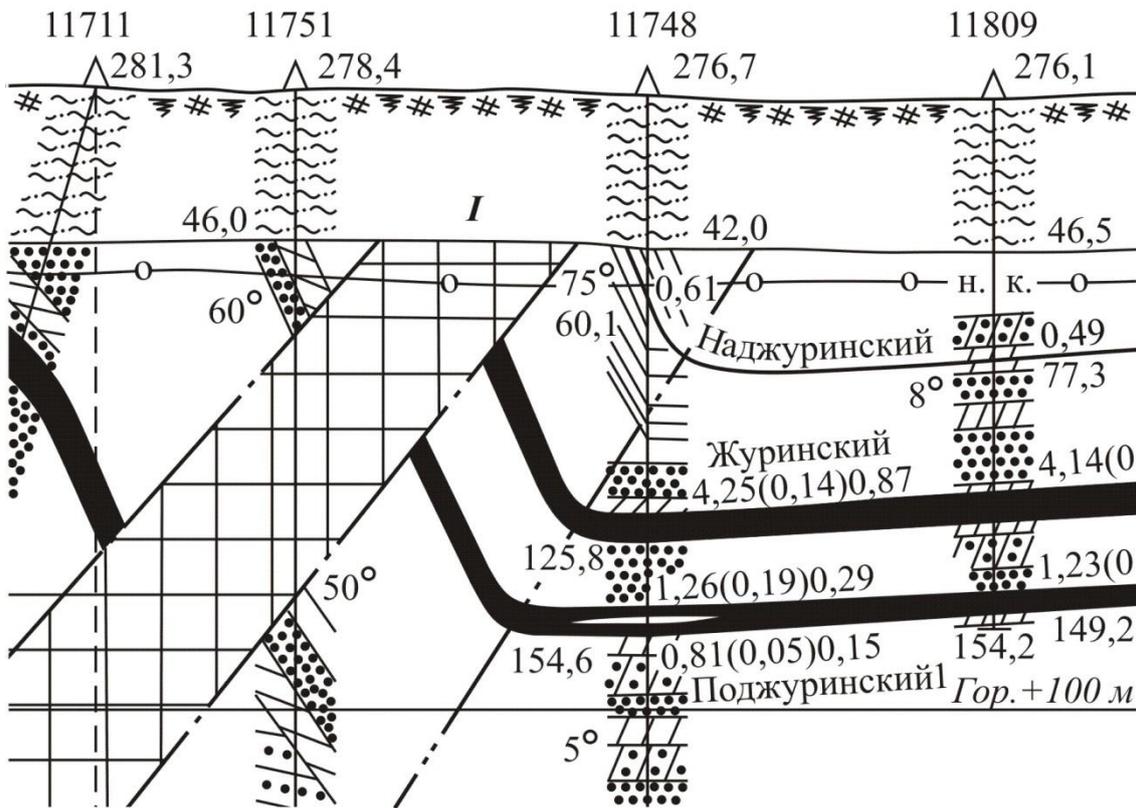


Рис. 1.3. Фрагмент геологического разреза

Прежде всего на разрезе показываются проекции осей скважин. Если скважина наклонна, то помимо ее оси указывается (пунктиром) положение вертикальной линии, опущенной из ее устья (скважина 11711). Устье скважины отмечается треугольником, рядом с которым подписываются номер скважины и высотная отметка устья.

С помощью условных обозначений показываются породы, встреченные скважиной, и в принятом масштабе их мощность. Если породы часто перемежаются, а их мощности незначительны и не могут быть масштабно изображены, то это отображается схематически штриховкой (участок скважины 11748 в районе пласта Наджуринского). Если керн по интервалу скважины не был получен, а геофизические исследования не смогли восполнить этот пробел, то на данном интервале скважины делается соответствующая пометка (обычно в виде текста «н. к.» – сокращение от «нет керна» – см. рис. 1.3 – скважина 11809).

Рядом с каждым пластом указывается осевая глубина встречи его почвы скважиной (например, 125,8 м по пласту Журинскому по скважине 11748). Подписываются также глубины выхода скважин из наносов (46,0 м по скважине 11751) и глубины их забоев (154,2 м по скважине 11809). Положение забоя скважины отмечается короткой линией, перпендикулярной к ее оси.

Рядом с колонкой, напротив точек измерения, выписываются значения измеренных углов напластования пород (например, 60° и 50° по скважине 11751), т. е. углов падения плоскостей контактов пород относительно оси керна. Следует иметь в виду, что эти углы, как правило, не равны углам падения угольных пластов. Еще в конце прошлого века достоверно было установлено, что углевмещающие породы имеют более крутой угол, чем угольные пласты. Разница между углами может достигать $2-3^\circ$ для регрессивной фазы осадконакопления и $10-15^\circ$ – для трансгрессивной.

Углы напластования являются ценной горно-геометрической информацией, используемой, например, при прогнозировании дизъюнктивных нарушений и нарушенных зон методом И. П. Жингеля. Поэтому при приемке документации от геологоразведочных организаций представителям маркшейдерско-геологических служб угольных предприятий следует контролировать полноту этих данных, поскольку в настоящее время сложилась практика помещения на разрезах только незначительной части результатов выполненных измерений.

Мощности угольных пластов проставляются на разрезах вблизи точек плаstopодсечений. Если пласт простого строения, т. е. не имеет породных прослоев, то подписывается лишь одна цифра, равная его нормальной мощности (например, 0,49 м у пласта Наджуринского по скважине 11809).

При сложном строении пласта выписываются нормальные мощности всех пачек и породных прослоев. Например, запись по скважине 11748 у пласта Журинского 4,25 (0,14) 0,87 означает, что мощность его верхней (первой) пачки составляет 4,25 м, породного прослоя 0,14 м и нижней пачки – 0,87 м. В некоторых случаях, когда на разрезе недостаточно места для подписей, после перечисления мощностей, через тире, подписывается глубина встречи пласта (например, по пласту Поджуринскому по скважине 11748, в районе его расщепления).

Иногда подписи вообще выносятся за пределы чертежа, и упомянутая запись могла бы иметь вид: «11748 – гл. 150,2 – 1,26 (0,19) 0,29» («номер скважины – глубина – мощности»).

На разрезах показываются горизонты, оси складок (например, ось, пересекаемая скважиной 11748) и разрывные нарушения, в том числе и сопровождаемые зонами дробления. При пересечении зон дробления скважиной встреченные ею в их пределах породы могут не показываться (как, например, пересечение скважиной 11711 зоны дробления нарушения *Л*). Рядом с линиями разрывов и осями складок подписываются их номера или наименования (при наличии).

На разрезе показываются переносимые с планов и с вертикальных проекций границы зон распространения негодных и окисленных углей (один из вариантов обозначения последней – линия с периодически нанесенными на нее буквами «о» – см. рис. 1.3). Для участков недр, предназначенных для открытой отработки, зоны окисления, как правило, разбиваются на две подзоны – углей I и II групп окисления.

Показываются зоны распространения горельников, уровень грунтовых вод, глубины встречи грунтовых вод скважинами и т. д.

При большом числе искривленных скважин геологический разрез теряет фактографический характер, т. к. его построение требует предварительного проектирования скважин на плоскость разреза. Причем это проектирование необходимо осуществлять вдоль направления изогипс пласта, которые, в свою очередь, принято отстраивать методом разрезов (ступенчатых отметок), т. е. на основе геологических разрезов.

Кроме того, поскольку изогипсы пластов далеко не всегда параллельны в плане, то точки их плаstopодсечений должны по-разному проектироваться даже в пределах одной скважины.

Следует ожидать, что с увеличением глубины разведки при построении разрезов возникнут серьезные проблемы. Их разрешение возможно двумя путями.

Первый путь, технологический, состоит в поддержании заданного положения скважины в недрах с помощью методов направленного бурения, что резко повысит стоимость буровых работ.

Второй путь состоит в изменении методики построения разрезов и создании «итерационной» технологии построения, которая заключается в следующем.

На первом этапе работы должны строиться разрезы для каждого пласта по линиям, проходящим через все точки его пластоподсечений.

На втором этапе отстраивать первый вариант гипсометрических планов, используя геологические разрезы.

На третьем этапе отстраивать разрез по разведочной линии путем проектирования пластоподсечений вдоль изогипс первого варианта плана (с учетом необходимой корректировки). А затем повторять второй и третий этапы до достижения полной согласованности планов и разрезов.

В настоящее время получает распространение технология «построения» разрезов, основанная на применении компьютерных технологий 3D-моделирования. При ее реализации на основе преимущественного использования методов геостатистики по данным о координатах пластоподсечений выполняется построение системы топографических поверхностей – гипсометрических планов пластов, а по ним строятся вертикальные сечения, являющиеся геологическими разрезами.

Эта технология в корне отличается от рассмотренного в дальнейшем классического метода геометризации гипсометрии, при котором сначала выполняется построение разрезов, а лишь затем на их основе – гипсометрических планов.

Классическая технология позволяет учесть свойственную большинству угольных месторождений высокую, но переменную в пространстве недр анизотропию гипсометрии и вызванную ею различную плотность разведочной сети по разным направлениям, выявить положение инвариантных линий поверхности, корректно учесть дизъюнктивные нарушения пластов.

«Новая» технология построения разрезов обеспечивает автоматическую «увязку» планов и разрезов и снижает стоимостные и трудовые затраты геологоразведочных организаций, допускает выполнение работ кадрами с низкой квалификацией, т. е. является привлекательной с коммерческой точки зрения. Однако построенные с ее помощью разрезы перестают нести в себе признаки самостоятельного информационного материала, создают иллюзию непротиворечивости данных (всегда присущую результатам геологического изучения недр).

Разумеется, что эта «новая» технология может и должна использоваться при реализации ранее указанного второго пути построения разрезов по системе искривленных скважин. Кроме того она будет полезной при геометризации гипсометрии моноклинально залегающих пластов, изученных разведочными сетями, имеющими близкую к квадратной форму. Подавляющее большинство угольных месторождений России этим условиям не отвечает.

Достоверность геологических разрезов (как, впрочем, и гипсометрических планов) во многом зависит от точности определения положения устьев разведочных скважин. К сожалению, среди специалистов до сих пор бытует мнение о допустимости низкого качества выполнения таких работ. Однако именно «привязка» скважин требует кропотливой предварительной подготовки.

Это связано с тем, что в пределах изучаемого участка недр всегда находятся скважины различных стадий геологического изучения. Очень часто их положение определялось в различных системах координат (особенно высотных) и различными геологоразведочными организациями.

Кроме того, в период существования СССР было принято вносить в плановые координаты специальные секретные поправки, имевшие для различных объектов индивидуальный характер.

Ликвидация многих геологоразведочных организаций, проблемы с сохранностью их архивов создали дополнительные проблемы с приведением координат устьев скважин к единой системе координат. Поэтому для перевода координат в единую систему требуются не только сбор всех первичных материалов и заверочные съемки, но и хорошее знание истории маркшейдерско-геодезического освоения района.

1.3. План подсчета запасов

Нормативными государственными требованиями к содержанию материалов геологических отчетов [1, 5] не предусматривается построение геологоразведочными организациями горно-геологических моделей мощностей пластов и показателей качества угля. В процессе геологического изучения лишь положено отстраивать отдельные изолинии мощности пласта и зольности угля, соответствующие установленным параметрам кондиций. Кроме того, отстраивается изомощность внутрипластового прослоя, при достижении которой пласт разделяется на объекты самостоятельной отработки (расщепляется).

Все эти изолинии выполняют функцию границ, выделяющих в пределах пласта контуры запасов, имеющих различное экономическое значение (балансовых и забалансовых).

В связи с этим необходимые для проектирования и планирования развития горных работ горно-геометрические модели формируются непосредственно в проектных организациях и на горных предприятиях.

Основным носителем информации, откуда извлекаются исходные данные, полученные на стадии геологоразведочных работ, является геологический отчет и графические приложения к нему.

Из графических приложений наибольший интерес представляет подсчетный план пласта. В советский период осуществлялось выполнение двух видов планов: структурных и подсчетных. На структурных планах гипсометрия пластов (включая дизъюнктивные нарушения) отображалась детально, на подсчетных – менее детально (за счет размещения на них лишь основных изогипс) с целью «высвобождения» поля чертежа для размещения на нем данных по подсчетным блокам.

Современная практика подготовки геологических отчетов предусматривает объединение этих планов в единый, именуемый «подсчетный план» (рис. 1.4).

При построении планов используются специальные условные обозначения (перечень которых обязательно приводится в геологическом отчете), наиболее часто используемые из них показаны на рис. 1.5.

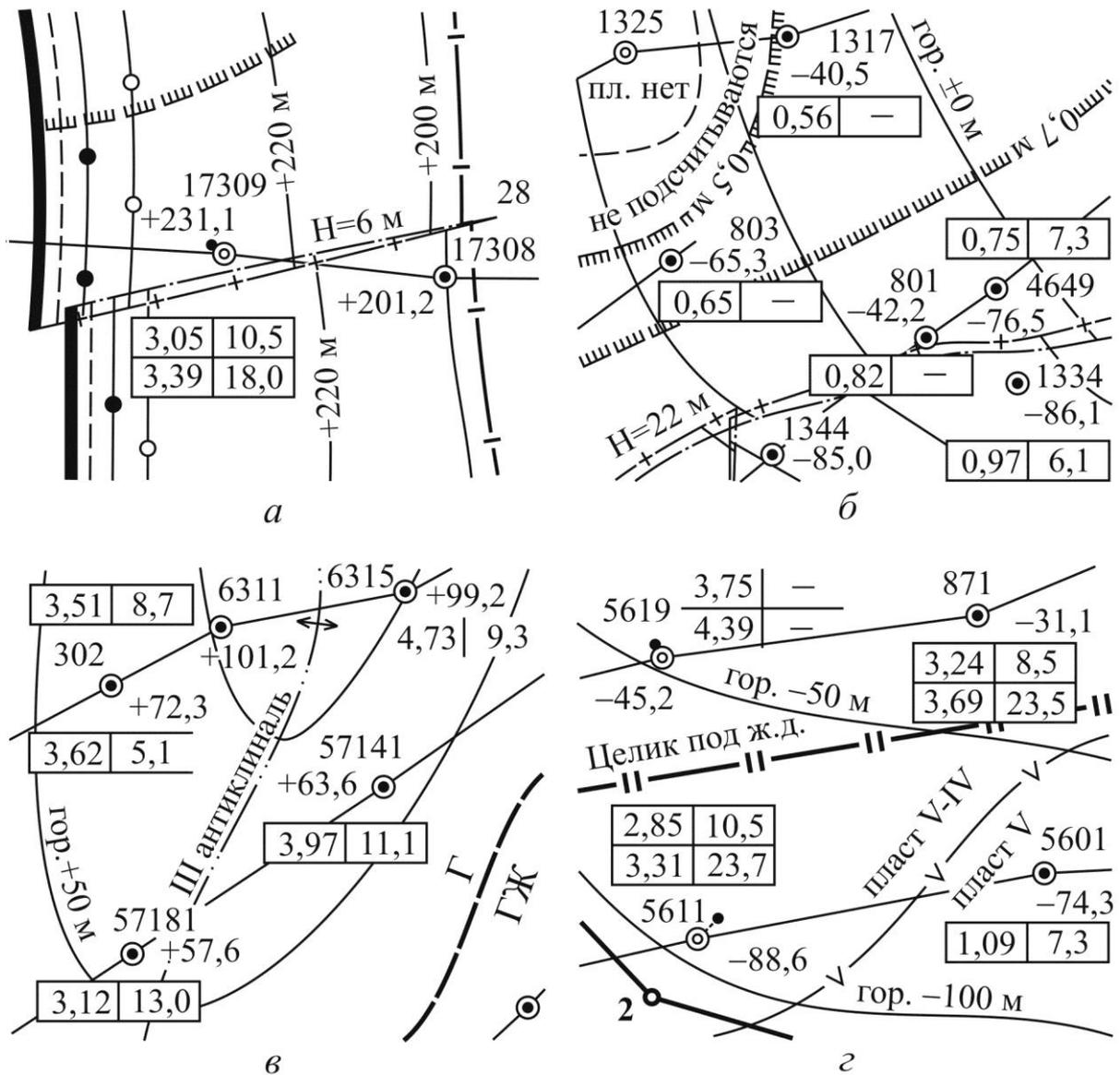


Рис. 1.4. Примеры фрагментов подсчетных планов

В зависимости от угла падения пласта подсчетная графика выполняется в проекции на горизонтальную (обычно при углах падения менее 55°) или вертикальную плоскость. В первом случае она именуется подсчетным планом, во втором – проекцией пласта на вертикальную плоскость. Построение выполняется в масштабе $1 : 5000$ (значительно реже – в $1 : 2000$, а на поисково-оценочных стадиях – в $1 : 10000$).

На подсчетном плане пласта отображаются положения устьев скважин, плаstopодсечений с указанием их высотных отметок, мощности пласта и суммарной мощности пачек угля, выход пласта под наносы, изогипсы почвы пласта, оси пликативных нарушений и линии скрещения пласта с дизъюнктивными нарушениями.

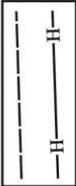
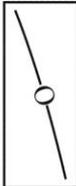
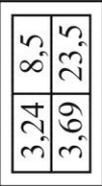
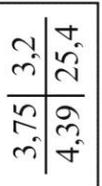
	положение устья скважины и точки пластоподсечения (вертикальная скважина), номер скважины и отметка почвы пласта		положение устья скважины и точки пластоподсечения (наклонная скважина)
	выход пласта под наносы		варианты границ распространения негодного угля
	варианты границ распространения окисленного угля II группы окисленности		варианты границ распространения окисленного угля I группы окисленности
	граница распространения окисленного угля (для подземных горных работ)		изогипсы почвы пласта
	мощность и зольность, принятые к подсчету запасов для пластов сложного строения		мощность и зольность угля пластов простого строения, принятые к подсчету запасов
	данные о мощности и зольности, не приня- не принятых в подсчет запасов		
	линии скрепления разрывного нарушения с почвой пласта по висячему (верхняя линия) и лежащему крыльям, номер и амплитуда		техническая граница угледобывающего предприятия
	лицензионная граница участка недр		граница предохранительного целика
	линия выклинивания пласта		линия расщепления пласта
	граница смены марочного состава угля		изолиния мощности или зольности – граница контура балансовых или забалансовых запасов
	ось антиклинальной складки		ось синклинальной складки

Рис. 1.5. Условные обозначения для подсчетных планов

Необходимо иметь в виду, что на локальных участках усложнения геологического строения не только допускается, но и рекомендуется построение дополнительных изогипс сгущения, отсутствующих на иных участках.

Рядом с каждым пластоподсечением в форме «таблицы» указываются мощность пласта и зольность. Для пластов сложного строения в верхней строке приводятся данные по мощности и зольности чистых угольных пачек, а в нижней – по мощности пласта и его зольности (с учетом включаемых в подсчет породных прослоев). В случае если приведенные характеристики используются при подсчете запасов, то они обводятся рамкой (например, у скважины 17309 на рис. 1.4, *a*), в противном случае рамка таблицы не изображается (скважины 6315 на рис. 1.4, *b* и 5619 на рис. 1.4, *c*). На подсчетных планах, выполненных рядом геологоразведочных организаций, используется и несколько иной порядок маркировки замеров, принятых и не принятых в подсчет запасов: непринятые данные обводятся одинарной, а принятые – двойной рамкой.

В том случае, если скважина пересекает пласт в зоне перекрытия разрывного нарушения несколько раз, на плане приводятся данные, относящиеся к каждому пересечению, с указанием наименования крыла дизъюнктива, к которому они относятся («л. к.» – для лежачего крыла, «в. к.» – для висячего). При пересечении скважиной крыльев нескольких нарушений дополнительно указывается и номер нарушения (например, «л. к. II»).

На подсчетном плане обязательно показываются технические границы угледобывающего предприятия и лицензионные границы участка (с указанием положения и номера угловых точек). При совпадении указанных границ преимуществом пользуется условный знак лицензионных границ. При наличии на момент подсчета запасов утвержденных границ предохранительных целиков они также показываются на плане.

В случае если в пределах участка происходит смена марочного состава угля, эта граница показывается утолщенным пунктиром либо линией с треугольниками, вершины которых направлены в сторону распространения марки, имеющей более высокую стадию метаморфизма. Рядом с границей указываются наименования разделяемых ею марок угля. Если по пласту марка представлена несколькими группами и (или) подгруппами, наименования последних также могут указываться на плане.

В настоящее время при наличии технических возможностей в условных обозначениях все чаще используются различные цвета. Так, тектонические элементы отображаются красным цветом, горизонты – голубым и т. д. Это существенно облегчает чтение подсчетных планов.

На ряде месторождений, в результате влияния дизъюнктивных дислокаций, формируются значительные зоны перекрытия пластов в нормальном к плоскости проекций направлении. В результате при построении структурных планов в пределах зон перекрытия возникают участки, «перегруженные» графической информацией, что вызывает затруднения при ее восприятии.

В этом случае подсчетный план разделяется на отдельные фрагменты, именуемые деталями. Например, для условий пласта E_9 (рис. 1.6) его подсчетный план мог бы быть представлен двумя деталями: «деталь 1» (висячее крыло нарушения H) и «деталь 2» (лежащее крыло нарушения H).

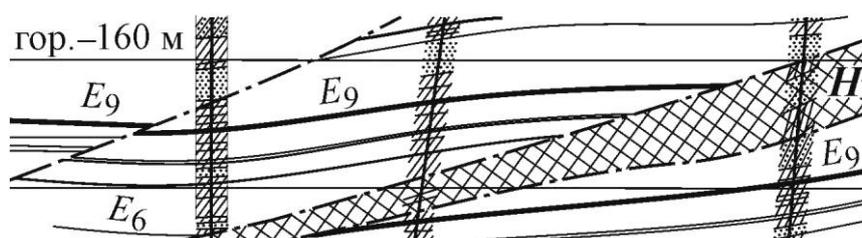


Рис. 1.6. Фрагмент геологического разреза по XI – V разведочной линии участка «Осинниковский Восточный»

Необходимость выделения деталей определяется в каждом конкретном случае индивидуально исходя из необходимости обеспечения удобства восприятия горно-графической документации.

Для каждой детали выполняется, по сути дела, построение самостоятельного подсчетного плана. Детали принято нумеровать арабскими цифрами в пределах пласта. В случае деления подсчетного плана на детали в комплект графической документации обязательно включается структурный план (имеющий, относительно подсчетного плана, меньшую графическую нагрузку), на котором указывается положение выделенных деталей.

К числу наносимой на подсчетный план дополнительной информации относятся границы зоны распространения негодного угля и окисленных углей I и II групп окисления.

На участках недр, предназначенных для подземной отработки, зона распространения окисленных углей по группам окисления не фрагментируется (в связи с тем, что добычные работы в их контуре не производятся) и указывается единым контуром.

На графической основе показываются границы распространения балансовых и забалансовых запасов. В подавляющем большинстве случаев этими границами являются изолинии мощности и зольности пласта. Эти границы указываются с помощью «зубчатого» пунктира (направление «зубьев» – внутрь контура забалансовых запасов). В их разрывах указываются соответствующие значения параметра кондиции (например, «0,7 м» – по мощности или «25 %» – по зольности).

Линия выклинивания пласта (изолиния нулевого значения мощности) обозначается пунктирной линией, охватывающей контур, внутри которого пласт отсутствует (при этом у скважин, находящихся в его пределах, указывается на отсутствие пласта путем размещения текста: «пл. нет», т. е. «пласта нет»). Как правило, в пределах контура, находящегося между линией выклинивания и границей распространения забалансовых запасов, помещается текст «не подсчитываются».

Граница расщепления пласта показывается в виде пунктирной линии, в разрывах которой помещаются треугольные «птички», направление острия «птичек» – в сторону расщепляющегося пласта. При наличии расщепления для каждого пласта подготавливается несколько подсчетных планов: для пласта и для его расщепленных пачек. Допускается выполнение единого подсчетного плана собственно для пласта и для одной расщепленной пачки (обычно – нижней).

Как уже указывалось, при выполнении подсчета запасов пластов крутого залегания (с углами падения более 55°) графическая основа подсчета выполняется в проекции на вертикальную плоскость (рис. 1.7).

На графическую основу при проектировании на вертикальную плоскость наносятся те же данные, что и на план подсчета запасов, с использованием аналогичных обозначений, обязательно указываются положения проекций точек пластоподсечений и линий пересечения с плоскостями геологических разрезов. Нетрудно заметить, насколько мала информативность такой основы, фактически не зависящей от реальной гипсометрии изучаемого пласта.

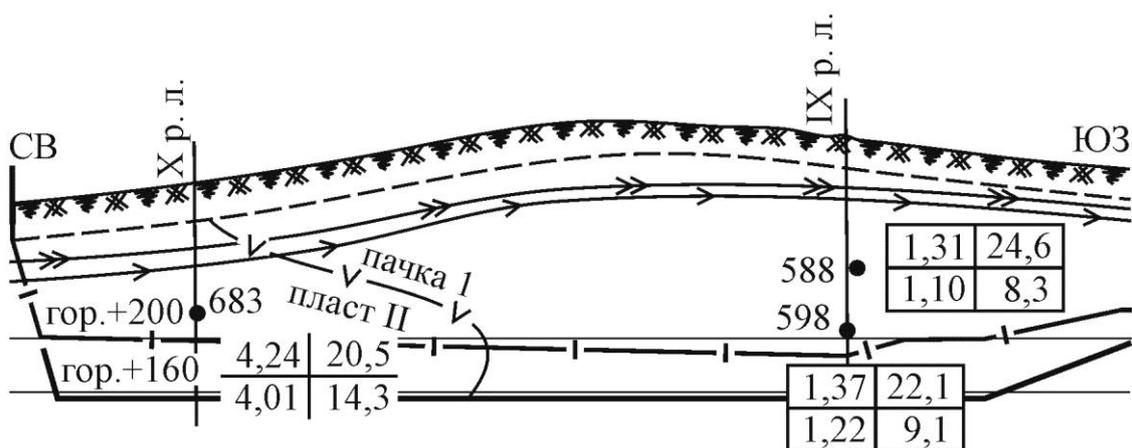


Рис. 1.7. Пример графической основы подсчета запасов пласта в проекции на вертикальную плоскость

Для обеспечения полной корректности модели гипсометрии пласта, выполненной в проекции на вертикальную плоскость, рекомендуется осуществлять построение изолиний расстояний почвы пласта от заданной вертикальной плоскости проектирования (изофронталей) по методике, детально изложенной в главе 3 данного пособия.

На полях подсчетных планов или на отдельных листах графических приложений к геологическому отчету приводятся структурные колонки пластов, которые в профессиональном арго именуются «стопками». Представленные на рис. 1.8, а колонки соответствуют современным требованиям, а на 1.8, б – ранее действующим. Обычно колонки выполняются в масштабе 1 : 100.

Над колонкой под номером скважины указывается, по каким данным она отстроена: «Б» – по данным бурения; «К» – по данным каротажа; «Б + К» – строение пласта по данным бурения, мощность по каротажу. Над колонкой, а ранее под ней, в случае выполнения детализации пласта при каротаже (обеспечивающей повышенную точность определения мощности), ставится специальный условный знак.

Справа от колонки приводятся нормальные мощности пачек угля (0,75 и 1,40 м) и рядом с ними через тире (ранее – в скобках) – нормальные мощности керна угля (0,52 и 1,05 м на рис. 1.8). С некоторым смещением от них (ранее в левой части) указываются нормальные мощности прослоев (0,24 м на рис. 1.8) и через тире (ранее – в скобках) нормальные мощности поднятого керна (0,21 м на рис. 1.8).

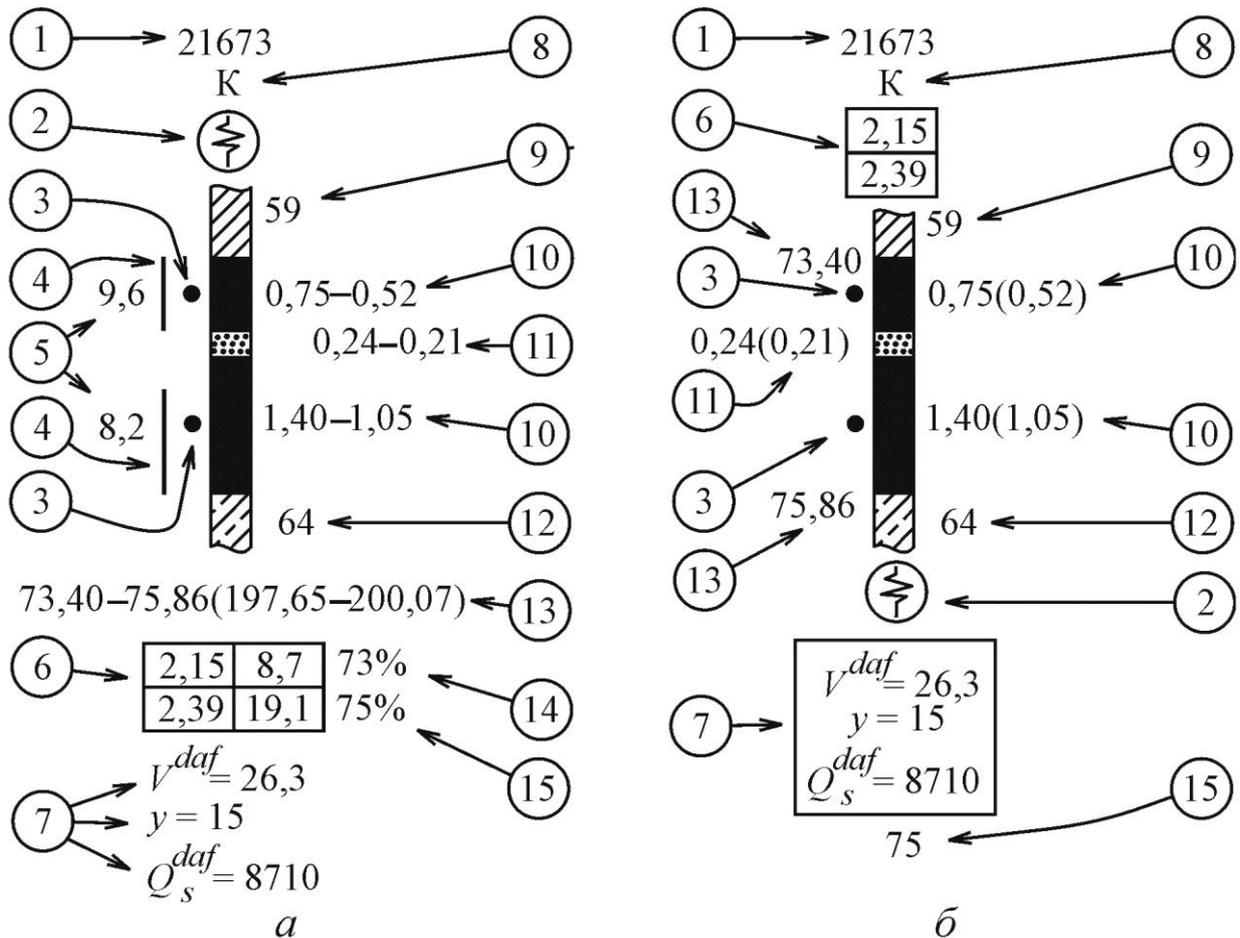


Рис. 1.8. Структурная колонка пласта: 1 – номер разведочной скважины; 2 – признак производства детализации при каротаже; 3 – отметка о принятии пачки в подсчет запасов; 4 – место отбора пробы; 5 – зольность угля по пробе; 6 – данные о мощности (левая колонка) и зольности (правая колонка) чистых угольных пачек (верхняя строка) и пласта (нижняя строка); 7 – основные показатели качества угля; 8 – указание на данные, по которым построена колонка; 9 – выход керна по породам кровли; 10 – нормальная мощность угольной пачки и через тире – мощность извлеченного керна; 11 – нормальная мощность породного прослоя и через тире – мощность извлеченного керна; 12 – выход керна по породам почвы; 13 – последовательно: осевые глубины встречи кровли и почвы пласта и (в скобках) высотные отметки точек встречи в балтийской системе высот; 14 и 15 – выход керна по чистым угольным пачкам и по пласту в целом

Слева от пачек угля точками отмечаются те из них, которые приняты для подсчета запасов, т. е. те, которые входят в состав пласта. Напротив пачек изображаются опробованные интервалы керна и величина зольности по ним (9,6 и 8,2 % на рис. 1.8). В случае если по группе пачек была сформирована только одна проба, указывается только одно значение зольности. Справа от показанных на колонке пород кровли и почвы подписывается процент выхода керна по ним (ранее указывался выход керна только по пласту в целом).

Под колонкой отдельной строкой показываются осевые глубины скважины, на которых она встретила кровлю (73,40 м) и почву (75,86 м – см. рис. 1.8), и, в скобках, абсолютные высотные отметки точек их встречи. Под ними приводятся данные о мощности и зольности угольных пачек и пласта (в случае если они были приняты для подсчета запасов, они обводятся рамкой), под которыми указываются значения основных показателей качества угля. Таким образом, в графической документации геологического отчета осуществляется тройное дублирование данных о мощностях, двойное – о высотных отметках и зольности.

Помимо графической документации сведения о мощности и зольности пластов можно получить по таблицам расчета средних значений мощности и зольности по подсчетным блокам. В графе «Примечание» таких таблиц приводятся и данные по пересечениям, не принятым для подсчета запасов. Например: «зольность по скв. 2859 не принята – низкий выход керна, отсутствие каротажа», «мощность по скв. 47829 не принята – пласт вскрыт не на полную мощность», «... – наличие конкреций», «... – висячем крыле нарушения II», «... – не характерна» и т. д.

Основным источником информации о показателях качества угля служат соответствующие таблицы текстовых приложений к геологическому отчету, прежде всего – таблицы теханализов, хотя значения отдельных показателей, как уже было показано (см. рис. 1.8), приводятся и на структурных колонках пластов.

Пользуясь структурными колонками, можно довольно надежно выделить замеры, отбракованные в связи с подозрением на низкую точность измерений в них. Их признаками являются: использование данных бурения при низком выходе керна, отсутствие детализации пласта по каротажу. Такие ошибочные замеры не следует учитывать при геометризации, считая, что они попросту не существуют.

При выполнении подсчета запасов геологоразведочные организации также отбраковывают часть достоверно выполненных замеров, которые рассматриваются как нехарактерные (аномальные) в связи с их расположением в небольших по размерам зонах локальных изменений показателей. Данные по аномальным замерам должны учитываться при геометризации.

Результаты выделения аномальных замеров зависят от уровня профессиональной подготовки геолога. Представление о том, какая мощность или зольность «естественна», а какая нет, психологически формируется на первых рассматриваемых геологом разведочных линиях и распространяется на все остальные. Выбор иной начальной линии может приводить к несколько иным представлениям и к выделению совсем других нехарактерных замеров.

Кроме того, выделение нехарактерных замеров осуществляется в геологоразведочных организациях не с позиции геометризации, а с позиции подсчета запасов. Например, замеры, находящиеся в расположенной на стыке нескольких геологических блоков геометризуемой зоны повышенных значений мощностей, могут квалифицироваться геологами как нехарактерные.

Поэтому характеристика замера как аномального должна подтверждаться или отвергаться в ходе геометризации с помощью приемов, которые будут описаны ниже.

Следует заметить, что в учебной литературе практически не уделяется внимание вопросу нехарактерных замеров, в то время как их число составляет обычно 10–15 % и достигает по некоторым пластам 50–60 % от общего числа измерений.

В ходе геологического изучения объекта выделяются также и нехарактерные замеры зольности и других показателей качества. Причем относительно зольности можно повторить почти все, что было сказано о мощности. Отбраковка замеров других показателей происходит в основном из-за признания проб непредставительными в первую очередь в связи с низким выходом керна.

Несомненно, представительными признаются данные о качестве угля, полученные при выходе керна не менее 70 %. Однако практика геологического изучения угольных месторождений Кузбасса показывает, что необходимая достоверность данных может обеспечиваться и при выходе керна от 30 до 70 %.

Ответ на вопрос о том, какой именно выход керна можно считать достаточным в условиях конкретного действующего предприятия, может быть получен на основе сопоставления данных кернового опробования с данными, полученными при опробовании горных выработок.

Итак, в период подготовительных к выполнению геометризации работ создается ее информационная основа, в состав которой входят две основных характеристики каждого достоверного замера или пробы:

- его пространственное положение;
- значение изучаемого показателя.

Иногда возникают ситуации, когда результаты измерения показателя в расположенных буквально в нескольких метрах друг от друга скважинах значительно отличаются. В этом случае для выполнения геометризации используются данные только по одной из скважин или, если различие данных укладывается в рамки технической погрешности измерений, – среднее значение из полученных в данных скважинах результатах. Выбор одного из двух альтернативных значений осуществляется на основании анализа условий получения результатов.

Например, если в одной скважине определение показателей качества было выполнено при выходе керна в 40 %, а в другой – при 70 %, то следует принять данные, полученные при более высоком выходе керна. В случае если обе скважины представляются равнозначными, для геометризации используются данные по более «современной» скважине, при исследовании которой были, естественно, использованы более совершенные методики. Выделить такую скважину несложно. Геологическое изучение недр производится по стадиям. Скважинам каждой стадии принято давать различные номера, увеличиваемые от стадии к стадии. Различие может состоять в числе цифр, формирующих номер скважины, или в начальных цифрах номера. Это хорошо видно на приведенных выше примерах подсчетных планов. Например, на фрагменте б рис. 1.4 расположены скважины трех стадий изучения (две «трехзначные» – № 801 и № 803; четыре, начинающиеся с цифр «13», – № 1317, 1325, 1334, 1344; одна, начинающаяся с цифр «46», – № 4649). Более современной всегда является скважина, имеющая больший номер.

1.4. Оценка погрешности определения координат пластоподсечений

Знание погрешностей координат пластоподсечений позволяет учитывать их уровень при построении геологических разрезов и гипсометрических планов (не отстраивать локальные аномалии в поведении изогипс пластов, объясняемые техническими погрешностями измерений), при планировании развития горных работ, построении аналитических моделей пластов, выборе оптимальных комплексов геолого-маркшейдерских наблюдений и т. п.

Наиболее надежным способом оценки точности координат является путь прямого сопоставления расчетных координат пластоподсечений с их фактическими значениями, установленными в результате маркшейдерских измерений. Однако абсолютное большинство скважин пересекаются очистными выработками, высокие темпы отработки которых затрудняют инструментальную фиксацию фактических координат пластопересечений. В связи с этим сформировать представительный массив прямых сопоставлений расчетных и фактических координат, как правило, не удается.

Для оценки точности может быть применен специальный метод [21], использующий легкодоступные данные.

На плане горных работ выделяются скважины, расположенные в отработанном контуре. Для каждого пластопересечения определяется разность ΔZ двух его отметок: отметки Z_p , установленной геологоразведочными работами (+106,0 м на рис. 1.9), и отметки Z_r , определенной по результатам отработки.

$$\Delta Z = |Z_p - Z_r|. \quad (1.8)$$

Отметка Z_r определяется путем интерполяции между изогипсами почвы пласта, отстроенными по данным шахтных маркшейдерских измерений или путем интерполяции между отметками маркшейдерских пунктов (с учетом места расположения пункта – в почве или кровле выработок). Для условий рис. 1.9 $Z_r = +107,6$ м.

Кроме того, для каждого пластоподсечения определяется его осевая глубина H (253 м для рис. 1.9) и угол падения пласта δ в районе его расположения.

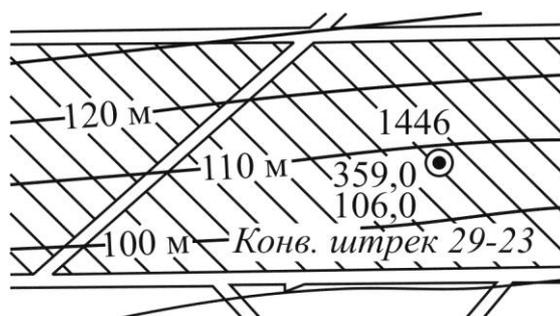


Рис. 1.9. К сбору исходных данных для оценки точности координат плаstopодсечений

Погрешности координат плаstopодсечений можно разделить на плановые (M_S) и высотные (M_Z). Причем считается, что именно последние в наибольшей степени сказываются в ходе структурных построений пластов. При этом, однако, не учитывается, что плановая погрешность положения плаstopодсечения приводит к появлению дополнительной погрешности M_{PZ} , которую можно характеризовать как вторичную.

Эта погрешность возникает за счет того, что измеренная в скважине высотная отметка пласта относится не к месту ее реального измерения (к точке A – рис. 1.10), а к точке предполагаемого положения плаstopодсечения (к точке B – рис. 1.10), удаленного от истинного его положения на величину погрешности определения ее положения M_P .

Ясно, что погрешность M_P является проекцией плановой погрешности M_S на линию падения пласта. Именно M_P оказывает значимое влияние на результаты геометризации, тогда как смещение плаstopересечения по направлению простирания пласта не искажает результаты построений.

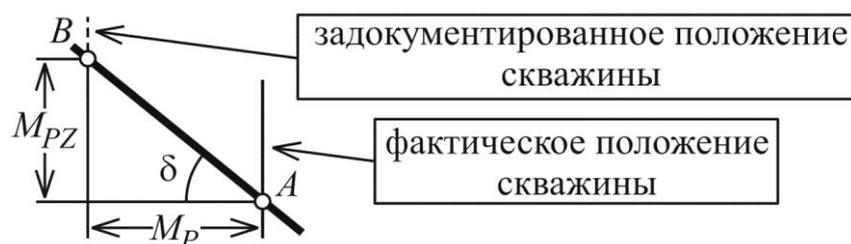


Рис. 1.10. Причины возникновения вторичной высотной погрешности M_{PZ} положения точки плаstopодсечения

Таким образом, можно записать, что абсолютное значение разности (ΔZ) между истинной и измеренной на плане горных работ высотной отметкой пластоподсечения может быть описано формулой

$$\Delta Z = M_Z + M_P \operatorname{tg} \delta. \quad (1.9)$$

Практика оценки погрешностей измерений показывает, что замена линейного вида равенства (1.9) на квадратичный в подобных случаях не ведет к росту точности описания процесса и только усложняет вычислительные процедуры.

Для реальных диапазонов глубин разведки угольных месторождений зависимость погрешностей от глубины скважины с достаточной для практических целей точностью может быть представлена в линейном виде:

$$\Delta Z = H(m_Z + m_P \operatorname{tg} \delta), \quad (1.10)$$

где H – глубина пластоподсечения; m_Z , m_P – погрешности высотного и планового положения подсечения, приходящиеся на один метр глубины скважины.

Имея ряд сопоставлений, можно сформировать систему из n уравнений вида (1.10), а решив ее с помощью метода наименьших квадратов, найти искомые погрешности m_Z и m_P :

$$m_P = \frac{n \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i} \operatorname{tg} \delta_i - \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i}}{n \sum_{i=1}^n \operatorname{tg}^2 \delta_i - \left[\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i \right]^2}; \quad (1.11)$$

$$m_Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i} - m_P \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i}{n}. \quad (1.12)$$

Средние значения рассматриваемых погрешностей для Кузбасса в целом составляют: $m_P = 0,022$ м/м, $m_Z = 0,010$ м/м. Для получения надежных результатов достаточно использовать 20–30 сопоставлений. Если диапазон изменения глубин пластоподсечений в массиве данных превышает 300 м, необходимо его разделение на отдельные подмассивы по интервалам глубины 200–300 м.

Это связано с фактически нелинейным характером нарастания погрешностей с глубиной и вытекающими из этого дополнительными погрешностями за счет аппроксимации параболической зависимости прямой.

Также рекомендуется формировать массивы сопоставлений с разделением по группам скважин, пробуренных на различных стадиях геологического изучения. Это вызвано, прежде всего, тем, что в настоящее время инклинометрическая съемка скважин выполняется с помощью более совершенных приборов и при меньшем расстоянии между замерами.

1.5. Оценка погрешности определения мощностей пластов и показателей качества угля

Знание погрешностей определения мощности пласта и показателей качества угля используется:

– при решении вопросов геометризации (например, при оконтуривании зон, в пределах которых возможна присечка боковых пород),

– при определении группы выдержанности пластов, во многом определяющей методику разведки и доразведки шахтных полей (так, для тонких выдержанных пластов наименьшее значение мощности должно превышать установленную условиями минимальную мощность на величину возможной погрешности ее определения [1]);

– для оценки эффективности применения новых технологий и измерительной аппаратуры и т. д.

На современном этапе развития угольного бизнеса знания погрешностей кернового опробования приобрели новое значение. Российские угольные компании активно осуществляют публичное и частное первичное и вторичное размещение своих акций, кредитуются иностранными банками и совершают иные действия, предусматривающие обязательное представление публичных отчетов о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах полезного ископаемого в недрах.

Подобные отчеты подготавливаются Компетентными лицами в соответствии с требованиями кодексов отчетности, входящих в семейство CRIRSCO (JORC, SIM, SAMREC и др.).

При подготовке отчетов большое значение придается оценке качества угля, при которой, по сложившейся практике, подвергаются сомнению, а часто и игнорируются многие данные, полученные при формально низком выходе керна, а также в период (обычно пять лет), предшествующий проведению экспертизы. В результате оставшаяся после «отбраковки» сеть опробования признается мало представительной, что ведет к занижению оценок запасов, а следовательно, и к снижению капитализации компании. В связи с этим знание погрешностей кернового опробования при различном выходе керна для конкретного участка месторождения способно исключить занижение уровня его инвестиционной привлекательности.

Методика оценки точности скважинных измерений мощности пласта и определений показателей качества в условиях уже действующих предприятий вполне очевидна: сравнить данные геологоразведки с данными горных работ, принимая последние за безошибочные. При сравнении мощностей пластов в качестве «истинных» следует принимать только мощности, измеренные в подготовительных выработках, поскольку замеры в очистном забое расположены в зоне опорного давления.

Основная проблема оценки точности путем сопоставления данных состоит в том, что места отбора проб в скважинах и в горных выработках пространственно не совпадают, т. е. в том, что разница между геологоразведочными и эксплуатационными данными обусловлена не только техническими погрешностями измерений или определений, но и изменчивостью показателя в пространстве недр. Обычно решение этой проблемы заключается в использовании только замеров, близко расположенных к скважинам, т. е. в использовании в качестве меры представительности сопоставления расстояния R между замерами.

Для понимания пути решения этой проблемы рассмотрим известную топографическую поверхность изучаемого показателя, в пределах фрагмента которой расположены скважина A и пять отобранных в горных выработках проб либо замеров мощности (рис. 1.11).

Из рисунка следует, что наиболее представительным является сопоставление результатов измерений по скважине A и пробе 1, в которых истинное значение показателя одинаково. На втором месте по представительности будет сопоставление с пробой 2 и лишь на третьем – с самой приближенной к скважине пробой 3.

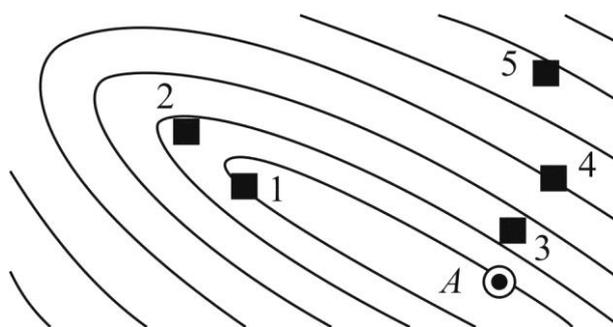


Рис. 1.11. К обоснованию принципа отбраковки сопоставлений

Таким образом, представительность сопоставления определяется не столько расстояниями между точками измерений, сколько соответствием ориентации соединяющей их линии направлению наименьшей изменчивости показателя.

Если направления между сопоставляемыми замерами совпадают с направлением изолиний, то между разностями сопоставляемых результатов измерений и расстояниями между ними должна отсутствовать какая-либо зависимость (например, при сопоставлении данных по скважине *A* с данными замеров 1, 2 и 3).

В противном случае (например, при сопоставлениях с замерами 3, 4, 5) такая связь должна наблюдаться. Таким образом, главным критерием при выборе системы представительных сопоставлений является отсутствие статистической зависимости разности между замерами от расстояния между ними.

К сожалению, на практике истинный характер топографической поверхности показателя неизвестен.

Полностью исключить влияние природной изменчивости показателя на результаты оценки погрешностей его скважинных измерений невозможно. Но вполне возможно снизить это влияние до разумных пределов.

Если при совместном влиянии на результат двух погрешностей (измерений и вызванных влиянием изменчивости) величина одной из них (обусловленной, в нашем случае, изменчивостью) будет в два раза меньше другой, то ее вклад в общую погрешность составит, в соответствии с теорией погрешностей измерений, лишь 12 %. Такой уровень влияния природной изменчивости на результаты сопоставлений авторы считают приемлемым.

Из вышесказанного в основу методики сопоставлений положено следующее представление:

$$d_i^2 = m^2 + a^2 R_i^2, \quad (1.13)$$

где d_i – свободная от систематической составляющей разность между значениями показателя по данным горных и геологоразведочных работ по i -му сопоставлению; m – среднеквадратическая погрешность измерения показателя в скважине; a – коэффициент влияния изменчивости на результаты сопоставлений; R_i – расстояние между местом замера показателя в горной выработке и скважиной по i -му сопоставлению.

Имея n сопоставлений, можно записать систему из n уравнений вида (1.13), решить ее по методу наименьших квадратов и найти значения a и m . При формировании сопоставлений вполне допустимо производить сравнение данных по одной скважине с несколькими замерами.

Нахождение свободных от систематических составляющих разностей осуществляется по формуле

$$d_i = G_i - M_i - C, \quad (1.14)$$

где G_i – значение измеренного в скважине показателя в i -м сопоставлении; M_i – значение измеренного в горной выработке признака в i -м сопоставлении; C – систематическая составляющая.

Составляющая C рассчитывается для всего массива сопоставлений следующим образом:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n G_i - \sum_{i=1}^n M_i}{n}. \quad (1.15)$$

Учет систематической погрешности необходимо производить лишь в случае, когда она имеет статистически значимый характер, который предлагается оценивать с помощью методики [21].

Ее сущность состоит в следующем. Пусть имеется совокупность сопоставлений значений признаков по данным горных (M_i) и разведочных работ (G_i) – табл. 1.1.

Если рассматриваемые источники данных имеют систематические расхождения в результатах измерений, то должна наблюдаться определенная закономерность в соотношении их значений.

Результаты сопоставлений

По данным	Значения показателя по сопоставлению с номером							
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n
горных работ	10,5	12,3	9,5	...	M_i	...	21,1	7,9
разведки	8,3	13,7	9,5	...	G_i	...	22,4	5,2

Например, первый метод определения (данные эксплуатации), может иметь в основном более высокие значения признака и т. д. Причем это должно наблюдаться вне зависимости от того, какой характер имеют систематические погрешности: постоянный или связанный со значением измеренного показателя.

Для вскрытия наличия и анализа значимости этих расхождений непосредственные измерения переводятся в ряд натуральных чисел путем ранжирования. Для этого максимальному значению признака в сопоставлении присваивается ранг $b_{ji} = 1$, а минимальному $b_{ji} = 2$. Если оба значения показателя равны, то обоим измерениям присваивается одинаковый ранг 1,5.

В соответствии с описанными правилами после проведения ранжирования данных табл. 1.1 примет вид табл. 1.2.

Наличие систематических погрешностей должно приводить к появлению закономерностей в распределении ранжированных значений измерений по сопоставлениям – к статистически значимой «похожести» находящихся в колонках последовательностей рангов.

Ранжированные результаты сопоставлений

По данным	Значения признаков по сопоставлению с номером								Суммы по строкам
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n	
горных работ	1	2	1,5	...	b_{Mi}	...	2	1	U_M
разведки	2	1	1,5	...	b_{Gi}	...	1	2	U_G

Данное обстоятельство легко оценивается с помощью известного коэффициента конкордации W . Для расчета W находятся суммы записанных в строках таблицы чисел

$$U_M = \sum_{i=1}^n b_{Mi} ; U_G = \sum_{i=1}^n b_{Gi} \quad (1.16)$$

и параметр

$$S = (U_M - 1,5n)^2 + (U_G - 1,5n)^2. \quad (1.17)$$

Собственно коэффициент конкордации W рассчитывается по формуле

$$W = \frac{2S}{n^2}. \quad (1.18)$$

Значение коэффициента W изменяется от 0 (полное отсутствие какой-либо закономерности в размещении рангов, а следовательно, и систематической составляющей) до 1 (идеальное совпадение последовательности рангов и, следовательно, чрезвычайно ярко выраженное наличие систематической составляющей).

Расчет систематической погрешности по формуле (1.15) и ее последующий учет целесообразно проводить только при $W \geq 0,6$.

Решение системы уравнений вида (1.13) по методу наименьших квадратов приводит к расчетным формулам (1.19) и (1.20).

$$a^2 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 R_i^2}{\sum_{i=1}^n R_i^2}}{\frac{\sum_{i=1}^n R_i^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n R_i^4}{\sum_{i=1}^n R_i^2}} ; \quad (1.19)$$

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - a^2 \sum_{i=1}^n R_i^2}{n}. \quad (1.20)$$

Знак при a^2 может быть как положительным, так и отрицательным и зависит от степени сложности и характера топографической поверхности. Знак при m^2 , напротив, всегда должен быть положительным. Отрицательное значение m^2 свидетельствует о наличии в массиве сопоставлений разностей, обусловленных грубыми ошибками.

Поскольку рискованно производить сопоставления на расстояниях, при которых существенно влияние изменчивости, результаты сопоставлений можно считать достоверными лишь в случае, если

$$m \geq 2 |aR_{\text{ср}}|, \quad (1.21)$$

где $R_{\text{ср}}$ – среднее расстояние между замерами и скважинами.

Подготовка исходных данных для производства оценки погрешности скважинных измерений (определений) сводится к тому, что на плане горных работ с нанесенными положениями пласто-подсечений и мест замеров (отбора проб) в горных выработках намечаются пары сопоставляемых замеров. Для каждого из сопоставлений определяется разность d , расстояние между замерами R и квадраты этих значений.

Собственно оценка точности производится итерационно. На первом этапе строится график зависимости квадратов d от квадратов расстояний сопоставлений R (рис. 1.12, а). Для этого по формулам (1.14), (1.15), (1.19), (1.20) определяют квадраты ожидаемой погрешности m и коэффициента влияния изменчивости a , по которым отстраивают положение прямой (сплошные линии на рис. 1.12), связывающей квадраты разностей и расстояний.

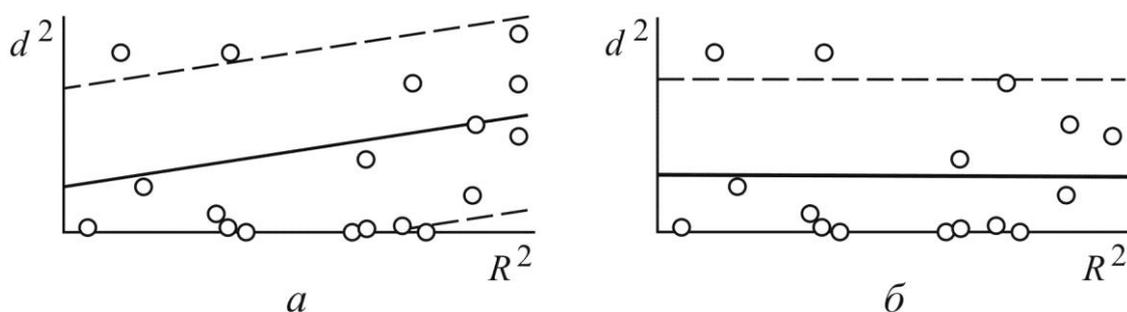


Рис. 1.12. Графики зависимости квадрата разности результатов измерений в скважинах и в горных выработках от квадрата расстояния между точками измерений

Кроме того вычисляется среднеквадратическое отклонение квадратов теоретических и фактических значений по формуле

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^2 - m^2 - a^2 R_i^2)}{n}}. \quad (1.22)$$

Выделяются сопоставления, для которых модуль разности $d_i^2 - m^2 + a^2 R_i^2$ превышает $1,5\sigma_R$. Такие сопоставления «подозреваются» на предмет использования в них данных, искаженных грубыми ошибками, содержащими описки или обладающими особыми условиями отбора и испытания проб. Для упрощения поиска таких сопоставлений на графике показываются граничные линии, отстоящие от основной на величину $1,5\sigma_R$ (пунктирные линии – см. рис. 1.12). Из обработки исключаются только те сопоставления, ошибочность которых была документально обоснована. Если такие сопоставления имели место, то рассчитываются новые значения величин m и a .

После получения значений m и a по выборке, не содержащей грубых ошибок, проверяется выполнение условия (1.21). Если оно выполняется, то процесс вычислений завершается, и полученное значение погрешности m признается искомым. Если условие не выполняется (как это имеет место для рис. 1.12, *а*), то начинается фильтрация данных: из выборки последовательно исключаются сопоставления (начиная с имеющих максимальные расстояния), наличие которых увеличивает отклонение углового коэффициента a аппроксимирующей прямой от нуля. Удаление производится до тех пор, пока условие (1.21) не начнет выполняться (как на рис. 1.12, *б*).

При выполнении сопоставлений рекомендуется обеспечить постоянство условий и методики проведения скважинных измерений, что достигается формированием однородных массивов исходных данных. В частности, для определения критических значений выхода керна, при которых сохраняется приемлемая достоверность результатов изучения качества угля, обычно формируются и индивидуально обрабатываются массивы сопоставлений, группируемые по выходу керна. Обычно выделяются три группы сопоставлений: с хорошей (выход керна свыше 70 %), удовлетворительной (выход керна от 50 до 70 %) и низкой (от 30 до 50 %) представительностью.

Вопросы для самопроверки

1. Какие задачи решаются с помощью инклинометрической съемки?
2. В чем заключается метод «средних углов», применяемый для обработки результатов инклинометрической съемки?

3. С какой глубины наклонные скважины обязательно подлежат инклинометрической съемке?

4. Что означает текст «1,34 (0,10) 0,27 (0,32) 2,15», помещенный рядом со скважиной на геологическом разрезе?

5. Равны ли углы, указанные рядом со скважиной на геологическом разрезе, и углы падения пород?

6. Что означает текст «357,4», помещенный рядом со скважиной на геологическом разрезе?

7. Раскройте содержание условных знаков, используемых при подготовке планов подсчета запасов (рис. 1.4).

8. Какая отметка пласта указывается на подсчетном плане: кровли или почвы пласта?

9. Раскройте содержание условных знаков, используемых при отображении структурных колонок пластов (рис. 1.8).

10. Какие данные необходимы для оценки погрешности координат плаstopодсечений?

11. Какое количество сопоставлений необходимо для достоверного определения погрешности координат плаstopодсечений?

12. В каком случае оценивается наличие систематической погрешности определения высотных отметок плаstopодсечений?

13. Для решения каких задач используются результаты исследования погрешностей определения показателей качества угля?

14. Что является критерием представительности массива сопоставлений данных о мощности пласта и показателей качества угля, полученных в процессе геологоразведочных и эксплуатационных работ?

Глава 2. ВЫБОР ВИДА И ПАРАМЕТРОВ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

2.1. Виды горно-геометрических моделей

Как известно, существуют три основных вида горно-геометрических моделей: графическая (изменение показателя описывается системой изолиний), цифровая (указываются значения показателя в узлах наброшенной на участок сетки, как правило, правильной прямоугольной формы) и аналитическая (значение признака описывается аналитической функцией).

Каждая из моделей может быть преобразована в другой вид. Для преобразования графической модели в аналитическую модель предварительно формируется цифровая модель, определение значения признака в узлах которой производится с помощью интерполяции между изолиниями. И лишь затем цифровая модель аппроксимируется аналитическими функциями. Цифровая модель используется и для преобразования аналитической модели в графическую.

При использовании компьютерных технологий основное значение имеют цифровые модели, создаваемые путем применения различных технологий (в том числе и геостатистических) интерполяции значений показателя на ее узел. Визуализация этих моделей осуществляется путем построения изолиний, которое при высокой плотности узлов не вызывает каких-либо проблем.

Исходя из реальных потребностей маркшейдерских служб горных предприятий в подавляющем большинстве случаев строится (вручную или с использованием программных продуктов) и используется графическая модель.

Аналитическое моделирование размещения значений признаков на современном этапе не перспективно. До сих пор не удалось решить его краеугольный вопрос – выбор вида (и степени) аппроксимирующей функции.

Кроме того, такие модели трудно поддаются корректировке, необходимость и возможность которой всегда диктуется накапливаемым опытом горных работ.

Тем не менее, один из видов аналитических моделей с успехом используется на практике и малотрудоемок в построении.

Эта модель имеет вид

$$P(x, y) = b = \text{const} , \quad (2.1)$$

где $P(x, y)$ – значение показателя в точке пласта с координатами x и y ; b – среднее значение показателя в пределах оцениваемого контура.

Построение такой модели не вызывает затруднений, а в некоторых случаях ее точность вполне отвечает потребностям производства. Аналитические модели вида (2.1) строятся как для всего шахтного поля, так и для его частей, и в этом случае можно говорить о блочной аналитической модели. По сути дела именно такой подход к моделированию используется геологоразведочными организациями при подсчете запасов методом геологических блоков.

Модели, основанные на сглаживании исходных данных, редко применяются в процессе горно-геометрического обеспечения ведения горных работ угольных предприятий, и поскольку методика их построения хорошо описана в учебной литературе, в пособии не рассматриваются.

В условиях сложнодислоцированных месторождений применяется графически-цифровая модель, имеющая вид блок-диаграммы.

Результаты геометризации всегда предназначены для решения вполне конкретных практических задач. Поэтому, прежде чем приступить к геометризации, необходимо четко их сформулировать и осознать, какая из моделей позволит их решить.

Первым этапом горно-геометрических работ является выбор вида модели. На выбор вида модели влияет объем имеющейся информации. Дело в том, что ее количество может быть таким, при котором построенная графическая модель не будет иметь преимуществ по точности перед моделью вида (2.1). Причина этого кроется в существовании одной из двух ситуаций.

Во-первых, изменения значений изучаемого признака с точки зрения характера решаемой задачи могут быть незначительными и даже сопоставимыми с погрешностью измерений.

В этих условиях наиболее приемлемой является аналитическая модель вида (2.1), в то время как построение графической или цифровой модели в этих условиях является бессмысленным.

Во-вторых, плотность сети измерений и их конкретное размещение по объекту может не обеспечивать правомерности интерполяции. В этом случае расстояние между замерами так велико, что результаты интерполяции между ними не будут иметь ничего общего с реальностью. Формально графическая модель может быть построена и в этом случае, но она не будет отражать реального характера размещения значений признака в пространстве недр. Она будет нести в себе не информацию, а дезинформацию, будет вредна, т. к. решения, принятые на ее основе, будут ошибочными.

Представим себе помещение маркшейдерского отдела, в котором за каждым столом сидит человек, имеющий определенный вес. Нанеся места нахождения людей на план рабочей комнаты и приписав каждому из них значение веса человека, можно построить изолинии этих весов. Пользуясь такой моделью, мы будем считать, что в различных, подчас не вполне подходящих, местах находятся люди с вполне определенным весом. К таким неестественным выводам мы приходим здесь потому, что модель отстроена в условиях отсутствия геометрической связи между замерами, т. е. в условиях отсутствия правомерности интерполяции.

Если в приведенном примере это отсутствие очевидно, то при геометризации гипсометрии и мощностей пластов, показателей качества угля такой очевидности нет. Поэтому, если ответ на «задаваемый» вопрос технологического или экономического характера требует построения графической модели, то, прежде всего, необходимо оценить правомерность ее построения исходя из имеющихся исходных данных. Методика выполнения такой оценки будет изложена при рассмотрении вопросов оценки достоверности результатов геометризации. Если правомерность отсутствует, то необходимо либо ставить вопрос о проведении дополнительных разведочных работ, либо вообще отказаться от решения поставленной задачи.

При построении графической модели предварительно решаются следующие задачи:

- выбор плоскости проекции;
- построение графической основы;
- выбор сечения изолиний;
- выбор имен изолиний.

2.2. Выбор плоскости проекции и построение основы графической модели

Работы по построению графической модели начинаются с создания ее графической основы, на которую обязательно наносятся точки взятия проб или производства измерений, значения признака в них, линии разведочных скважин, по которым выполнено построение геологических разрезов, основные структурные линии (выход пласта под наносы, оси складок, проекции сместителей разрывных нарушений), границы участка недр.

Плоскости проекций принимаются соответствующими плоскостям, использованным при построении планов горных работ. При геометризации пластов с горизонтальным (до 3°), пологим (от 3 до 18°), наклонным ($19\text{--}35^\circ$) и, частично, с крутонаклонным ($36\text{--}55^\circ$) залеганием построения выполняются в проекции на горизонтальную плоскость. Для части крутонаклонных и всех крутых ($56\text{--}90^\circ$) пластов в качестве основы используется проекция на вертикальную плоскость. В середине прошлого века помимо горизонтальных и вертикальных использовались и наклонные плоскости проектирования.

При геометризации пласта допускается выполнение графической основы его фрагментов в различных проекциях (рис. 2.1). В этом случае обязательно обеспечивается небольшое их взаимное перекрытие.

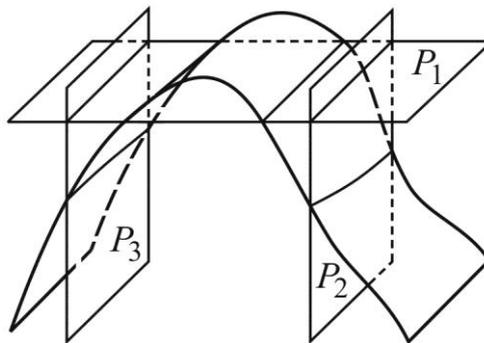


Рис. 2.1. Система плоскостей проекций графической модели

2.3. Выбор величины сечения и имен изолиний

При геометризации часто возникает необходимость в построении изолиний определенных значений признака.

К ним относятся, например, изолинии кондиционных значений мощностей и зольности, по которым запасы, по экономическому значению, разделяются на балансовые и забалансовые; изолинии значений показателей, при которых происходит смена марочного состава угля; изолинии мощности пласта, соответствующие раздвижке того или иного типа механизированной крепи и так далее.

Если для ответа на вопросы, решаемые с помощью геометрической модели, достаточно установления положения только таких изолиний (границ контуров), то на данном этапе составляют список их значений («имен») и переходят к их построению.

Если решаемые по модели задачи требуют последующего определения значения признака в любой точке пласта, то осуществляется выбор величины сечения изолиний и лишь затем, на ее основе, назначается их список.

Например, если мощность изменяется от 0,53 м до 1,26 м, а рациональное сечение изолиний равно 0,2 м, то список имен изолиний будет выглядеть следующим образом: 0,6 м; 0,8 м; 1,0 м; 1,2 м. То есть сечение изолиний выбирается постоянным для всего участка. Однако если помимо задачи прогноза значений возникает и задача выделения контура, то это правило может быть нарушено. Например, если для приведенного примера кондиционная мощность равна 0,7 м, то в приведенном списке имен изолиний добавится 0,7 м.

Прежде чем перейти к вопросу собственно определения сечений изолиний, необходимо обратить внимание на желательность выбора определенных имен изолиний. Дело в том, что при последующем прогнозе значений признака это облегчит интерполяцию между изолиниями, позволит легко проводить ее «на глаз».

Например, при сечении изолиний в 20 см на середине расстояния между ними величина приращения мощности будет 10 см, на середине середины – 5 см. Зрительно разделить четверть расстояния между изолиниями на пять в этом примере не сложно. Такое сечение позволит легко, «на глаз», производить интерполирование с точностью до 1 см.

Другое дело сечение 25 см. На середине между изолиниями приращение равно 12,5 см, на четверти расстояния – 6,25 см. В этом случае использовать интерполяцию «на глаз» значительно сложнее.

Поэтому, с позиции последующего «ручного» использования модели, наиболее рациональными являются сечения, величина которых отвечает условию

$$h = 2^k q, \quad (2.2)$$

где h – сечение изолиний; k – произвольное целое число; q – требуемая точность определения значения показателя по графической модели.

Выбор оптимального сечения изолиний из их совокупности, сформированной по условию (2.2), рекомендован методическим нормативным документом [3]. С этой точки зрения, при необходимой точности определения в одну единицу, сечение величиной 8 является предпочтительней сечения величиной 10. Однако традиционная приверженность к десятичной системе исчисления вызывает отторжение принятия сечений, кратность которых отличается от пяти.

Следует помнить, что отображаемая изолиниями топографическая поверхность, как правило, имеет переменную сложность. Особенно это свойственно угольным месторождениям, поскольку в большинстве случаев угольные пласты представлены суперпозицией угольных линз. В связи с этим получаемые любыми методами сечения изолиний являются лишь преимущественно используемыми и могут быть уменьшены на отдельных фрагментах геометризруемого участка недр.

В настоящее время используется несколько методик выбора сечения. Часть из них исходит из того, что высота сечения изолиний показателя должна соизмеряться с уровнем случайной составляющей изменчивости показателя – превышать ее.

В соответствии с предложением Г. И. Вилесова, изолинии должны отстраиваться при таком сечении, которое обеспечивает среднее расстояние между изолиниями на плане 5–10 мм (в зависимости от сложности изучаемой поверхности, но вне зависимости от масштаба плана).

Такая плотность изолиний гарантирует точное изображение топоповерхности, но требует значительных трудозатрат и является, как правило, избыточной.

Второй распространенный подход состоит в определении сечения изолиний h исходя из неравенства

$$h \geq t_p \sigma_{\text{сл}}, \quad (2.3)$$

где t_p – квантиль закона распределения погрешности показателя (обычно принимается равным 2 [8] либо 1,5 [11]); $\sigma_{\text{сл}}$ – мера случайности в размещении показателя.

Величина $\sigma_{\text{сл}}$ определяется для линий, состоящих из n замеров, по формуле [8]:

$$\sigma_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i'^2}{2(n-1)}}, \quad (2.4)$$

где Δ_i' – разности (первые разности) показателей в i и $i+1$ точках линии.

В [11] формулу (2.3) рекомендуется применять при моделировании однородного случайного поля. Однородной считается такая совокупность измерений показателя, все значения которой подчиняются единому закону распределения, и любые выборки из этой совокупности имеют незначимо отличные от генерального математические ожидания и дисперсии. В противном случае [11] рекомендуется применять иную формулу:

$$\sigma_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-2} \Delta_i''^2}{6(n-2)}}, \quad (2.5)$$

где Δ_i'' – вторые разности, т. е. разности первых разностей Δ_i' .

Другой подход, положенный в основу Рекомендаций [3], одобренных к применению Главным управлением топливно-энергетических ресурсов Мингео СССР, исходит из того, что используемое сечение изолиний должно обеспечивать их построение с плотностью, обеспечивающей последующую линейную интерполяцию между ними. Такое сечение обеспечивает согласованность изолиний, нарушение которой приводит к тому, что они получают безразличный характер и перестают однозначно определять направления ската поверхности.

Для того чтобы сравнить два указанных подхода, попытаемся ответить на несколько вопросов.

Во-первых, для каких целей создается графическая модель? – Для того чтобы впоследствии иметь возможность прогнозировать значение признака в любой точке пласта.

Во-вторых, каким образом осуществляется это прогнозирование? – Путем линейной интерполяции между изолиниями.

От каких факторов зависит точность прогнозирования? – От точности определения геометризуемой (закономерной) и случайной составляющих изменчивости.

Зависит ли точность определения геометризуемой составляющей от величины сечения изолиний? – Да, зависит – чем меньше сечение, тем меньшую погрешность будет иметь интерполяция.

Зависит ли величина случайной составляющей от величины сечения изолиний? – Такой зависимости быть не может.

Отсюда, по-видимому, можно сделать вывод о том, что в неравенстве (2.3) сравниваются разные по смыслу определения. Величина, полученная из (2.3), – это не сечение, а своего рода доверительный интервал положения изолиний. Принятие его в качестве сечения может привести к неоправданному росту погрешности определения геометризуемой составляющей.

Кроме того, использование для расчета $\sigma_{сл}$ формул (2.4) или (2.5) может приводить к уменьшению сечения изолиний относительно необходимого, а следовательно, к росту трудозатрат. Это будет происходить, когда геометризуемая составляющая описывается плоскостью или близкой к ней поверхностью, для весьма точного изображения которой достаточно двух изолиний, имеющих форму параллельных прямых.

Выбор сечения изолиний по методике [3] состоит в следующем. Принимается какое-либо сечение, значение которого априорно превышает необходимое (например, такое, при котором по участку могут быть построены только 2-3 изолинии), и производится построение изолиний. Затем сечение уменьшается в два раза, и отстраиваются новые изолинии. Этот цикл операций повторяется до тех пор, пока вновь отстраиваемые изолинии не будут лежать практически на середине между уже построенными.

Это значит, что произведено избыточное сгущение изолиний и последние отстроенные изолинии являются лишними, так как не изменят результаты прогнозирования с помощью модели.

Например, были построены изогипсы через 40, 20 и 10 м. При этом изолинии при сечении 10 м находятся на середине расстояния между изогипсами, построенными при сечении 20 м. Следовательно, для графического изображения рассматриваемой поверхности достаточно использовать сечение 20 м.

Описанный подход прост и доступен, однако требует избыточных построений, подчас значительных. Особенно велик их объем при выходе на «неудобные» сечения (например, из ряда 15; 7,5; 3,75; 1,875 и так далее). В этом случае приходится округлять полученное оптимальное сечение в меньшую сторону и вновь производить построение изолиний с новым сечением (например, при рациональном сечении 7,5 принимать 6 и так далее).

Поэтому проще, реализуя описанный подход, заранее выбирать сечение изолиний.

Пусть по участку построены изолинии a и b с рациональным сечением h (рис. 2.2).

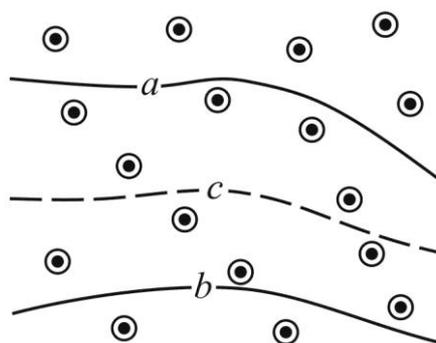


Рис. 2.2. К выбору сечений изолиний

Тогда промежуточная линия c (значение которой равно сумме a и b) проходит через середины расстояний между ними, а следовательно, площади, оконтуренные изолиниями a и c и c и b (а также границами участка), равны между собой. В этом случае, исходя из геометрического понятия вероятностей, можно предполагать, что в случае равномерного распределения скважин по площади участка должно иметь место равенство вероятностей попадания скважин в контуры ac и bc .

Исходя из выполнения этого равенства для отдельной пары изолиний, можно говорить и об одинаковом законе распределения числа точек, попавших в левые (ac) и правые (bc) части интервалов, а также в сами интервалы (ab), на которые может быть разделена вся совокупность выполненных измерений.

Оценка степени близости распределений по левым и правым частям интервалов к распределению по самим интервалам может быть, в указанных условиях, произведена с помощью критерия λ А. Н. Колмогорова:

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{n}}, \quad (2.6)$$

где D – максимум модуля разности накопленных эмпирических и теоретических частот; n – общее число наблюдений в эмпирическом распределении.

Определение D производится в табл. 2.1 в следующем порядке.

1. Задается исследуемое значение сечения изолиний – интервал (0,1 м в табл. 2.1) и определяется количество замеров, попавших в каждый интервал (колонка 2) и в его левую (колонка 5) и правую (колонка 9) части. В данном фактическом примере мощность пласта в пределах от 1,8 до 1,9 м имеют 6 скважин (колонка 2), из них от 1,8 до 1,85 м – 4; от 1,86 до 1,9 м – 2. Сумма чисел по строкам, принадлежащим колонкам 5 и 9, равна числу в строке колонки 2.

2. Находятся накопленные частоты (колонки 3, 6 и 10). Значение накопленной частоты по интервалу равно сумме частот данного и всех предшествующих интервалов.

3. Рассчитываются накопленные теоретические частоты (колонка 4), путем деления чисел в строках колонки 3 на общее количество скважин: $6 / 76 = 0,079$.

4. Заполняются колонки 7 и 11 путем умножения колонки 4, соответственно на общие суммы по колонкам 5 и 9, то есть: $0,079 \times 35 = 2,8$ и $0,079 \times 41 = 3,2$.

5. Находятся разности D . В колонке 8 записывают взятые по абсолютной величине разности чисел в колонках 6, 7, а в колонке 12 – 10, 11.

6. Находятся максимальные значения D . Для левой половины интервала она равна 2,5, а для правой – 2,0. Затем по формуле (2.6) определяются значения критериев А. Н. Колмогорова: $\lambda_{л} = 0,42$; $\lambda_{п} = 0,31$. В дальнейшем используется только максимальное значение $\lambda = 0,42$.

Таблица 2.1

Определение максимума модуля разности накопленных эмпирических
и теоретических частот

Интервал	По интервалу в целом			По левой части интервала			По правой части интервала			D	
	частота	накопленная частота	частость	частота	накопленная частота	теоретическая частота	частота	накопленная частота	теоретическая частота		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,81–1,90	6	6	0,079	4	4	2,8	1,2	2	2	3,2	1,2
1,91–2,00	5	11	0,115	2	6	5,1	0,9	3	5	4,7	0,3
2,01–2,10	13	24	0,316	3	9	11,5	2,5	10	15	13,0	2,0
2,11–2,20	14	38	0,500	8	17	17,5	0,5	6	21	20,5	0,5
2,21–2,30	25	63	0,829	12	29	29,0	0,0	13	34	34,0	0,0
2,31–2,40	0	63	0,829	0	29	29,0	0,0	0	34	34,0	0,0
2,41–2,50	7	70	0,921	5	34	32,2	1,8	2	36	37,8	1,8
2,51–2,60	4	74	0,974	0	34	34,1	0,1	4	40	39,9	0,1
2,61–2,70	2	76	1,000	1	35	35,0	0,0	1	41	41,0	0,0
Суммы	76			35				41			

Исследование и расчет λ должны производиться начиная с больших сечений.

После расчета λ для различных сечений строится график ее зависимости от величины сечения (рис. 2.3). По графику находится необходимое сечение, соответствующее минимуму λ (25 м на рис. 2.3).

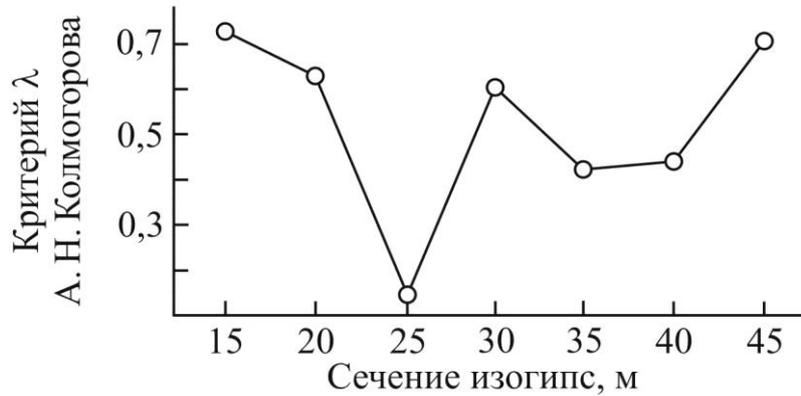


Рис. 2.3. Зависимость значения критерия А. Н. Колмогорова от величины сечения изогипс (пласт Инский III участка недр «Полысаевский Восточный»)

При применении подхода, реализуемого Рекомендациями [3], надо помнить о следующих обстоятельствах.

Во-первых, критерием выбора рационального сечения является расположение «излишних» изолиний на середине между «рациональными».

Во-вторых, проведение анализа с помощью критерия А. Н. Колмогорова предполагает равномерность размещения замеров (скважин) по площади изучаемого участка. Поэтому для обеспечения равномерности иногда требуется исключать некоторую их часть из обработки, преимущественно часть сближенных скважин.

В-третьих, получаемые в результате оценки сечения являются максимально допустимыми и их уменьшение, с позиции Рекомендаций [3], является правомерным.

Вопросы для самопроверки

1. Какие плоскости проектирования используются для построения графических моделей?
2. Каким образом графические модели трансформируются в аналитические?

3. Назовите виды моделей и преимущества каждой из них.
4. Какие подходы используются для определения сечений изолиний? Их достоинства и недостатки.
5. Могут ли полученные в результате расчетов сечения изолиний быть уменьшены или увеличены по отдельным фрагментам объекта геометризации?
6. Как выбираются «имена» изолиний?
7. Могут ли цифровые модели использоваться для определения элементов залегания пласта?
8. Могут ли цифровые модели использоваться для планирования горных работ?

Глава 3. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОЛИНИЙ ГИПСОМЕТРИИ ПЛАСТОВ

3.1. Построение изолиний методом ступенчатых отметок

Линии равных высотных отметок почвы угольных пластов принято называть изогипсами. Изогипсы горизонтальных, пологих, наклонных и большинства крутонаклонных пластов отстраиваются в проекции на горизонтальную плоскость методом ступенчатых отметок (методом профилей).

В ряде случаев для этих целей может быть использован метод многогранников. Однако его применение возможно только на отдельных участках выдержанных моноклиналов и требует специального обоснования. В силу этого лучше всего или полностью отказаться от применения последнего метода, или применять его только после накопления значительного личного опыта графического моделирования.

Метод ступенчатых отметок реализуется следующим образом.

1. Выбираются наименования горизонтов, изогипсы которых предполагается отстраивать.

2. На имеющихся геологических разрезах, специальных сечениях и т. д. проводятся линии выбранных горизонтов и находятся точки их пересечения с линией, описывающей положение почвы геометризируемого пласта.

Например, пусть имеется два разреза I и II (рис. 3.1) и требуется построить на плане изогипсы 100 м.

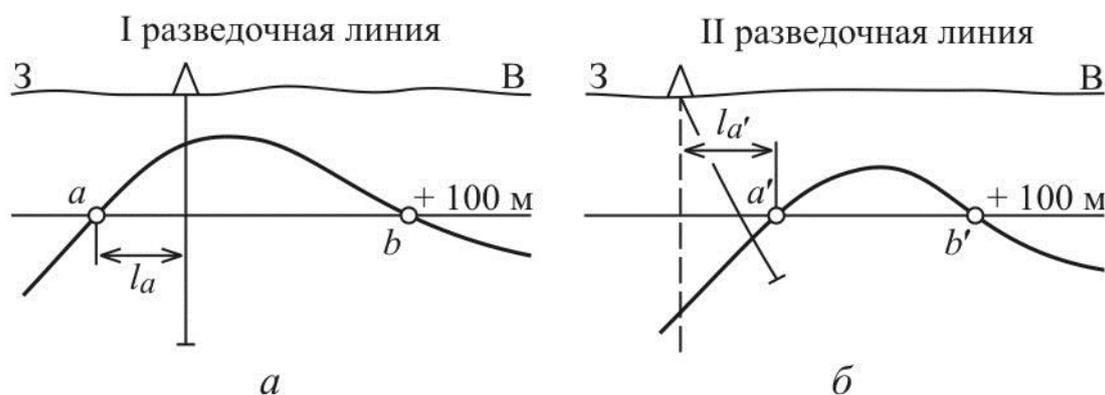


Рис. 3.1. Фрагменты разрезов по разведочным линиям

В этом случае необходимо осуществить построение линий горизонта 100 м на каждом из разрезов и найти точки, соответственно a, b и a', b' , пересечения этих горизонтов с почвой пласта.

3. Точки a, b и a', b' должны быть перенесены на план. Перенос осуществляется следующим образом. На разрезе находится горизонтальное расстояние от рассматриваемой точки (a на рис. 3.1, a и a' на рис. 3.1, б) до вертикальной линии, опущенной из устья ближайшей к ней скважины (l_a и $l_{a'}$). Это расстояние откладывается уже на плане (рис. 3.2) вдоль направления разведочной линии от устья этой же скважины.

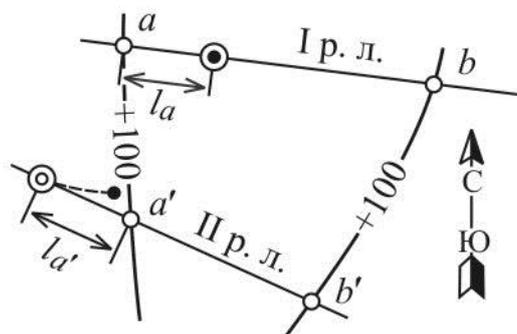


Рис. 3.2. Построение изогипсы в пространстве между разведочными линиями

Разумеется, делается это с учетом ориентировки разреза (например, на I разведочной линии оно откладывается на запад от устья скважины, а на II – на восток). В результате на плане возникнут точки a, b и a', b' , имеющие равные значения высотных отметок, т. е. принадлежащие одноименным изогипсам (точки этого же типа будут встречаться на других разведочных линиях участка пласта). Соединив одноименные точки a, b и a', b' главной кривой, получают плановое положение изогипс. В выполнении перечисленных действий и состоит в своей основе метод ступенчатых отметок.

3.2. Построение гипсометрических планов при отсутствии разрывных нарушений

Описанная ниже методика построения изогипс, не учитывающая влияние разрывных дислокаций, применяется не только в условиях их действительного отсутствия, но и в качестве составного элемента методики построения гипсометрии пласта, осложненного разрывными нарушениями.

Построение гипсометрических планов производится непосредственно на угольном предприятии в трех случаях:

– при изменении представлений о положении пласта в недрах, выявленных в ходе горно-эксплуатационных работ (изменение вида геологических разрезов в результате опыта эксплуатации вышележащих горизонтов);

– при нерациональном сечении изогипс планов, переданных предприятию геологоразведочной организацией;

– при появлении новых отдельных точечных и линейных измерений в пространстве между разведочными линиями (разведочные и технологические скважины, квершлагги, уклоны и т. д.).

Рассмотрение методики начнем с первого случая. Пусть на геометризуемом участке имеется серия откорректированных геологических разрезов (описание процесса корректировки разрезов не входит в задачи данного пособия).

На первом этапе работы на разрезах находятся горизонты отстраиваемых изогипс и на план наносятся точки их встречи с геометризуемым пластом (точки типа a, b, a', b' – см. рис. 3.1, 3.2). Построения рекомендуется проводить вначале только для какой-либо одной изогипсы, горизонт которой прослеживается на максимальном числе имеющихся разведочных линий. В этом случае чертеж еще не загроможден построениями, и, разрешив все вопросы, касающиеся ее положения, проще будет отстраивать другие изогипсы, во многом повторяющие характер ее поведения (она начинает выступать в качестве своего рода «направляющей» при построении других изогипс). Именно поэтому изогипсы строятся обычно «через одну» с последующим заполнением «пустот». Например, при сечении изогипс равном 20 м на участке пласта с отметками от -5 до $+110$ м вначале нужно отстроить изогипсу $+60$, затем $+20$ и $+100$ м, а лишь потом ± 0 , $+40$ и $+80$ м. После установления положения на плане точек с равными отметками, требуется выделить в их среде одноименные точки, т. е. точки, принадлежащие одной и той же изогипсе (на рис. 3.2 такими точками являются, например, точки a и a'). Соединив эти точки линией, получают положение изогипсы на плане.

В случае геометризации моноклиналильного участка определение одноименных точек не вызывает затруднений, т. к. каждая разведочная линия обладает только одной точкой с рассматриваемой отметкой.

Однако может возникнуть ситуация, когда на некоторой линии такая ранее встречающаяся точка будет уже отсутствовать. Например, на рис. 3.3 существуют точки A , B , C (разрезы I, II, III) с отметкой +100 м, а на разрезе VI точки с отметкой +100 уже нет, все отметки пласта по этой линии меньше +100 м. Соединив точки A , B и C плавной линией (отстроив изогипсу +100 м между разведочными линиями I, II и III), можно предположить, что изогипса 100 м выходит за пределы участка между линиями III и VI (предполагаемое положение изогипсы – пунктирная линия).

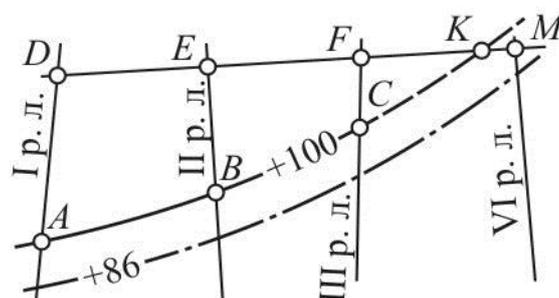


Рис. 3.3. Установление положения изогипсы моноκлиального участка, «исчезающей» между разведочными линиями

Уточнение положения изогипсы на таком участке можно производить двумя путями.

Первый путь состоит в том, что на линии VI выбирается точка с отметкой, максимально близкой к отметке отстраиваемой изогипсы (например, +86 м). Через эту точку и одноименные ей точки других линий проводится вспомогательная изогипса (в данном случае 86 м – пунктирная линия), которая не отображается на окончательном варианте гипсометрического плана.

На участке между линиями III–VI искомая изогипса отстраивается с учетом выявленной закономерности ее положения на участке между разведочными линиями I, II, III.

В качестве вспомогательной изогипсы может быть использована ранее отстроенная основная изогипса пласта, проходящая через все разведочные линии.

Однако если ожидаемая кривизна изогипсы на отстраиваемом участке претерпевает значительные изменения, то применение описанного подхода становится рискованным и для построений используется другой путь.

Он состоит в построении дополнительного разреза, проходящего вблизи точки выхода отстраиваемой изогипсы за пределы участка, и нахождении на нем точки с отметкой, равной отметке искомой изогипсы.

Проведя линию вспомогательного разреза (DM – см. рис. 3.3), находят точки ее пересечения с разведочными линиями (обычно достаточно взять четыре линии) – точки D , E , F и M . Отметки точек определяются с помощью разрезов по разведочным линиям I, II, III, VI после перенесения их с плана на эти разрезы. По линии DM строится разрез (обычно совмещенный) и на нем находится точка K , имеющая искомую отметку. Эта точка переносится на план и рассматривается в качестве точки, одноименной с A , B и C . При необходимости уточнения положения изолинии, помимо разреза DM , могут быть построены и другие дополнительные разрезы, т. е. между точками K и C можно получить еще несколько точек, принадлежащих отстраиваемой изогипсе.

Построение дополнительных разрезов может выполняться и в целях уточнения положения изогипсы, проходящей между двумя сечениями, например, значительно удаленными друг от друга. Пусть требуется уточнить положение изогипсы ± 0 м в пространстве между разведочными линиями 3 и 4 (рис. 3.4).

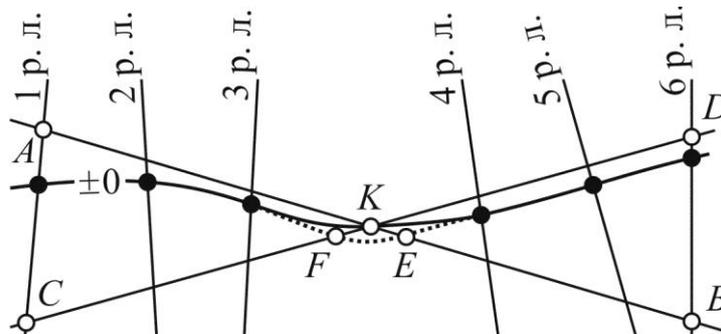


Рис. 3.4. Корректировка положения изогипсы в пространстве между разведочными линиями

Для этого на линии ожидаемого положения изогипсы, проведенной через одноименные точки, находящиеся на разведочных линиях 1, 2, 3, 4, 5 и 6, намечается точка K . Точка K выбирается произвольно, обычно ее располагают примерно на середине уточняемого участка, т. е. на середине расстояния между 3 и 4 разведочными линиями.

Через точку K проводят линии диагональных разрезов (AB и CD). Возможно построение только одного разреза, но желательно иметь их по меньшей мере два.

Затем, установив с помощью разведочных линий отметки пласта, выполняют, обычно в совмещенном варианте, собственно построение разрезов по линиям AB и CD , на которых находят положение точек E и F , имеющих отметку искомой изогипсы. После этого положение изогипсы корректируют таким образом, чтобы она проходила через точки E и F и одноименные точки соседних к ней разведочных линий (линия точек на рис. 3.4).

Если на геометризуемом участке существуют скважины, находящиеся вне разведочных линий, и скважины с непосредственно измеренными элементами залегания пласта, то желательно проводить диагональные разрезы таким образом, чтобы они проходили через точки плаstopодсечения этих скважин. Делается это в целях повышения качества построения уточняющих разрезов.

Описанная методика пригодна только для корректировки изогипсий, проходящих в его центральной части. Но именно такие изогипсы и отстраиваются в первую очередь, являясь, как уже говорилось, своего рода «проводниками» при проведении других изогипс на участке.

При геометризации пластов, имеющих складчатую структуру, установление одноименных точек представляет собой более сложную задачу. Дело в том, что на разрезе может находиться, в принципе, любое как четное, так и нечетное число точек с равными отметками. Поэтому в данном случае на основу гипсометрического плана с разрезов переносят положение всех инвариантных линий – осей складок.

При наклонном залегании осевой поверхности отстраивают положение оси на различных горизонтах. Методика выноса осей на план близка к методике переноса на него точек типа a и b (см. рис. 3.1, 3.2). Для этого на разрезах проводятся линии горизонтов, для которых будет отстраиваться положение оси, и находятся точки их пересечения с осями (точки A и K для горизонта $+20$ м и точки C и E для горизонта ± 0 м на рис. 3.5, a и рис. 3.5, b).

Затем эти точки (с использованием расстояний от ближайших к ним скважин) переносятся на план (рис. 3.5, $в$), и через них проводится плавная линия – положение осевой поверхности в сечении по рассматриваемому горизонту ($+20$ м и ± 0 м на рис. 3.5).

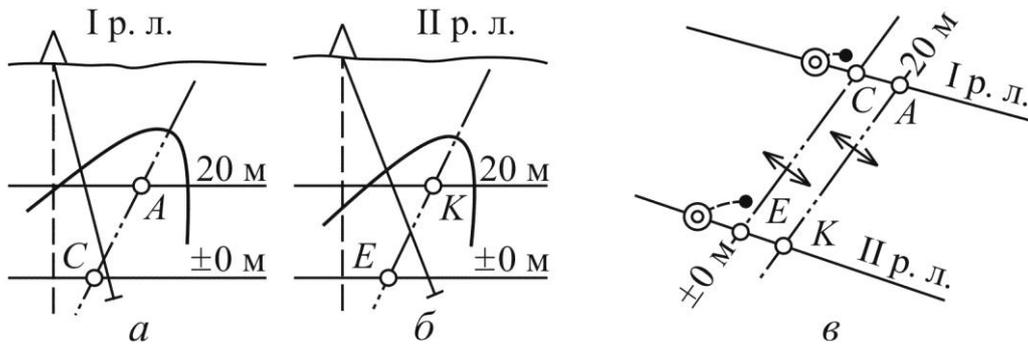


Рис. 3.5. Определение положения оси складки на горизонте по геологическим разрезам и построение оси складки в плане

Главная ошибка, которая может быть совершена при проведении инвариантных линий, состоит в построении оси по точкам типа *A* и *K*, принадлежащим в действительности различным складкам. Например, пусть на плане (рис. 3.6) на соседних разведочных линиях имеется по три точки (*A*, *B*, *C* и *E*, *F*, *K*) осей складок. Причем точки *A*, *C* и *E*, *K* принадлежат антиклиналям, а *B* и *F* – синклиналям. При формальном взгляде на плане можно изобразить три оси складки (рис. 3.6, *a*), но в действительности на участке могут находиться и 5 осей (рис. 3.6, *б*). Поэтому к вопросу построения инвариантных линий гипсометрии необходимо подходить очень серьезно, т. к. ошибка их положения имеет фатальный характер.

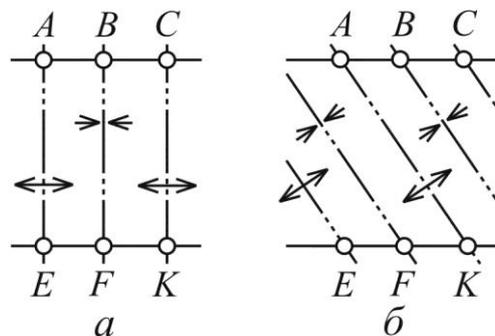


Рис. 3.6. Варианты увязки инвариантных линий

Однако при работе с современной геологической документацией угольных месторождений маркшейдерская служба редко испытывает трудности с прослеживанием складок от сечения к сечению. Если затруднения возникают, то проблема решается как с помощью использования геологических, так и горно-геометрических признаков (близость углов падения крыльев, угла и амплитуд одноименных складок на различных разрезах).

Однако существуют и немногочисленные эксплуатируемые месторождения очень высокой сложности строения (рис. 3.7), однозначное прослеживание структурных элементов которых не обеспечивается даже при высокой плотности размещения разведочных сечений. Достоверная геометризация таких объектов по классической схеме невозможна. Очень часто их удается описать лишь системой слоев (с толщиной, равной высоте уступа), каждый из которых характеризуется общей оценкой их запасов. Ведение горных (разумеется, открытых) работ на таких объектах осуществляется в условиях высокого риска.

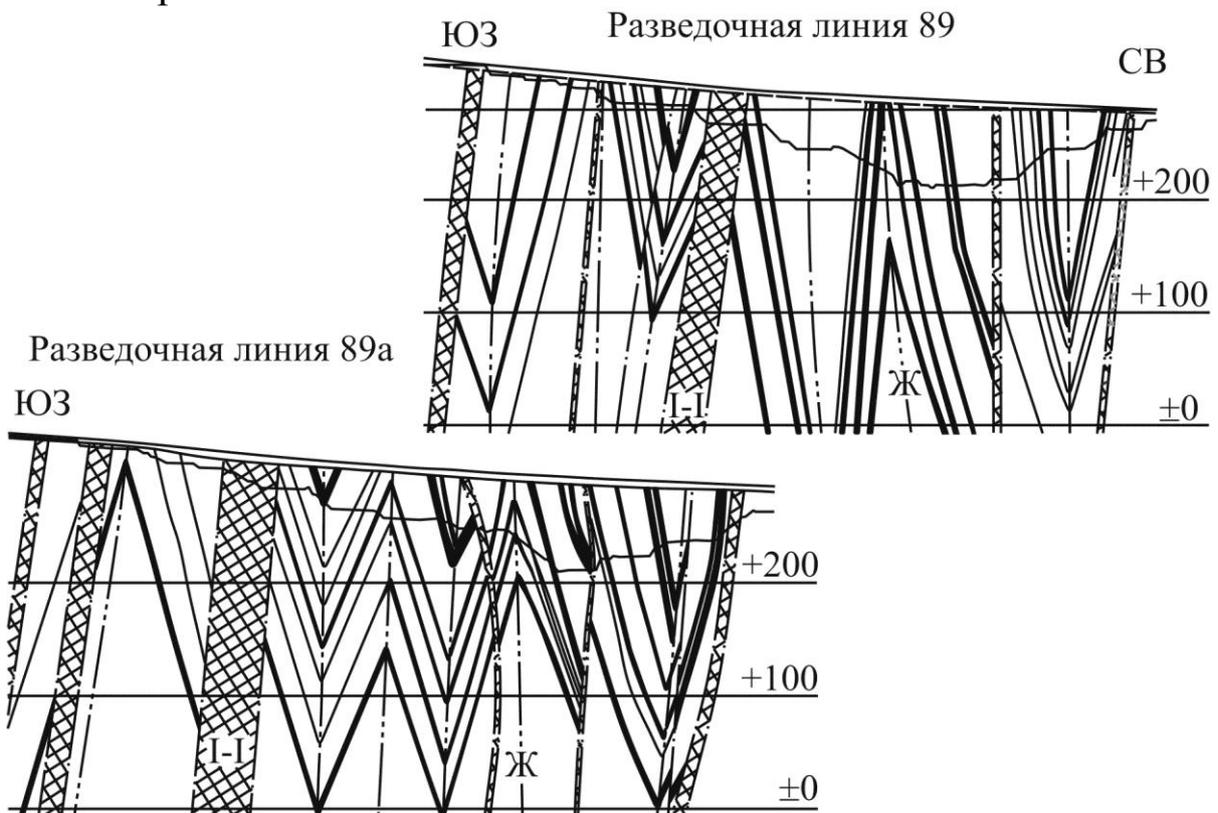


Рис. 3.7. Геологические разрезы по участку «Новобачатский» (открытые горные работы), удаленные друг от друга на 100 м

После построения инвариантных линий приступают к определению на разрезах точек, имеющих отметки отстраиваемой изогипсы. Причем работу ведут по каждой складке отдельно. Пусть, например, работа идет по оси складки, показанной на рис. 3.8 штрихпунктирной линией (оси остальных складок показаны пунктиром). На разрезах отыскиваются точки, ближайšie к этой оси, но лежащие по разные стороны от нее и не отделенные от рассматриваемой оси осями других складок.

Такие точки принадлежат изогипсам, описывающим складку. На разрезе их может быть две (E, E' – рис. 3.8, *а*), одна (F – рис. 3.8, *б*) или ни одной (рис. 3.8, *в*). Эти точки являются одноименными (принадлежащими одной изогипсе) и могут быть разделены на «левые» и «правые» относительно оси («восточные» и «западные», «северные» и «южные» и т. д.). Так, точка E' является «правой», E и F – «левыми».

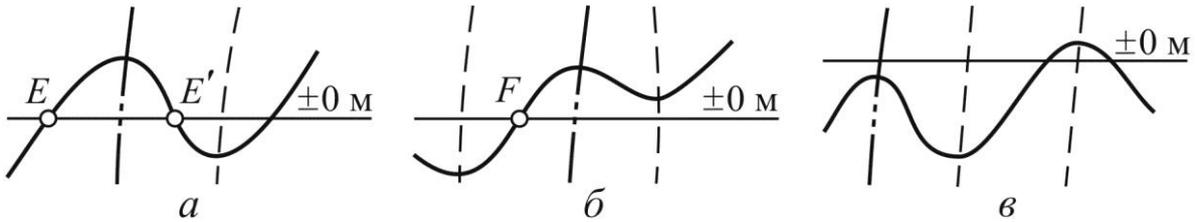


Рис. 3.8. «Левые» и «правые» одноименные точки складки

Рассмотрим порядок построения изогипсы при различном сочетании количеств ее одноименных точек на соседних разведочных линиях.

Если линии имеют по две точки, то строят две изогипсы, соединяя попарно плавными кривыми «левые» и «правые» одноименные точки так, чтобы отстраиваемые линии в целом повторяли положение оси и не пересекали ее. Например, пусть на разведочных линиях 1 и 2 имеется по две одноименные точки горизонта ± 0 м (две «левые» – E, F и две «правые» – E', F'), положение которых на плане показано на рис. 3.9.

Построив на плане положение оси на горизонте ± 0 м – AB , проводят изогипсы EF и $E'F'$ в виде плавных линий, повторяющих направление оси складки AB .

Если одна из линий имеет две одноименные точки (линия 2 на рис. 3.9), а другая таких точек не имеет вообще (линия 3 на рис. 3.9), то это означает, что в направлении от линии 2 к 3 происходит погружение или восстание оси складки. В этом случае две ранее отстроенные изогипсы EF и $E'F'$ должны замкнуться в виде кривой FTF' (рис. 3.9, *б*).

Проблема построения состоит, таким образом, в определении положения точки T . Для этого существуют два пути.

Первый путь применяется для складок с наклонным залеганием осевой поверхности. Он состоит в следующем.

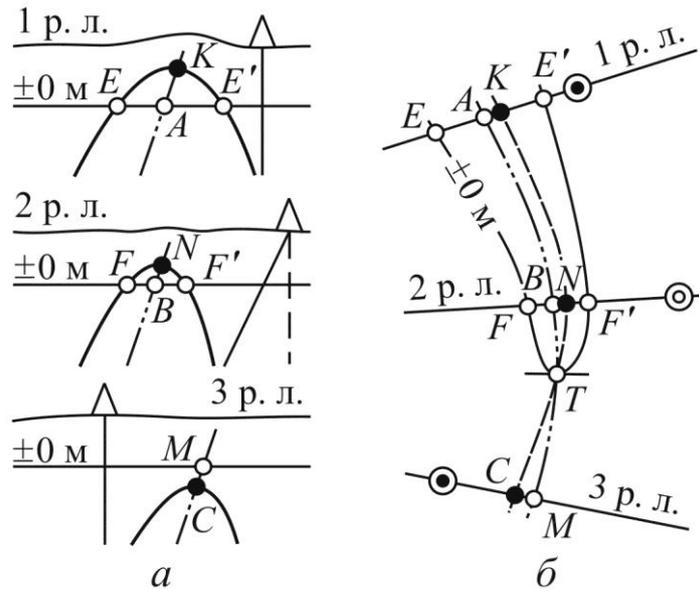


Рис. 3.9. Построение изогипсы при различном числе одноименных точек: *a* – на сечениях по разведочным линиям; *б* – на плане

Отстраивается ось складки по рассматриваемому горизонту (ABC для горизонта ± 0 м – см. рис. 3.9). Затем на разрезах определяется положение точек пересечения горизонта с осью – K , N , M (см. рис. 3.9, *a*) и эти точки переносятся на план. Отстраивается линия этих точек KNM (см. рис. 3.9, *б*). Точка пересечения кривых ABC и KNM является искомой точкой T . Однако в случае пересечения кривых под очень острым углом определение места положения точки T осуществляется с большой погрешностью, а при вертикальном залегании осевой поверхности применение описанного пути вообще невозможно, т. к. линии ABC и KNM сливаются в плане в одну кривую.

Второй путь состоит в построении разреза по линии KNM . Для этого на плане измеряют расстояния L_{NK} , L_{MN} между точками N , K и M . Причем эти расстояния измеряются вдоль кривой KNM , а не просто между точками. Затем строится разрез (рис. 3.10). На нем проводится линия горизонта (KM), соответствующая отметке искомой точки T .

С учетом измеренных длин L_{NK} и L_{MN} показывают положения точек K , N и M . Определив на геологических разрезах вертикальные расстояния от точек K , N , M до рассматриваемого горизонта (разность отметок), их откладывают на отстраиваемом разрезе. В результате получают точки K' , N' и M' . Через них проводят плавную кривую, которая пересекается с горизонтом в точке T .

Измерив расстояние L_{MT} , его откладывают на плане вдоль оси KNM (которая может совпадать с осью ABC) и получают положение точки T .

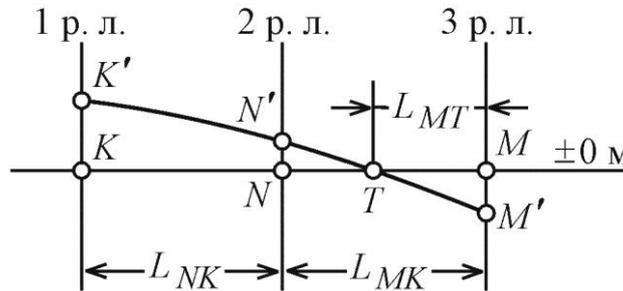


Рис. 3.10. Разрез по линии оси складки

Определив любым из описанных способов положение точки T , через нее проводят прямую, перпендикулярную оси BM (см. рис. 3.9, б), которая является касательной для отстраиваемой изолинии (кривой FTF' на рис. 3.9, б). Помимо точки T на рассматриваемом участке изогипсы могут быть определены дополнительные точки, полученные из построения диагональных разрезов.

Необходимо заметить, что при выполнении замыкания изогипсы часто допускается ошибка, состоящая в том, что при этом отстраивают положение оси только на одном горизонте, а все изогипсы в точке их разворота (точке типа T – см. рис. 3.9, б) имеют касательные, ориентированные перпендикулярно ей. Но это может иметь место только в случае, если осевая поверхность вертикальна.

Еще одним часто встречающимся случаем является сочетание пары одноименных точек E и E' на одной и единственной точки C на другой линии (рис. 3.11). Этот случай наблюдается, как правило, при наличии двух смежных складок. Построения сводятся к проведению изогипсы через пару одноименных точек обоих разрезов («левых» C, E , как на рис. 3.11), прослеживанию этой изогипсы на следующих линиях (на рис. 3.11 – в виде «замыкания») и ее подходе ко второй ранее не задействованной одноименной точке разреза (точке E').

На этом построения по данной складке (имеющей ось «А») завершаются.

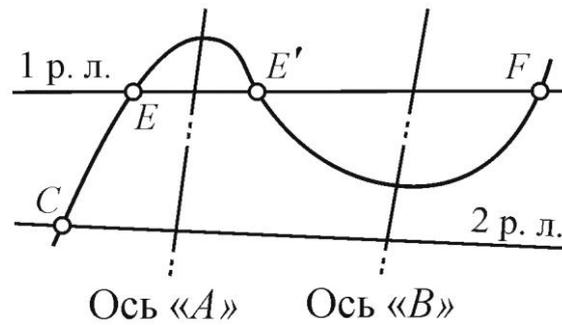


Рис. 3.11. Положение изогипсы двух смежных складок

Если точка E' является одноименной точкой другой складки (как на рис. 3.11 – складки с осью « B », имеющей пару точек E' и F), то работа, по изложенным выше правилам, ведется уже по этой складке. Если смежная складка отсутствует, то построения ведутся по крылу складки как по моноклиналу (см. рис. 3.3).

При геометризации брахиморфных или куполовидных складок может возникать ситуация, когда изогипса мульды или седла (кривая $T - K - C' - T' - K' - C$ на рис. 3.12) не пересекается ни одной из разведочных линий. Ее построение выполняется следующим образом.

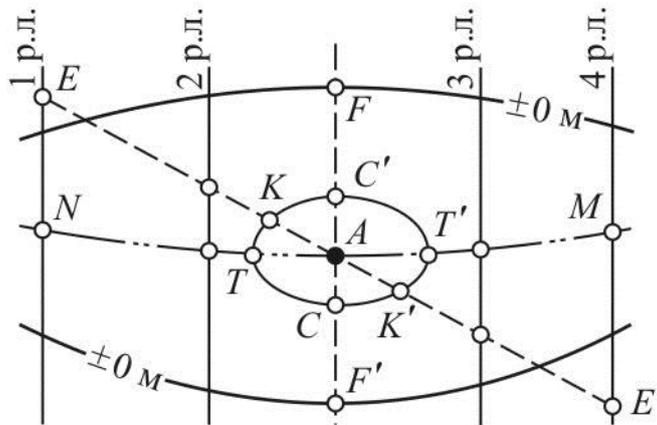


Рис. 3.12. Построение изогипсы в центре брахиморфной или куполовидной складки

1. На разрезах устанавливается положение точек пересечения оси складки с замком и по ним проводится линия MN (эквивалентная линии KNM на рис. 3.9).

2. Уже описанным способом строится разрез по этой линии и находятся одноименные точки T и T' , имеющие отметки отстраиваемой изогипсы, и точка A с максимальной (для седла) или минимальной (для мульды) отметкой оси.

Положение этой точки и ее отметку рекомендуется указывать на гипсометрическом плане, несмотря на то, что действующие ГОСТы этого не предусматривают. Наличие на нем таких данных облегчает работу с планами.

3. Определяется положение изогипсы $T - K - C' - T' - K'$ путем отыскания положения принадлежащих ей точек. Если на плане имеются другие изогипсы складки (как, например, изогипса ± 0 м на рис. 3.12), то через точку A перпендикулярно оси складки проводится линия разреза FF' . Зная отметки и положение точек пересечения линии разреза с изогипсами (в действительности разрез по линии FF' , как правило, может пересекать несколько изогипс с различными отметками) и точки A , строят разрез, на котором находят положение точек C и C' , имеющих заданные отметки. Дополнительно проводится один или несколько проходящих через точку A диагональных разрезов (один из них EE' показан на рис. 3.12), которые отстраиваются по точкам их пересечения с разведочными линиями. С их помощью находят положения дополнительных точек типа K и K' . Искомая изогипса отстраивается путем проведения плавной кривой через принадлежащие ей точки T, K', C', T', K, C .

В большинстве случаев для информационного обеспечения процессов проектирования и планирования развития горных работ возникает необходимость сгущения изогипс, отстроенных в геологоразведочных организациях при подготовке геологических отчетов (следует помнить, что эти организации ориентированы на использование изогипс при подсчете запасов).

Сгущение изогипс производится с помощью создания серии совмещенных разрезов. Например, пусть на участке (рис. 3.13) имеются изогипсы 0, 50 и 100 м.

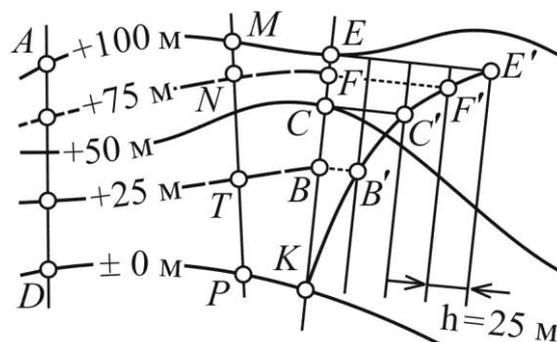


Рис. 3.13. Построение промежуточных изогипс с помощью совмещенных разрезов

Требуется уменьшить сечение изогипс в два раза, т. е. дополнительно отстроить изогипсы 25 и 75 м. Для этого на плане прочерчиваются линии нескольких дополнительных разрезов (AD , MP и EK на рис. 3.13), расположенные, по возможности, вкрест изогипсам, вдоль осей складок и пересекающим, как минимум, три изолинии.

Находятся точки пересечения каждой линии разреза с изогипсами (F , C и K для разреза по линии EK) и строится совмещенный разрез. Для этого линия EK рассматривается в качестве горизонта (± 0 м на рис. 3.13) и из точек ее пересечения с изогипсами откладываются перпендикуляры, длины которых соответствуют разности отметок этих точек и принятой отметки горизонта EK . Так, на рис. 3.13 длина EE' равна 100, а CC' – 50 м. Полученные точки E' , C' и K соединяют плавной линией, описывающей положение пласта в сечении.

Параллельно линии EK проводят линии новых горизонтов (на рисунке расстояние BB' соответствует 25, а FF' – 75 м) и находят их точки пересечения с пластом F' и B' . Эти точки проецируются на линию разреза EK . В результате на плане возникают точки B и F , имеющие отметки дополнительных изогипс. Соединив плавными линиями эти точки с одноименными точками аналогично построенным другим разрезам (N и T на разрезе MP), получают искомые промежуточные изогипсы (пунктирные линии NF и TB). Число дополнительных разрезов определяется изменчивостью поведения основных изогипс.

По мере ведения горных работ на горном предприятии возникает дополнительная информация и, следовательно, необходимость в корректировке положения изогипс. Приемы корректировки весьма разнообразны, и ниже будут рассмотрены лишь основные из них.

Обычно анализ опыта эксплуатации начинают с выяснения наличия систематических погрешностей в высотных отметках плаstopодсечений. При существовании таких погрешностей производят корректировку положения изогипс. Она сводится к простому переименованию изогипс. Например, пусть было установлено, что по данным разведки отметки пласта постоянно завышаются на 3 м. Тогда имеющаяся изогипса 100 м переименовывается в изогипсу 97 м и т. д. При необходимости новое положение изогипсы горизонта 100 м может быть построено по вышеописанной методике построения промежуточных изогипс (см. рис. 3.13).

Если систематическая погрешность не постоянна и зависит от глубины залегания пласта, то при спокойном рельефе земной поверхности имя каждой изогипсы изменяется на свою величину, определяемую глубиной ее «залегания». Например, изогипса 100 м превращается в изогипсу 97 м, 0 м в 5 м и т. д. При высокоизменчивом рельефе пласт разделяется на участки с примерно равной глубиной и для каждого участка производится переименование старых и осуществляется построение новых изогипс, имеющих одинаковые отметки. В результате по пласту будет получено несколько разорванных на границах участков изогипс. Затем обеспечивается их плавный переход друг в друга, в результате чего возникает окончательно откорректированный вариант положения изолиний.

В ходе эксплуатации могут быть получены данные о значении отметок пласта вдоль какой-либо линии (сечения), созданной в результате проведения уклона, бремсберга, серии технологических или дополнительных разведочных скважин и т. д.

Пусть (рис. 3.14) по пласту пройдена выработка AB . Тогда через ее ось проводят линию разреза BT , вдоль которой по отметкам изогипс строят совмещенный разрез по пласту – линия $T'C$. На этот же разрез наносят положение пласта по выработке – линия $A'B'$. Далее с учетом линии $A'B'$ отстраивают откорректированное сечение пласта на совмещенном разрезе – $B'A'T'$ (точечная линия на рисунке), в соответствии с которым изогипса 100 м должна переместиться из точки C в C' , а изогипса 50 м – из точки E в E' .

Новое положение изогипс (пунктирная линия на рис. 3.14) формируется с учетом положения этих точек.

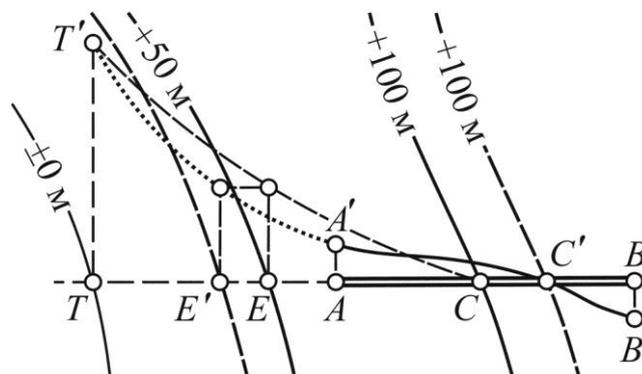


Рис. 3.14. Корректировка положения изогипс при наличии сечения с известным положением пласта

Размер участка, в пределах которого осуществляется корректировка, зависит от длины известного сечения пласта, расстояния между разведочными линиями и т. д. Практически стремятся сделать его таких размеров, при которых обеспечивается плавный переход изогипсы от точного положения пласта к прогнозному, построенному только по данным разведочных работ.

Еще одной из причин исправления положения изогипс является появление между разведочными линиями отдельных замеров (обычно разведочных и технологических скважин).

В этом случае наиболее простым вариантом действий является следующий (рис. 3.15).

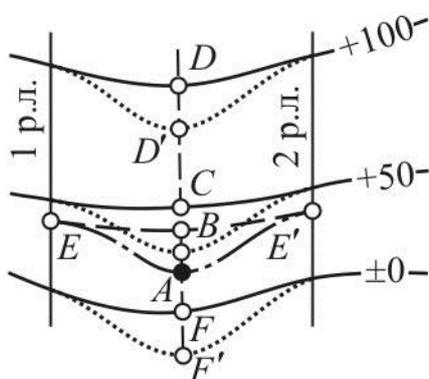


Рис. 3.15. Корректировка положения изогипс при наличии дополнительного точечного замера

Пусть между разведочными линиями 1 и 2 существует отдельный замер (точка A) с отметкой 42 м. Для учета этого обстоятельства на сечениях, в которых положение пласта можно считать достоверно установленным (как правило, это геологические разрезы или сечения, расположенные на границе ведения горных работ), определяется положение точек E и E' , имеющих отметку, равную отметке точки A . Через них, параллельно ранее отстроенным изогипсам, проводится изогипса +42 м (пунктирная линия на рис. 3.15). Затем положение этой линии изменяется таким образом, чтобы она проходила через точку A (пунктирная линия EAE').

Теперь эта линия рассматривается в виде своего рода проводника, а остальные изогипсы преобразуются в параллельные ей. Обычно для этого через A вкrest линии EAE' проводится сечение, на котором измеряется расстояние BA .

Откладывая это расстояние от точек пересечения ранее построенных изогипс с линией разреза AC (от точек D, C, F), получают дополнительные точки (например, для точки D это будет точка D' , для точки F это будет точка F'), через которые и проводят плавные кривые скорректированного положения (точечные линии на рис. 3.15).

В случае если положение верхних горизонтов пласта установлено достоверно (например, горными работами), используется не постоянная, а переменная величина смещения изогипс. Если бы изогипса $+100$ м на рис. 3.15 была установлена достоверно, то смещение изогипс осуществлялось бы пропорционально расстоянию от нее до точки A . Величина смещения Δ для каждой изогипсы определяется формулой

$$\Delta = \frac{\Delta_A}{L_A} L, \quad (3.1)$$

где Δ_A – смещение изолиний в точке A (расстояние AB на рис. 3.15); L_A – расстояние от достоверно установленной изогипсы до точки A (расстояние DA); L – расстояние от достоверно установленной до корректируемой изогипсы (например, для корректируемой изогипсы ± 0 м это расстояние DF).

При построении гипсометрических планов по данным разведки, включающим помимо разведочных линий отдельные скважины, работа проводится обычно в два этапа. На первом из них гипсометрия отстраивается только по разрезам, а на втором – корректируется с учетом имеющихся отдельных скважин.

3.3. Построение гипсометрических планов с учетом выявленных разрывных нарушений

С позиции методики построения гипсометрических планов все разрывные нарушения пластов можно разделить на две группы:

- разрывные нарушения, подсеченные разведочными линиями;
- разрывные нарушения, не подсеченные разведочными линиями.

При геометризации гипсометрии пластов влияние первой группы нарушений учитывается уже в ходе построения изогипс. А влияние второй группы нарушений (как правило, имеющих небольшие амплитуды) учитывается путем корректировки положения изогипс, отстроенных по вышеописанной методике без учета известных нарушений.

Пусть имеется несколько разведочных линий с дизъюнктивным нарушением (рис. 3.16). В этом случае по каждой разведочной линии определяются положения одноименных точек пласта (для горизонта ± 0 м – C на 1 р. л., E и H на 2 р. л. и M на 3 р. л.) и точек обреза пласта нарушением (по висячему крылу – A, F, K , по лежачему – B, T, P).

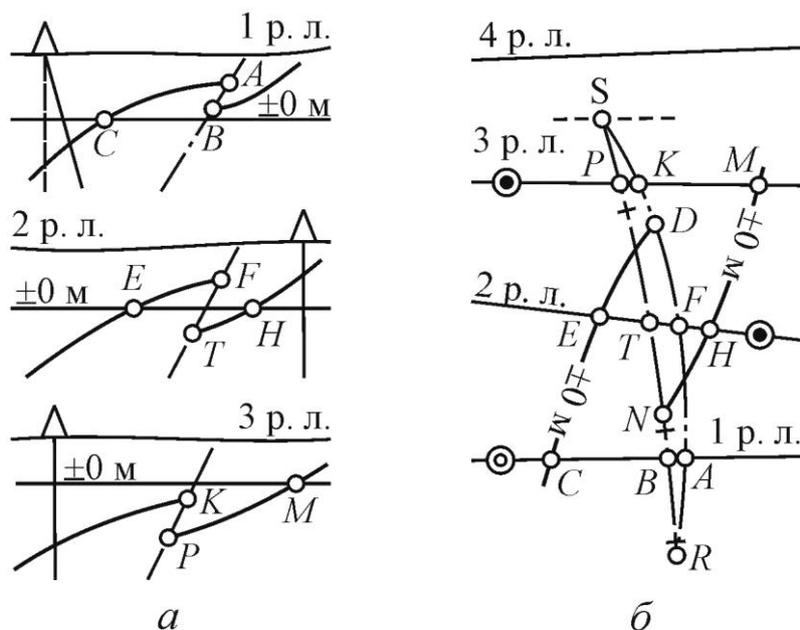


Рис. 3.16. Построение изогипс в районе нарушения, подсеченного разведочными линиями:
а – разведочные линии; *б* – план

По разрезам определяются высотные отметки всех перечисленных точек обреза пласта нарушением. Затем одноименные точки и точки обреза переносятся на план (рис. 3.16, б), при этом в качестве ориентиров используются устья ближайших скважин. По серии одноименных точек по описанной ранее методике отстраиваются фрагменты изогипс обоих крыльев разрыва (CE и HM).

В результате соединения плавными кривыми точек обреза крыльев получают фрагменты линий обреза или скрещения. Так, например, на рис. 3.16, б кривая PTB есть линия обреза лежачего, а кривая KFA – висячего крыла пласта. Линии скрещения должны «сходиться» друг с другом в точках выклинивания (S и R).

Для установления положения точек выклинивания дизъюнктива (S и R) существует много различных методов. Простейшими из них являются два следующих подхода.

Первый из них принимается тогда, когда линии скрещения (PTB и KFA) демонстрируют явное стремление к пересечению (сходятся). В этом случае линии продолжают, сохраняя выявленную ранее тенденцию их поведения, до пересечения в точке R .

Второй подход применяется, когда явной тенденции к пересечению линий обреза не наблюдается. При этом посередине между линией, пораженной нарушением (3 р. л. на рис. 3.16), и линией, где нарушение уже не проявляется (4 р. л.), проводят вспомогательную прямую (пунктир на рисунке). Предполагая, что точка выклинивания дизъюнктива (S) должна находиться на этой прямой, продлевают линии скрещения до их пересечения в ее районе. Если разведочная линия типа 4 р. л. не существует, то ее «проводят» условно, руководствуясь средним расстоянием между разведочными сечениями.

Если по материалам горных работ установлена зависимость между длинами линий скрещения и амплитудами нарушений, то в случае, если одна из точек выклинивания определена более надежно (первым способом по материалам горных работ, по густой сети разведочных сечений и т. д.), то вторую точку иногда определяют откладывая от первой ожидаемую длину нарушения (SR).

После отрисовки линий скрещения приступают к окончательному построению изогипс. Для этого на линиях обреза висячего и лежащего крыльев находят точки (D и N соответственно – см. рис. 3.16), имеющие ту же отметку, что и отметка отстраиваемой изогипсы. Положение точек определяется с помощью разрезов вдоль линий скрещения. Их построение выполняется по методике, аналогичной методике построения разреза по оси складки (см. рис. 3.9 и 3.10). Найдя одноименные точки на линиях обреза D и N , изогипсы продлевают до них. Иногда при выдержанном характере поведения изогипс точки типа D и N не определяют, а изогипсы доводят до нарушения просто сохраняя тенденцию в их поведении. Однако и в данном случае необходимо использовать описанный метод построения, т. к. простая аналогия всегда рискованна, а расхождение между двумя вариантами положений точек типа D и N позволяет убедиться в надежности построений, выявить и исключить грубые ошибки.

Часто имеют место случаи, когда нарушение подсечено всего лишь одной разведочной линией. При этом следует иметь в виду, что элементы залегания сместителя можно предполагать исходя из элементов залегания выявленных по участку недр систем дизъюнктивов.

Очень часто наблюдаются также закономерности в ориентировке линий скрещения. Построения в данном случае выполняют следующим образом. Пусть (рис. 3.17) разведочная линия 2, разрез по которой приведен на рис. 3.16, *a*, подсекла нарушение (точки обреза *F* и *T*). После переноса точек *F* и *T* на план через точку, лежащую между ними (*H*), проводят ориентировочное положение линии скрещения – пунктир *RS*.

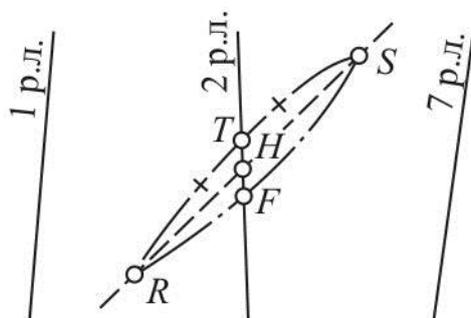


Рис. 3.17. Вариант построения линий скрещения дизъюнктива, подсеченного одной разведочной линией

Если существует преимущественная ориентировка линий скрещения для участка недр, то направление *RS* соответствует ей. Если известны элементы залегания сместителей систем дизъюнктивов, то *RS* получается как след пересечения поверхности пласта (по данным уже построенных изогипс) с плоскостью, проходящей через точку *H* и имеющей элементы залегания, равные установленным для системы нарушений.

Последний подход более продуктивен, т. к. при наличии нескольких различных систем дизъюнктивов позволяет обоснованно выбрать ту из них, к которой предположительно относится рассматриваемая дислокация.

Этот выбор осуществляется по близости друг к другу углов падения сместителя. Первый угол – это угол падения на разрезе. Второй угол – угол падения плоскости, имеющей элементы залегания системы дизъюнктивов в направлении рассматриваемой разведочной линии.

На линии RS устанавливают ожидаемое положение точек выклинивания R и S с помощью уже описанного способа проведения линий скрещения до середины расстояния между разведочными линиями или путем откладывания в обе стороны от точки H половины ожидаемой длины линии скрещения (рассчитанной по амплитуде нарушения, установленной на разведочной линии).

Само построение изогипс ведут в данном случае способами, применяемыми для нарушений, неподсеченных разведочными линиями.

«Появление» изображений нарушений в пространстве между разведочными сечениями связано главным образом с применением различных методов прогнозирования, с экстраполяцией нарушений, вскрытых на вышележащих горизонтах (как в его простейшем «глазомерном», варианте, так и с помощью отстроенных эюр нарушений), с подсечением скважинами сместителей в массиве вмещающих пород. В данном случае нарушения обычно показываются только в виде линий, соединяющих точки их выклинивания с приведением ожидаемых значений амплитуд. Кроме того, исходя из системного характера размещения нарушений, можно предположить для каждого сместителя значения элементов его залегания. Поэтому в случае, если на плане нет ожидаемых положений линий обреза нарушениями крыльев пласта, построению изогипс предшествует построение линий скрещения. Выполняют это, как правило, довольно просто. Находят середину линии BT – точку E и из нее под дирекционным углом направления линии падения сместителя проводят линию PF (рис. 3.18).

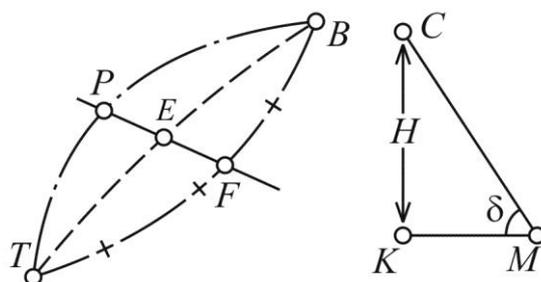


Рис. 3.18. Построение линий скрещения дизъюнктива

Строят дополнительный разрез и устанавливают расстояние между точками обреза крыльев нарушения вдоль прямой PF – длина KM .

Для этого по вертикали откладывают величину ожидаемой вертикальной амплитуды дизъюнктива H (прямая $KС$), из точки K восстанавливается перпендикуляр $KМ$, а из $С$ под углом $90^\circ - \delta$ (где δ – угол падения сместителя) к $KС$ проводят прямую $СМ$ до ее пересечения в точке $М$ с $KМ$. Затем на плане из точки E в обе стороны от нее на прямой $PФ$ откладывают половину расстояния $KМ$ (т. е. длина $PФ$ равна длине $KМ$).

В результате будут получены положения точек образа P и F . И, наконец, соединив плавными кривыми TPB и TFB точки выклинивания, получают изображение искомых линий скрещения.

Часто построение линий обреза производят по аналогии с близкими по амплитуде известными нарушениями, принадлежащими к одной системе с отстраиваемым нарушением. В этом случае искомые линии проводят из точки B в точку T , сохраняя между ними расстояние, характерное для известного нарушения.

Само построение изогипс выполняют в два этапа. Этап корректировки положения изогипс выполняют в зависимости от условий несколькими путями. Рассмотрим каждый из них в двух вариантах. Один применяют при выдержанных (примерно постоянных) элементах залегания сместителя, а второй – при относительно спокойном и закономерном изменении вертикальных амплитуд нарушения.

В случае если дизъюнктив расположен на середине между разведочными линиями (расстояние до наиболее удаленной разведочной линии обычно превышает расстояние до ближайшей не более чем в 2,5–3 раза), находят точку пересечения неоткорректированной изогипсы (точечная линия на рис. 3.19) с линией BT , соединяющей точки выклинивания и проходящей между линиями скрещения.

Через E под дирекционным углом линии простирания сместителя проводят прямую $MН$ и находят точки ее пересечения с обрезами пласта – H и M . Изогипсу перестраивают таким образом, чтобы, выходя из точек P и $С$ на линиях, она проходила не через точку E , а подходила, соответственно, к точкам M и H .

При реализации второго варианта, основанного на использовании вертикальных амплитуд дизъюнктива, помимо отстраиваемой изогипсы (20 м на рис. 3.20), выполняют построения дополнительных изолиний, отметки которых отличаются на половину величины вертикальной амплитуды.

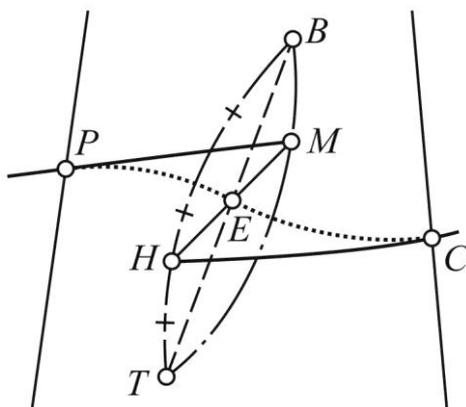


Рис. 3.19. Построение изогипс по известному простиранию сместителя дизъюнктива, расположенного на «середине» между разведочными сечениями

Например, на рис. 3.20 амплитуда нарушения равна 10 м, поэтому на рисунке пунктиром проведены дополнительные изогипсы 25 и 15 м.

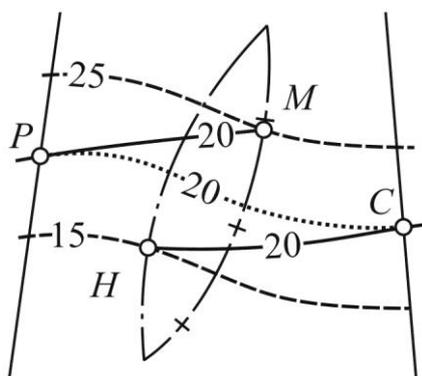


Рис. 3.20. Построение изогипс по известной амплитуде дизъюнктива, расположенного на «середине» между разведочными сечениями

Далее находят точки пересечения дополнительных изогипс с линиями обреза крыльев – M и H и производят корректировку положения изогипсы путем «вывода» ее на них. На какой изогипсе (25 м или 15 м) будет находиться, например, точка M , зависит от характера смещения. Выбор варианта увязки осуществляют путем определения, какое крыло (идущее от точки P или от точки C) должно иметь, исходя из типа дизъюнктива, большую, а какое – меньшую отметку.

В случае если нарушение приближено к одному из разведочных сечений, использование известного направления линии простираения сместителя производят следующим образом.

Изогипсу пласта AB (точка B расположена значительно ближе к разрыву, чем K – рис. 3.21) продолжают с сохранением характера ее поведения до пересечения с линией обреза в точке H . Из H проводят линию простираения сместителя HC и определяют точку C , на которую из точки K «выводят» изогипсу другого крыла.

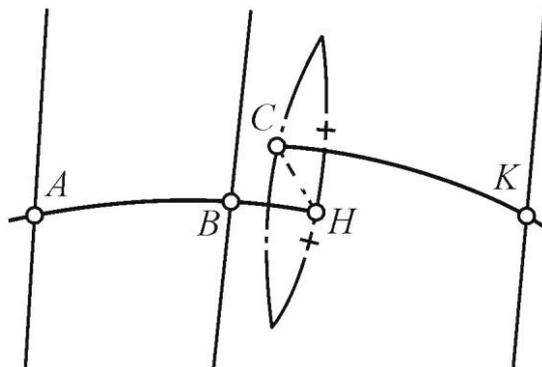


Рис. 3.21. Построение изогипс по известному простираению сместителя дизъюнктива, несимметрично расположенного между разведочными сечениями

При использовании известных вертикальных амплитуд описанным выше способом также отыскивают положение точки H (рис. 3.22), затем устанавливают, большую или меньшую отметку имеет, исходя из характера дизъюнктива, проекция этой точки на другом крыле, и отстраивают дополнительную изогипсу (пунктирная линия).

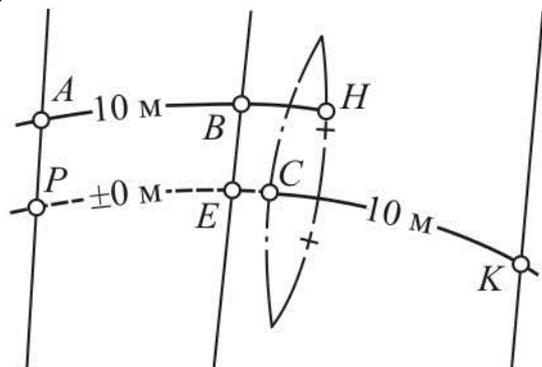


Рис. 3.22. Построение изогипс по известной амплитуде дизъюнктива, несимметрично расположенного между разведочными сечениями

Если отметка другого крыла больше отметки исходного, то отметку дополнительной изогипсы принимают меньше отметки основной на величину вертикальной амплитуды и наоборот.

Именно из этих соображений для нарушения с амплитудой, равной 10 м, на рис. 3.22 отстроена изогипса ± 0 м – кривая *PE*.

Продолжив *PE* до пересечения с соответствующей линией обреза, получают точку *C*. Положение изогипсы другого крыла отрисовывают, проводя кривую из точки *K* в точку *C*.

3.4. Построение изофронтальных проекций пластов крутого залегания

В условиях месторождений с крутым залеганием пластов подсчет запасов осуществляют с помощью графической основы, выполняемой в проекции на вертикальную плоскость. На ней, кроме линий земной поверхности, выхода пласта под наносы, точек плаstopодсечений, разведочных линий и горизонтов (см. рис. 1.7), показывают границы подсчетных блоков (с указанием значений подсчетных параметров), тектонические нарушения, границы смены марочного состава и числовую информацию по плаstopодсечениям.

Нетрудно заметить, сколь мала информативность такого документа – каким бы не была в действительности гипсометрия изучаемого пласта, он будет иметь постоянный вид. Строго говоря, для его построения вообще нет необходимости в проведении геологоразведочных работ по самому пласту и вполне можно было бы ограничиться лишь изучением мощности четвертичных отложений и дизъюнктивной нарушенности. Передаваемые предприятиям вертикальные проекции пластов несут незначительный объем информации, пригодной для использования на стадиях проектирования и эксплуатации предприятий. Пользуясь такими проекциями, невозможно оценить ожидаемые элементы залегания пласта в заданных его точках и, более того, невозможно определить даже пространственные координаты самих этих точек.

Для повышения информативности проекций пластов на вертикальную плоскость рекомендуется осуществлять построение изолиний расстояний почвы пласта от заданной вертикальной плоскости проектирования (изофронталей).

Общие принципы выполнения таких построений были сформулированы еще в 40–50-х годах прошлого века в работах Б. А. Ростковского и П. А. Рыжова применительно к условиям рудных месторождений. Методика построений таких изолиний, которые именуют изофронталями, применительно к пластообразным угольным месторождениям сводится к следующему.

На плане выходов пластов под наносы (рис. 3.23) намечают положение вертикальной плоскости проектирования – прямая AB , примерно параллельная направлению преимущественного простиранья пластов.

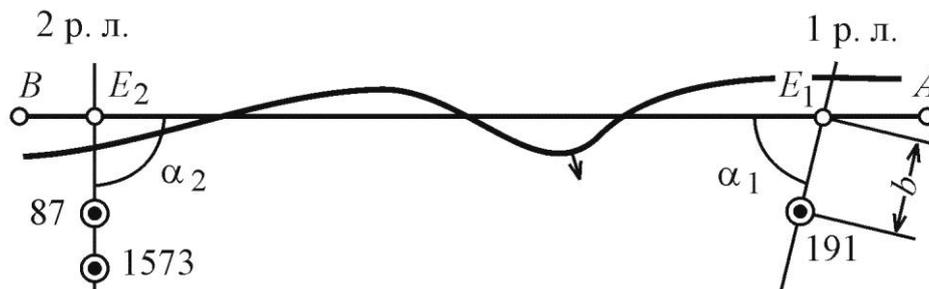


Рис. 3.23. Построение следа плоскости проектирования на плане выходов пластов под наносы

Фиксируют точки E_1 , E_2 и т. д. ее пересечения с разведочными линиями и измеряют острые углы α_1 , α_2 и т. д. между нею и направлениями разведочных линий. При проведении линии AB нет необходимости обращать внимание на то, по какую сторону от линии выхода пласта под наносы она будет находиться, т. к. это приводит лишь к возможности появления изофронталей с нулевыми и отрицательными значениями фронтальных расстояний.

Точки E_1 , E_2 , ... переносят на геологические разрезы и через них проводят след пересечения разреза с плоскостью проектирования – вертикальные линии E_1T_1 , E_2T_2 и т. д. (рис. 3.24).

В качестве «опорных» точек для переноса используют устья разведочных скважин, показываемых, как известно, одновременно на разрезах и на планах. То есть перенос осуществляют путем откладывания на разрезе от устья «опорной» точки – скважины (например, от скважины номер 191 на разведочной линии 1 на рис. 3.24) расстояния (измеренного на карте выходов пластов под наносы) до точки пересечения плоскости проектирования и разведочной линии (расстояния b на рис. 3.23 и 3.24).

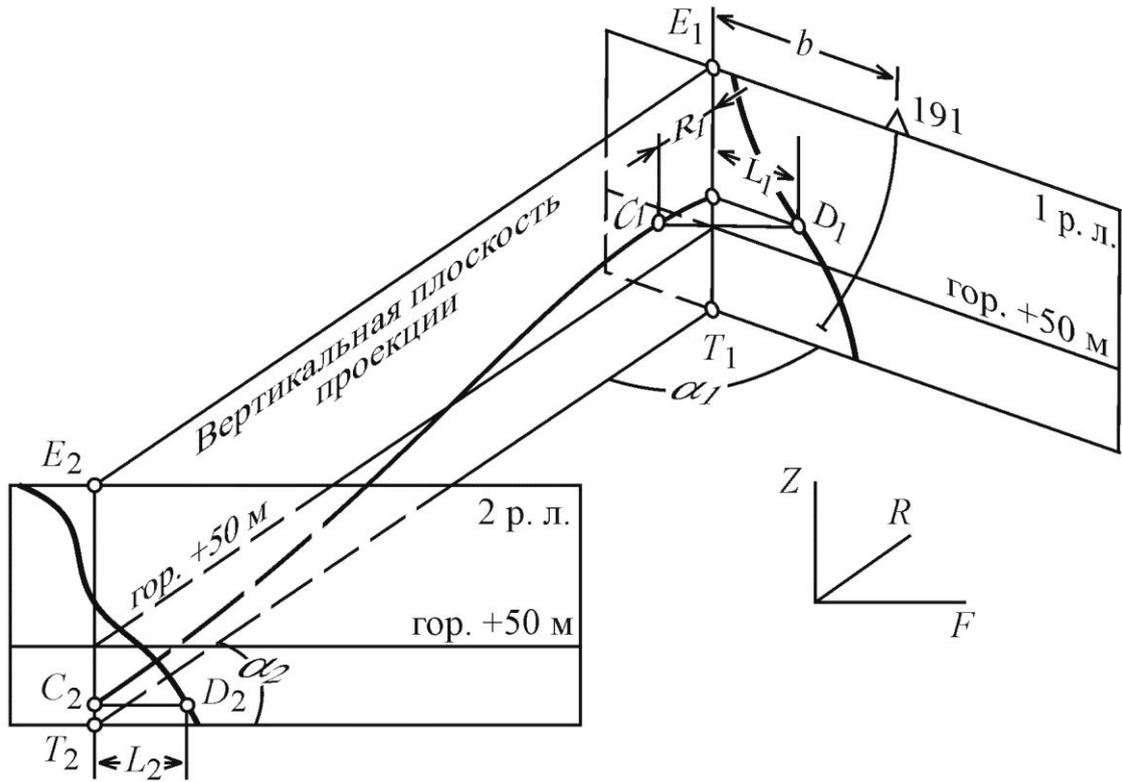


Рис. 3.24. Построение изофронталей пласта

На разрезах отыскивают принадлежащие почве пласта точки D_1, D_2, \dots , удаленные от плоскости проекции на расстояние, равное значению отстраиваемой изофронталей F (определяемое по направлению нормали к плоскости проектирования). Поскольку фактически направления расположения плоскости проекции и линий разрезов далеко не всегда взаимно ортогональны (например, 1 р. л. – см. рис. 3.23), точки D_i отыскивают на разрезах как точки, удаленные от вертикальных линий $E_i T_i$ на расстояния L_i (рис. 3.24), определяемые индивидуально для каждого i -го разреза по формуле

$$L_i = \frac{F_i}{\sin \alpha_i}. \quad (3.2)$$

В случае если $\alpha_i = 90^\circ$ (как у разреза по 2 р. л. на рис. 3.23), $L_i = F_i$. Вычисление по формуле (3.2) целесообразно производить в том случае, если угол α_i отличается от 90° на 5° и более. Используя показанную на разрезах сетку высот, можно измерить высотные отметки всех выделенных точек D_i и перенести их с разрезов на вертикальную плоскость проектирования в соответствующие точки C_i .

В случае если угол $\alpha_i = 90^\circ$ (здесь и далее с учетом вышеуказанных допустимых отклонений угла), точка D_i (например, точка D_2 на рис. 3.24) будет проектироваться в точку C_i (C_2 на рис. 3.24), находящуюся точно на линии E_iT_i и имеющую высотную отметку, равную ранее определенной отметке точки D_i .

В противном случае (если $\alpha_i \neq 90^\circ$ – точки D_1 и C_1 на рис. 3.24) соответствующие точки C_i будут, имея равную с D_i отметку, смещены относительно линии E_iT_i на расстояние R_i , вычисляемое по формуле

$$R_i = F \operatorname{ctg} \alpha_i. \quad (3.3)$$

Через все полученные точки типа C_i , в соответствии с приемами, применяемыми при построении изолиний методом ступенчатых отметок, проводят линию – изофронталь.

При разведке пластов крутого падения помимо разрезов и подсчетных планов в проекции на вертикальную плоскость геологоразведочные организации выполняют и построение планов отдельных горизонтов, при этом возникает дополнительная информация, не учитываемая вышеописанной методикой. При наличии таких планов положение проекции вертикальной плоскости проектирования переносят на каждый из них (линии AB , $A'B'$ – рис. 3.25).

На каждом погоризонтном плане, параллельно линии его пересечения с плоскостью проекции, проводят линию (NK на рис. 3.25), удаленную от нее на расстояние F , равное значению отстраиваемой изофронталы.

На этой прямой отыскивают точку N пересечения изофронталы с линией выхода пласта на горизонт (разумеется, таких точек может быть несколько либо для рассматриваемой величины F она может вообще отсутствовать).

Точку N проектируют на плоскость проекции в точку M . Производят измерение расстояния R от точки M до линии пересечения ET плоскости проекции с ближайшим геологическим разрезом. По значению расстояния R и отметке погоризонтного плана точку M переносят на вертикальную плоскость проекции (рис. 3.26). Через точки типа C_i (определенные по геологическим разрезам) и точки типа M_i проводят соответствующую изофронталь.

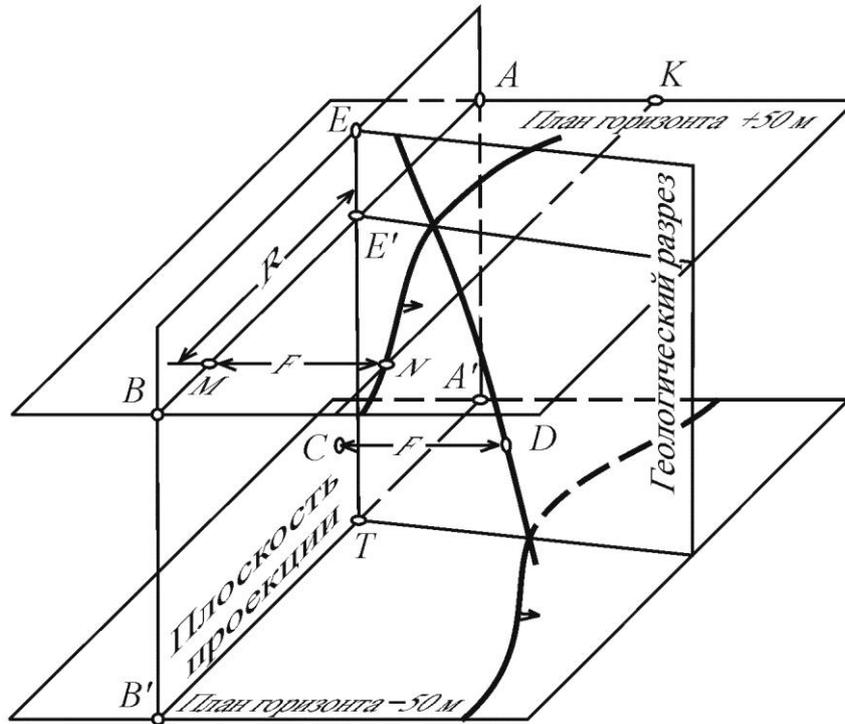


Рис. 3.25. Использование погоризонтных планов при построении изофронталей

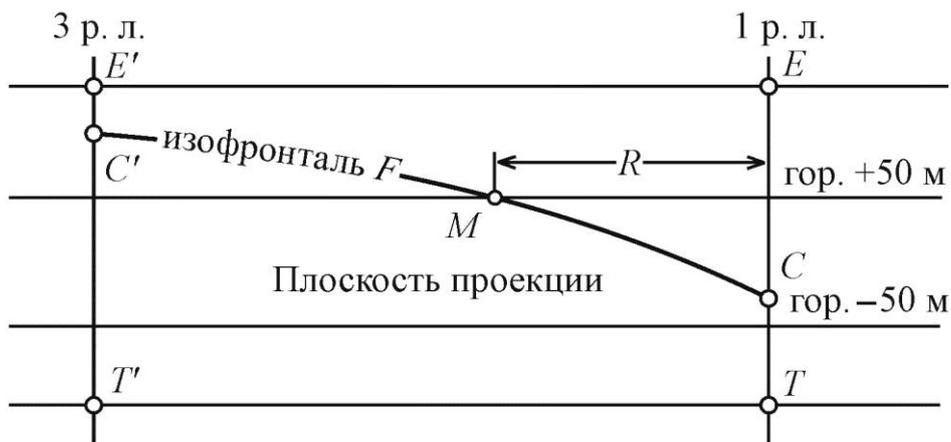


Рис. 3.26. Использование при построении изофронталей дополнительных точек погоризонтных планов

Таким образом, наличие погоризонтных планов позволяет уточнить положение изофронталей в интервалах между разведочными линиями.

В случае, когда залегание пласта осложнено складчатой структурой, точки типа M_i могут встречаться на плане горизонта несколько раз.

Пусть, например, на горизонте ± 0 м (рис. 3.27) одновременно встречаются две точки (M и N), удаленные от плоскости проекции на расстояние F . Причем на вышележащем и нижележащем горизонтах точки, удаленные на данное расстояние, вообще не встречаются. Ясно, что в этом случае изофронталь F должна иметь эллипсовидную форму.

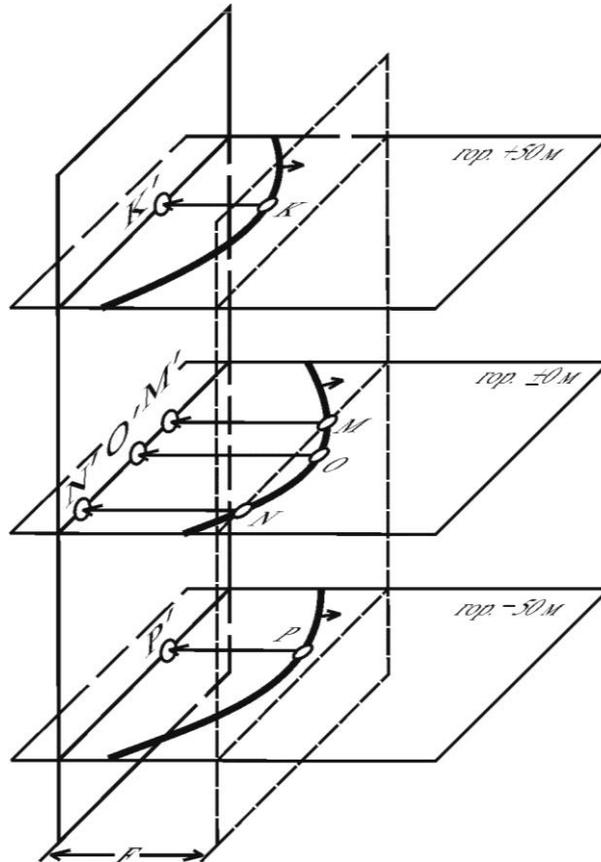


Рис. 3.27. Подготовка данных для построения замкнутой изофронтали

Для ее построения на горизонте ± 0 м выбирают дополнительную точку O , находящуюся между точками M и N и наиболее удаленную от плоскости проекции. На соседних горизонтах также отмечают положение дополнительных точек P и K , аналогичных по расположению точке O . Все выделенные точки переносятся на плоскость проекции (рис. 3.28). При этом рядом с точками выписывают величины их удаления от плоскости проекции, измеренные на погоризонтных планах. Затем проводят вспомогательные направления $K'O'$ и $P'O'$ и на них путем интерполяции находят точки V и W , имеющие ожидаемое удаление F (50 м в примере) от плоскости проекции. Положение изофронтали фиксируют кривой, плавно соединяющей точки M' , N' , V и W .

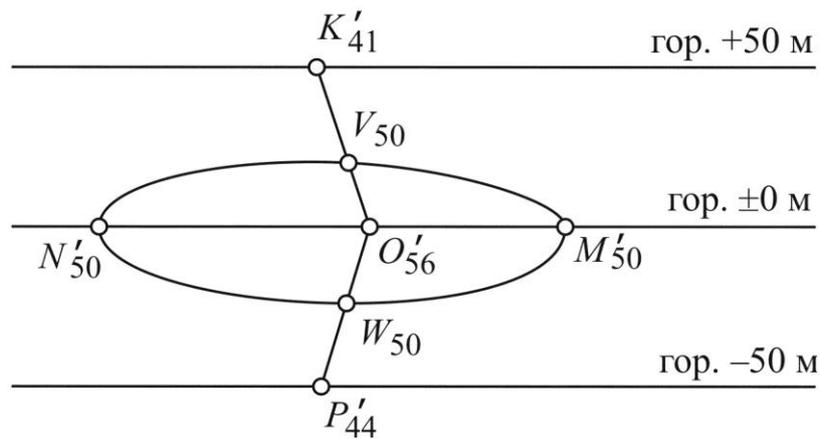


Рис. 3.28. Построение «замкнутой» изофронталы

Учет выявленных дизъюнктивных нарушений при построении изофронтальных проекций выполняют аналогично порядку, изложенному при описании построения планов изогипс.

На рис. 3.29 приведена фронтальная модель гипсометрии пласта Кемеровского, построенная по описанной выше методике.

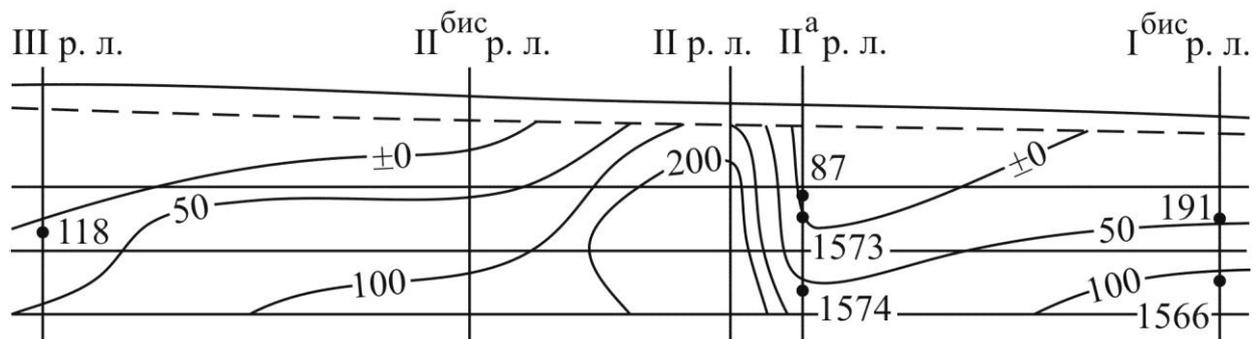


Рис. 3.29. Вертикальная проекция пласта Кемеровского

С помощью такой модели можно определить угол падения пласта в любой точке и по любому направлению, а также представить и оценить форму залегания угольного пласта в недрах, ее изменчивость и путем несложных дополнительных построений определить координаты любой точки пласта.

Наличие изофронталей позволяет просто решить и проблему пересчета площади проекции пласта в ее истинное значение, т. к. величина двугранного угла между поверхностью пласта и плоскостью проекции может быть определена по заложению изофронталей.

Структурные планы пластов в проекции на вертикальную плоскость почти всегда разделяют на отдельные детали. Причины этого состоят не только в перекрытии крыльев пласта у крупных нарушений (как это имеет место для горизонтальных проекций), но и в выделении крыльев пликативных складок. В этом случае детали могут именоваться (например, «восточное крыло II синклинали» и т. п).

3.5. Построение объемных горно-геометрических моделей (блок-диаграммы)

Наиболее применимыми в условиях крутого и крутонаклонного складчатого залегания угольных пластов, в том числе и осложненных дизъюнктивными дислокациями, являются модели блок-диаграммы.

Сущность таких моделей состоит в отображении формы залегания пласта с помощью системы вертикальных или горизонтальных сечений. Такие модели применяют при геометризации сложноструктурных месторождений, а также используют для решения задач, предполагающих необходимость трехмерного восприятия объекта исследования.

Блок-диаграмма представляет собой изображенные в единой системе координат ZML разрезы по месторождению (рис. 3.30).

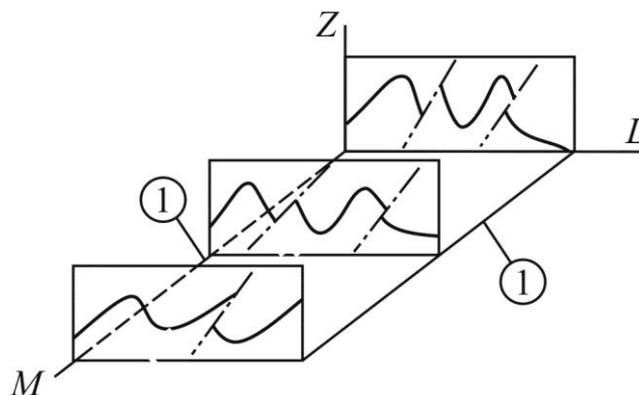


Рис. 3.30. Блок-диаграмма участка месторождения:

① – направляющие

Масштабы вдоль осей Z и L принимают равными масштабу плана горных работ, а масштаб по оси M , как правило, уменьшается в k раз (например, с $1 : 2000$ до $1 : 5000$) для того, чтобы разрезы не перекрывали друг друга.

Процедура построения блок-диаграммы включает в себя несколько элементов. Во-первых, на плане выходов пласта под наносы или на плане горизонта выбирают направление оси M и отстраивают направляющие (рис. 3.31, *а*).

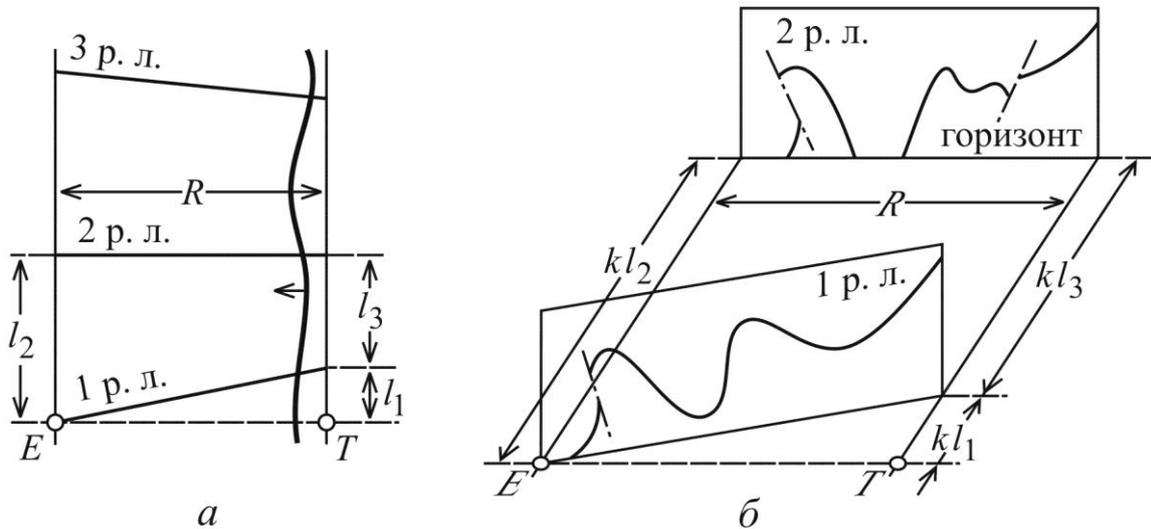


Рис. 3.31. Построение блок-диаграммы

Ось M ориентируют так, чтобы она проходила параллельно преимущественному направлению простираения пластов или, что одно и то же, перпендикулярно направлению большинства разведочных линий.

После этого проводят ось L , нормальную к оси M (пунктирная линия ET на рис. 3.31, *а*). В идеале направления разрезов должны совпадать с направлением оси L , однако на практике такие случаи встречаются редко и только для отдельных разрезов.

Затем ось L (пунктирная линия ET на рис. 3.31, *б*) прочерчивают на блок-диаграмме и под углом к ней (обычно 45°) – ось M , одновременно являющаяся одной из направляющих и линией какого-либо горизонта. Откладывая измеренное на плане расстояние между направляющими R вдоль оси L блок-диаграммы, проводят вторую направляющую.

Во-вторых, на плане находят точку E пересечения первого разреза с одной из направляющих. Эту точку переносят на блок-диаграмму и из нее проводят параллельную оси L линию ET . Такую же линию проводят на плане. По ней измеряют расстояние l_1 от точки T до точки пересечения линии разреза с направляющей.

Это расстояние (естественно, умноженное на коэффициент изменения масштаба k) откладывают вдоль направляющей на блок-диаграмме (от точки T), проводят линию разреза и строят его плоскость, как это показано на рис. 3,31, б. Затем на плане измеряют расстояния от первого до второго разреза l_2 и l_3 . Их откладывают на блок-диаграмме, где отстраивают плоскость второго, а затем, аналогично, последующих разрезов. Часто разведочные линии имеют вид ломаной прямой (ACB на рис. 3.32).

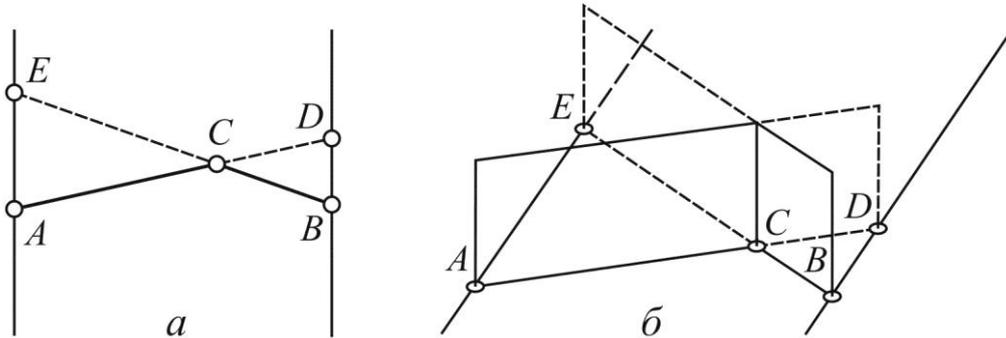


Рис. 3.32. Построение плоскостей
непрямолинейной разведочной линии

В этом случае каждый из прямолинейных участков (AC и CB) продолжают до пересечения с направляющими (в точках E и D). Полученные линии (AD и BE) переносят на блок-диаграмму, их пересечение дает положение точки C (рис. 3.32).

Поскольку при неперпендикулярности оси M и разреза он несколько деформируется на блок-диаграмме (сохраняя истинные длины вдоль осей L и Z), возникает необходимость построения его в системе координат с неортогональными осями. Выполняют это следующим образом (рис. 3.33).

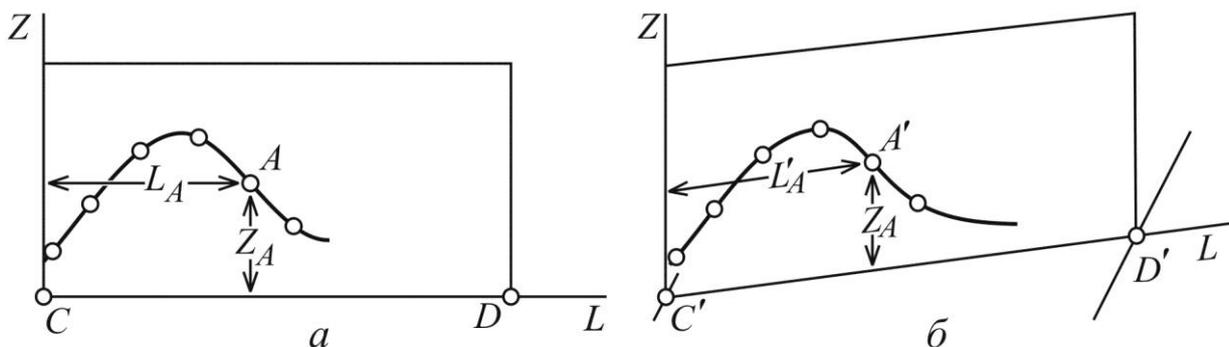


Рис. 3.33. Построение разреза в системе координат
с неортогональными осями

На традиционном геологическом разрезе (рис. 3.33, *a*) намечают вспомогательные точки, лежащие на переносимом на деформированный разрез контуре (точки типа *A*). У каждой точки графически определяют координаты L_A и Z_A , затем их переносят на «деформированный» разрез вдоль направлений, параллельных его осям *L* и *Z* (рис. 3.33, *б*). Величину Z_A измеряют на разрезе от горизонта, соответствующего горизонту направляющей.

Расстояния L'_i для неортогональных сечений определяют путем умножения установленного на разрезе расстояния L_i на множитель, равный отношению длины $C'D'$ к длине CD (равной расстоянию между направляющими).

Само оформление разрезов выполняют в одном из трех вариантов.

Первый вариант состоит в простом копировании разрезов с показом всех пластов угля и очень часто вмещающих пород. Примеры таких диаграмм, представленные в учебной литературе, используют обычно для создания общего представления о форме и условиях залегания полезного ископаемого.

Второй вариант разреза блок-диаграммы строят только при геометризации мощности в условиях ее высокой изменчивости для весьма мощных и части мощных пластов. Дело в том, что для них понятие «нормальная мощность» теряет свой технологический смысл, особенно при ведении открытых горных работ. Поэтому на разрез блок-диаграммы переносят в этом случае только положение кровли и почвы пласта.

Переход от первого ко второму варианту выполнения разреза сводится лишь к сокращению графической нагрузки на них.

Третий вариант представляет собой графически-цифровую диаграмму, используемую в качестве модели изменения качественных свойств угля или мощности пласта. Построение разреза такой диаграммы иллюстрирует рис. 3.34.

На геологическом разрезе у точки пластоподсечений выписывают измеренные значения изучаемого признака. Затем между ними производят интерполяцию и находят положение точек, имеющих значение признака, кратное некоторой величине h (рис. 3.34, *a*). Эти точки являются как бы «торцами изолиний» изучаемого признака, а h , по сути дела, сечением изолиний.

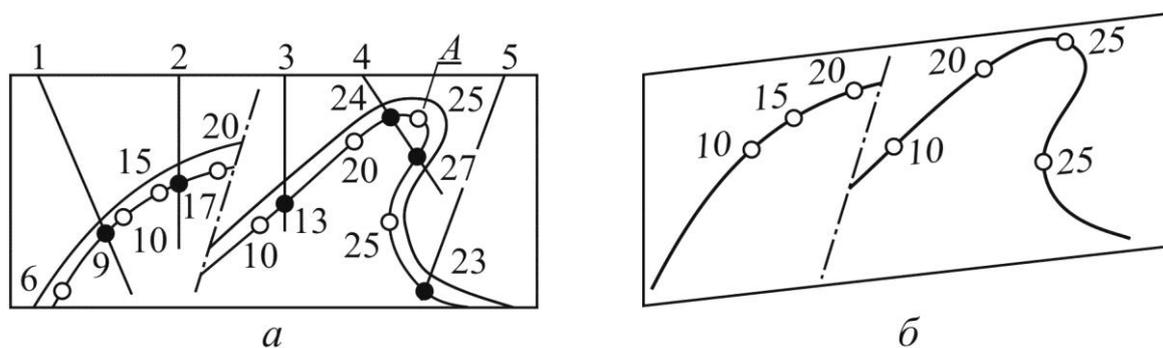


Рис. 3.34. Построение графически-цифровой диаграммы

Все рассмотренные ранее процедуры выделения аномальных замеров и корректировки положения изолиний (в данном случае их «торцов») сохраняют свое значение.

После этого осуществляется построение разреза для блок-диаграммы, на который наносится положение точек – «торцов изолиний» (рис. 3.34, б).

Интерполяцию производят как вдоль прямой, соединяющей точки замеров (если пласт на участке между ними примерно прямолинеен, как между скважинами 1 и 2 на рис. 3.34, а), так и вдоль пласта.

Например, положение точки со значением признака 25 между двумя подсечениями по скважине 4 получено следующим образом. Измеряют длину между подсечениями вдоль пласта и строят прямую этой длины. Придав концам прямой измеренные значения признака (24 и 27) и произведя методом совмещенного разреза определение местоположения на ней точки с величиной признака 25, находят расстояние от верхнего подсечения до точки 25. Отложив это расстояние на разрезе от плаstopодсечения вдоль пласта, находят положение на нем «торца изолинии» – точку А.

В условиях интенсивного развития разрывных дислокаций пластов допускается интерполяция значений признаков через нарушения. Разумеется, когда нет противоречащих этому геологических представлений или явных геометрических закономерностей (как на рис. 3.34).

Интерполяция производится следующим образом (рис. 3.35). На разрезе измеряют расстояния от точек замера до точек обреза пласта (l_1 и l_2). Отстраивают линию длиной $l_1 + l_2$, концам которой присваивают соответствующие значения замеров (17 и 11 на рис. 3.35).

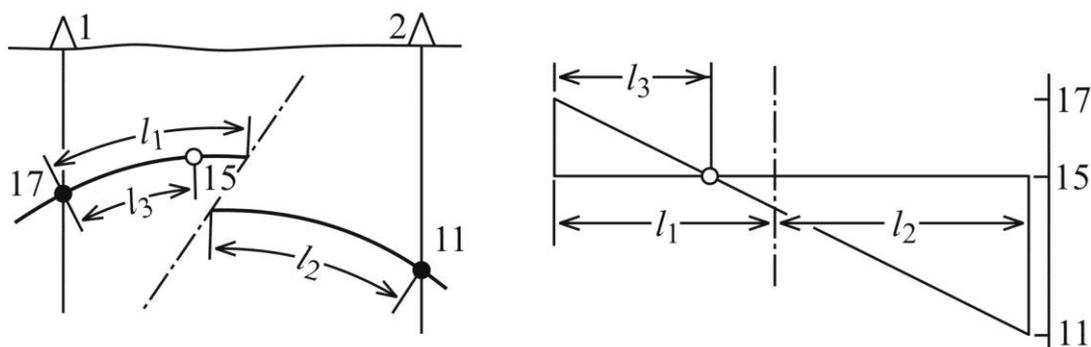


Рис. 3.35. Интерполирование вдоль пласта через нарушение

Методом совмещенного разреза определяют расстояние l_3 от одного из замеров до точки с искомым значением признака (15 для рис. 3.35). Откладывают l_3 на разрезе от точки замера в скважине, определяют положение искомого «торца изолиний».

Используя блок-диаграммы, можно определить значение показателя в любой точке пласта. Решение этой задачи сводится к построению прогнозного промежуточного разреза, проходящего через точку, в которой необходимо определить значение признака. В большинстве случаев разрез строят по направлению, перпендикулярному направляющим. Однако в случае необходимости могут устраиваться и диагональные разрезы.

Рассмотрим построение прогнозных разрезов, например, почвы пласта (рис. 3.36). Пусть необходимо построить разрез по линии, проходящей через точку N' . По координатам L и M , снятым с плана, точка N' помещается на блок-диаграмму, при этом она попадает между некоторой парой разрезов по разведочным линиям 1 и 2.

На этих разрезах выбирают характерные точки (a, d, f, r, t для разреза 1 и b, e, m, p, s для разреза 2), соединение которых позволяет восстановить положение пласта в плоскости разреза. В качестве характерных точек выступают точки пересечения пласта и осей складок, точки обреза пласта нарушениями и так далее. Характерные точки выбирают таким образом, чтобы точкам одного разреза соответствовали аналогичные точки другого. Практически это всегда удается сделать.

Все соответствующие друг другу характерные точки соединяют прямыми, как точки a и b на рис. 3.36. Затем через точку N' проводят плоскость разреза и на ней находят положение характерных точек, выделенных на соседних разрезах.

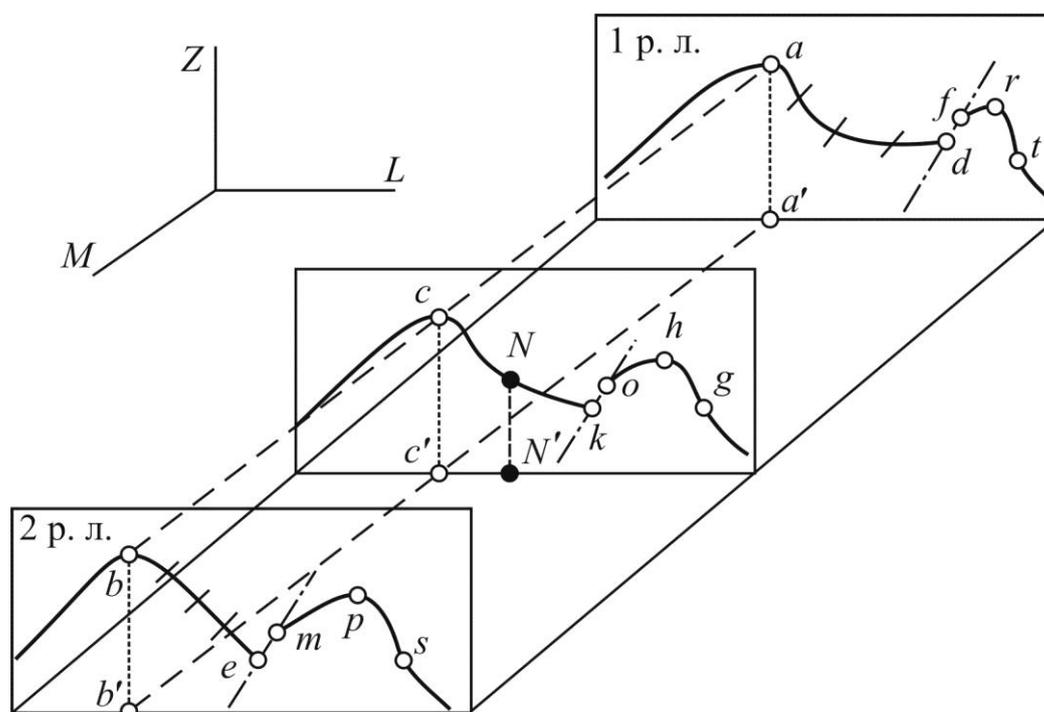


Рис. 3.36. Построение прогнозного промежуточного разреза

Рассмотрим методику построений на примере нахождения положения характерной точки c , соответствующей точкам a и b на разрезах 1 и 2. Для ее получения производят проектирование (вдоль оси Z) соответствующих ей точек a и b на один горизонт – получают точки a' и b' , которые соединяют друг с другом прямой. Отыскивают точку пересечения линии $a'b'$ с соответствующим ей горизонтом прогнозного разреза – точку c' . Из c' восстанавливают прямую, параллельную оси Z , до пересечения в точке c с прямой ab . Точка c есть искомая.

По полученным таким образом характерным точкам проводят плавную кривую – положение пласта на прогножном разрезе, по которому определяют значение признака в точке N' .

Поскольку для восстановления положения пласта на прогножном разрезе одних только характерных точек бывает недостаточно, на разрезах выбирают дополнительные, расположенные между основными, точки. Для их построения измеренное вдоль пласта расстояние между двумя характерными точками (например, между a , d и b , e) делят на одинаковое число равных отрезков (например, на разрезах 1 и 2 – на четыре отрезка, точки деления показаны на рис. 3.36 отрезками прямых). Расстояния между дополнительными точками на разных разрезах будут, как правило, различны.

Работа с графически-цифровой диаграммой имеет некоторые особенности. Для этого, как в вышеописанном случае, строят плоскость прогнозного разреза и положение пласта на нем. Затем соответствующие друг другу точки – «торцы изолиний» соединяют между собой, и получают места их пересечения с почвой пласта на прогножном разрезе.

Эти пересечения являются точками расположения «торцов изолиний» на нем. Затем интерполированием между точками прогнозного разреза находят значение признака в искомой точке.

Использование блок-диаграмм для прогноза значений признаков весьма трудоемко. Однако следует помнить, что описанные процедуры достаточно просто поддаются автоматизации.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит порядок построения изолиний методом ступенчатых отметок?

2. В каких случаях построение гипсометрических планов производится непосредственно на угольном предприятии?

3. Каким образом выполняется корректировка положения изогипсы в пространстве между разведочными линиями, связанная с появлением нового единичного замера?

4. Каким образом выполняется корректировка положения изогипсы в пространстве между разведочными линиями, связанная с появлением нового сечения с известным положением пласта?

5. Каким образом определяется положение точки пересечения изогипсы и осевой поверхности складки?

6. Каким образом выполняется построение изогипсы в центре брахиморфной или куполовидной складки?

7. Каким образом выполняется сгущение изогипс при уменьшении их сечения?

8. Каким образом выполняется построение изогипс в районе дизъюнктивного нарушения, подсеченного разведочными линиями? Между разведочными линиями при наличии данных об элементах залегания сместителя? При наличии данных о его вертикальной амплитуде?

9. В каких целях и каким образом осуществляется построение изофронтальной проекции пластов?

10. Каким образом осуществляют использование погоризонтных планов при построении изофронталей пластов круто-наклонного и крутого залегания?

11. В чем состоит методика построения блок-диаграммы и графически-цифровой блок-диаграммы и в каких целях они используются?

12. Каким образом осуществляют определение высотной отметки пласта между сечениями блок-диаграммы?

Глава 4. ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЯ

4.1. Основные правила построения изолиний методом многогранника

Построение топографических поверхностей, отражающих изменение нормальных мощностей пластов и показателей качества угля, выполняют методом многогранников.

На первом этапе должны быть выявлены и оконтурены все участки неопределенности в положении изолиний.

Что представляют собой такие участки, ясно из рис. 4.1. В ячейке разведочной сети *A*, в скважинах которой мощность пласта имеет значения 2,2, 1,6, 2,3 и 1,7 м, изолиния мощности 2 м может быть построена в двух различных вариантах (рис. 4.1, *a* и рис. 4.1, *б*), в то время как в контуре скважин ячейки *B* с мощностями 1,6, 2,6, 2,7 и 2,3 м ее положение однозначно.

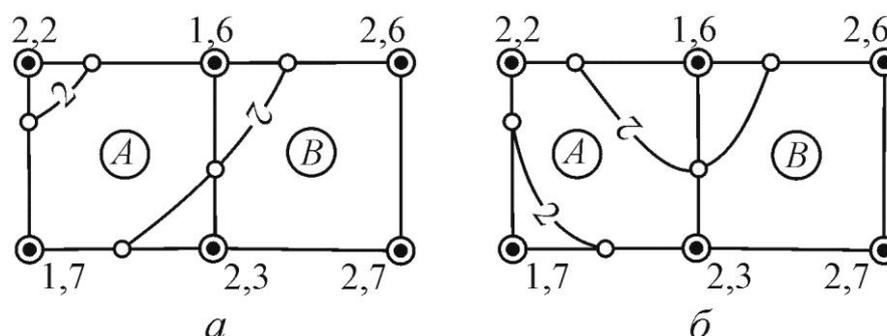


Рис. 4.1. Участок неопределенности в положении изолиний

Таким образом, при геометризации показателя в пределах участка неопределенности возникают два варианта поверхности. Их возникновение связано с различным представлением о том, какое значение имеет показатель в центре участка неопределенности (в начале прошлого века такие участки именовались «загадочными квадратами»). Вариант положения изолинии, показанный на рис. 4.1, *a*, возникает в случае, если значение показателя принимается по диагонали с наименьшими значениями показателя, а вариант, приведенный на рис. 4.1, *б*, – по диагонали с наибольшими значениями показателя.

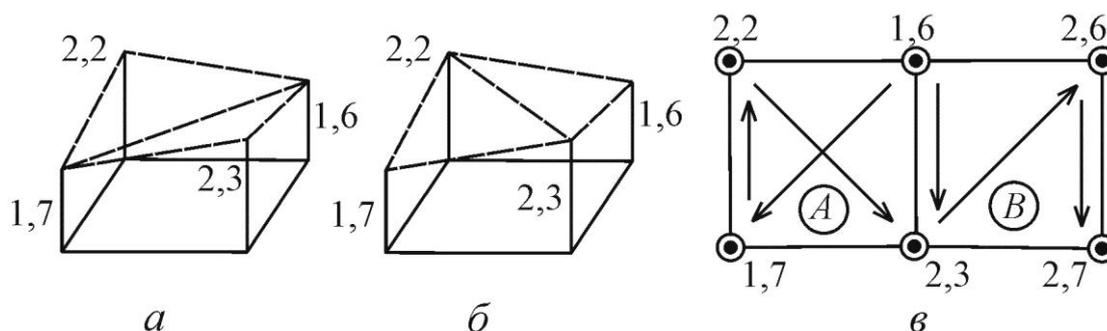


Рис. 4.2. Причины возникновения и порядок выявления участков неопределенности в положении изолиний

Как выбрать наиболее приемлемый из двух вариантов, будет рассмотрено несколько ниже, но уже сейчас ясно, что перед началом построений они должны быть выявлены. В противном случае в ходе работы будет выбран совершенно случайный, неосмысленный вариант.

Выделение потенциальных участков неопределенности легко производить методом А. И. Осецкого. Для этого всю сеть замеров зрительно разделяют на сеть четырехугольников. В каждом четырехугольнике находят скважину с минимальным значением показателя. Из нее начинают обход вершин четырехугольников в направлении увеличения значений показателя (стрелки на рис. 4.2, в). Если при обходе произошло пересечение направлений (четыреугольник *A* на рис. 4.2, в), то неопределенность имеет место, если не произошло (четыреугольник *B*), то она отсутствует.

Однако даже если метод А. И. Осецкого указывает на неопределенность в поведении изолиний, реально она проявляется далеко не для всех изолиний (например, при построении изолинии 2,2 м в ячейке *A* характер ее поведения однозначен). Поэтому выделенные по методу А. И. Осецкого четырехугольники должны пройти дополнительную проверку: на участках неопределенности значение признака, равное имени изолинии, должно встречаться между всеми парами скважин, расположенными по контуру четырехугольника. На это обстоятельство обращают внимание уже при выполнении построения изолиний на участках неопределенности.

Собственно построение изолиний вне участков неопределенности разберем на примере построения изолинии 1,3 м (рис. 4.3).

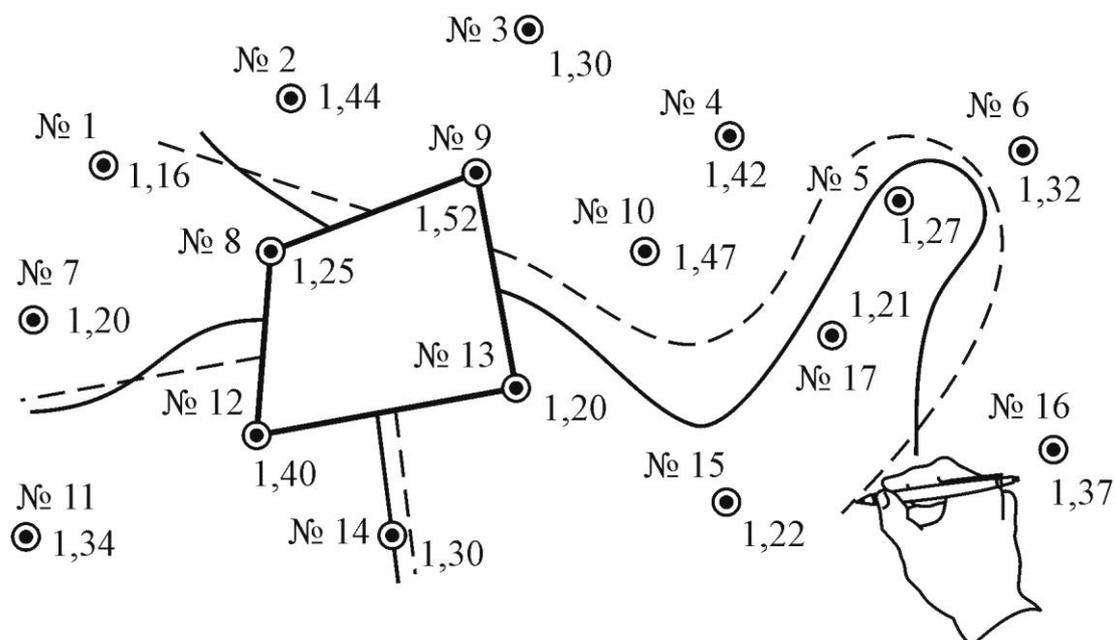


Рис. 4.3. Построение изолиний вне участков неопределенности

Во-первых, методом А. И. Осецкого выделяют участок неопределенности (скважины с номерами 8, 9, 13 и 12).

Во-вторых, схематически намечают положение изолинии (пунктирная линия на участке). Для этого находят произвольную пару скважин (15 и 16 на рис. 4.3), между которыми проходит отстраиваемая изолиния (удобнее, если эта пара расположена вблизи к границам участка). Между ними устанавливают карандаш и определяют, с какой стороны от него находится замер, значение признака в котором меньше, чем величина (имя) отстраиваемой изолинии (на рис. 4.3 – скважина с меньшим значением в 1,22 м находится слева от изолинии 1,3 м). Далее начинают движение карандаша таким образом, чтобы меньшие значения признака всегда находились от него по одну сторону (для примера на рис. 4.3 – слева). Движение карандаша завершают при подходе к участку неопределенности или к границе участка. Отыскивают другую пару скважин, между которыми должна проходить изолиния (например, номер 7 и 11), и действия повторяют.

При схематическом построении изолиний не следует обращать внимание на замеры, точно соответствующие по своей величине отстраиваемой изолинии, или, в крайнем случае, делать это очень осторожно. Студенческая привычка ориентироваться в первую очередь на такие замеры приводит к ошибкам.

Например, после проведения изолинии между парой скважин № 10 и № 15 большинство студентов (на начальной стадии обучения) попыталось бы «коснуться» ею скважины № 3. В результате этого между скважинами № 9 и № 4 появилась бы (причем два раза!) изолиния 1,3 м. Начинать построение изолинии из точки с замером, результаты которого точно совпадают с именем изолинии (скважины № 3, № 14), вообще нельзя. Необходимо помнить, что в районе этих замеров изолиния не обязательно будет отстраиваться. Ведь ее контур может иметь пренебрежительно малые размеры (если замеры расположены внутри участка), или ее положение неясно в связи с отсутствием измерений (замер расположен на границе участка – скважина 3 на рис. 4.3).

На третьем этапе работы положение отстраиваемой изолинии уточняют с помощью линейной интерполяции. Обычно она выполняется методом палетки или совмещенного разреза по парам замеров, между которыми проходит схематически изображенная изолиния.

Палетка (рис. 4.4, *a*) представляет собой выполненную на прозрачной основе систему параллельных равноудаленных друг от друга (на 3–10 мм) прямых.

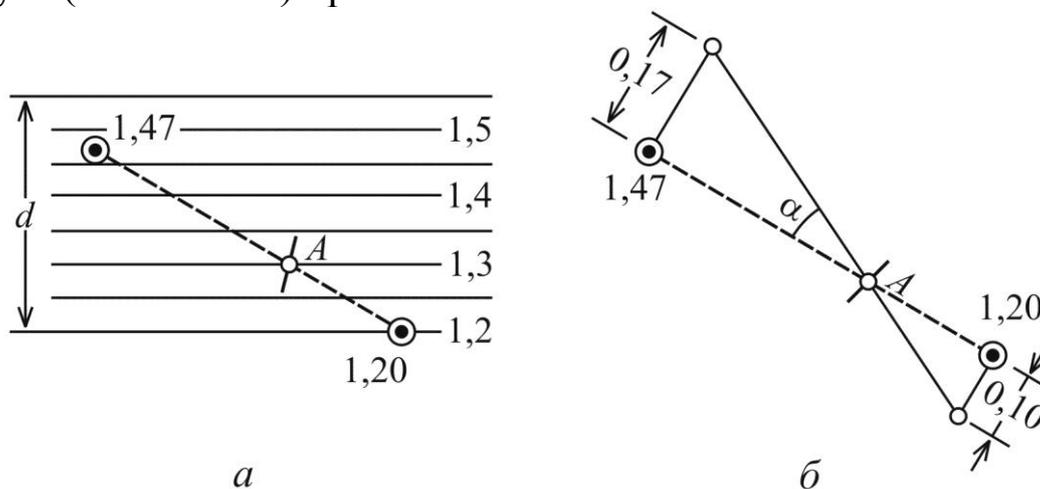


Рис. 4.4. Линейная интерполяция: *a* – с помощью палетки; *б* – с помощью совмещенного разреза

Параллельные прямые палетки оцифровывают (палетка превращается в аналог плоскости, изображенной в проекции с числовыми отметками). Причем в оцифровке должны обязательно присутствовать величины, соответствующие именам отстраиваемых изолиний.

Предельная разность значений признака на участке палетки шириной d должна соответствовать максимальному изменению признака между любыми соседними скважинами и примерно равна расстоянию между самыми ближайшими замерами на плане. При интерполяции на графической основе прочерчивают соединяющая замеры линию (пунктир на рис. 4.4, *a*). Затем на основу накладывают палетку так, чтобы каждый замер пары лег на соответствующую ему линию палетки. Так, на рис. 4.4, *a* «нижний» замер лежит на линии 1,20, а «верхний» – на линии 1,47. Искомой точкой A , в которой мощность ожидается равной 1,3 м, является точка пересечения линии 1,3 м палетки с прямой, соединяющей замеры. При необходимости с помощью палетки отмечается и положение точек с другими значениями признака (например, 1,4 м).

Другой менее трудоемкий способ нахождения положения точки A – способ совмещенного разреза. При этом способе замеры на плане также соединяют между собой (рис. 4.4, *b*), а затем находят разности между искомыми и фактическими значениями признака в скважинах. Для «нижнего» замера такая разность равна «–10 см», а для «верхнего» – «+17 см». После этого из скважин опускают перпендикуляры к соединяющей их линии, направленные в разные стороны от нее. На этих перпендикулярах откладывают (в произвольно выбранном масштабе) установленные разности признака, и полученные точки соединяют, т. е. выполняют построение совмещенного разреза. Пересечение двух построенных прямых и дает положение точки A (рис. 4.4, *b*). В целях обеспечения точности ее графического определения масштаб выбирают таким образом, чтобы угол α между прямыми превышал 10° . Для различных пар скважин может приниматься разный масштаб.

Установив ожидаемое положение изолиний между парами скважин, проводят соединяющую их плавную кривую – собственно изолинию (сплошная линия – см. рис. 4.3).

После построения изолиний спрямляют их резкие перегибы, связанные большей частью с погрешностью измерений и построений. При геометризации принимающих только целочисленные значения показателей, таких, например, как пластометрический показатель y , часто возникают затруднения, вызванные наличием нескольких замеров, значения показателей в которых равны значению изолинии.

В этом случае неопытный пользователь пытается объединить такие точки в изолинию, «радуясь» отсутствию необходимости в интерполировании. При возникновении трудностей рекомендуется использовать следующий простой прием. Если, например, не удастся выполнить построение изолинии $y = 10$ мм, то отстраивают две формально некорректные по величине дополнительные изолинии – 9,5 и 10,5 мм. После этого искомую изолинию отстраивают путем ее расположения на середине между дополнительными, которые впоследствии удаляют с плана.

4.2. Проведение изолиний на участках неопределенности

В результате выполнения описанных выше операций на графической основе показываются изолинии, «разорванные» на участках неопределенности. Наиболее просто разрешение этой неопределенности выполняют с помощью проведения дополнительных измерений. Однако в большинстве случаев это сложно и, главное, дорого. Прежде чем пытаться разрешить неопределенность, следует убедиться, что это действительно необходимо.

Если изолинии строят с целью последующего прогноза значений признака, то надо определить, как будут изменяться его результаты в зависимости от принятия того или иного варианта построений. Для этого достаточно найти значение признака в точке пересечения диагоналей четырехугольника неопределенности из одной и из другой диагонали. Например, для рис. 4.3 мощность в этой точке из диагонали скважин № 8 и № 13 равна 1,23 м, а из диагонали между скважинами № 9 и № 12 – 1,46 м. Разница – 23 см. Много это или мало, определяет характер задач, которые будут решаться с помощью горно-геометрической модели. Если любой вариант построения одинаково приемлем, то в разрешении неопределенности просто нет практической необходимости и можно использовать любой вариант построения изолиний.

Если различие значимо, то необходимо выполнить разрешение неопределенности в поведении изолиний.

Наиболее часто, особенно если изолиния является границей контура, используют принцип «ожидания неприятностей». Например, если для условий рис. 4.1 предельная минимальная раздвижка комплекса составляет 2 м, то для одного варианта зона неопределенности будет зоной присечки пород кровли или почвы, а для другого варианта – обычной рабочей зоной.

С позиции принципа «ожидания неприятностей» в этом случае в зоне неопределенности будет принята меньшая мощность, то есть при планировании горных работ будет осуществляться ориентация на возможность присечки вмещающих пород. Применение данного принципа желательно подкреплять экономическими расчетами.

Второй прием состоит в использовании поверхности-лидера. При его применении стараются отыскать такой признак, который коррелировал бы с изучаемым.

Основная идея приема состоит в том, что если между измеренными в одних и тех же точках двумя признаками существует корреляционная зависимость (коэффициент корреляции более 0,6), то их топографические поверхности будут подобны.

Нередко одна из поверхностей имеет меньшую изменчивость и соответственно более низкую степень неоднозначности поведения изолиний. По установленной форме связи между показателями менее изменчивую поверхность можно преобразовать в поверхность другого более изменчивого показателя. Изолинии такой преобразованной поверхности могут использоваться в качестве наиболее вероятных направлений изолиний на участках неопределенности при построении более изменчивой поверхности.

Например, при обобщении результатов разведки поля перспективного угольного разреза «Итатский-2» (Канско-Ачинский бассейн) были построены изолинии общей мощности четвертичных отложений (на рис. 4.5, *а* показан фрагмент разведочной сети с указанием положения изолинии 27 м и значений измеренной в скважинах мощности отложений).

Независимо в соответствии с существующими требованиями промышленности строились изолинии мощности галечников (на рис. 4.5, *б* показано положение изолинии 4 м и мощности галечников в скважинах). При построении изолиний мощности галечника встретились многочисленные участки неопределенности, в результате чего рассматривался даже вопрос о дополнительном бурении специальных скважин, тогда как изолинии общей мощности четвертичных отложений были построены без осложнений.

Это объясняется тем, что изменчивость мощности галечников почти в три раза превышает изменчивость общей мощности четвертичных отложений.

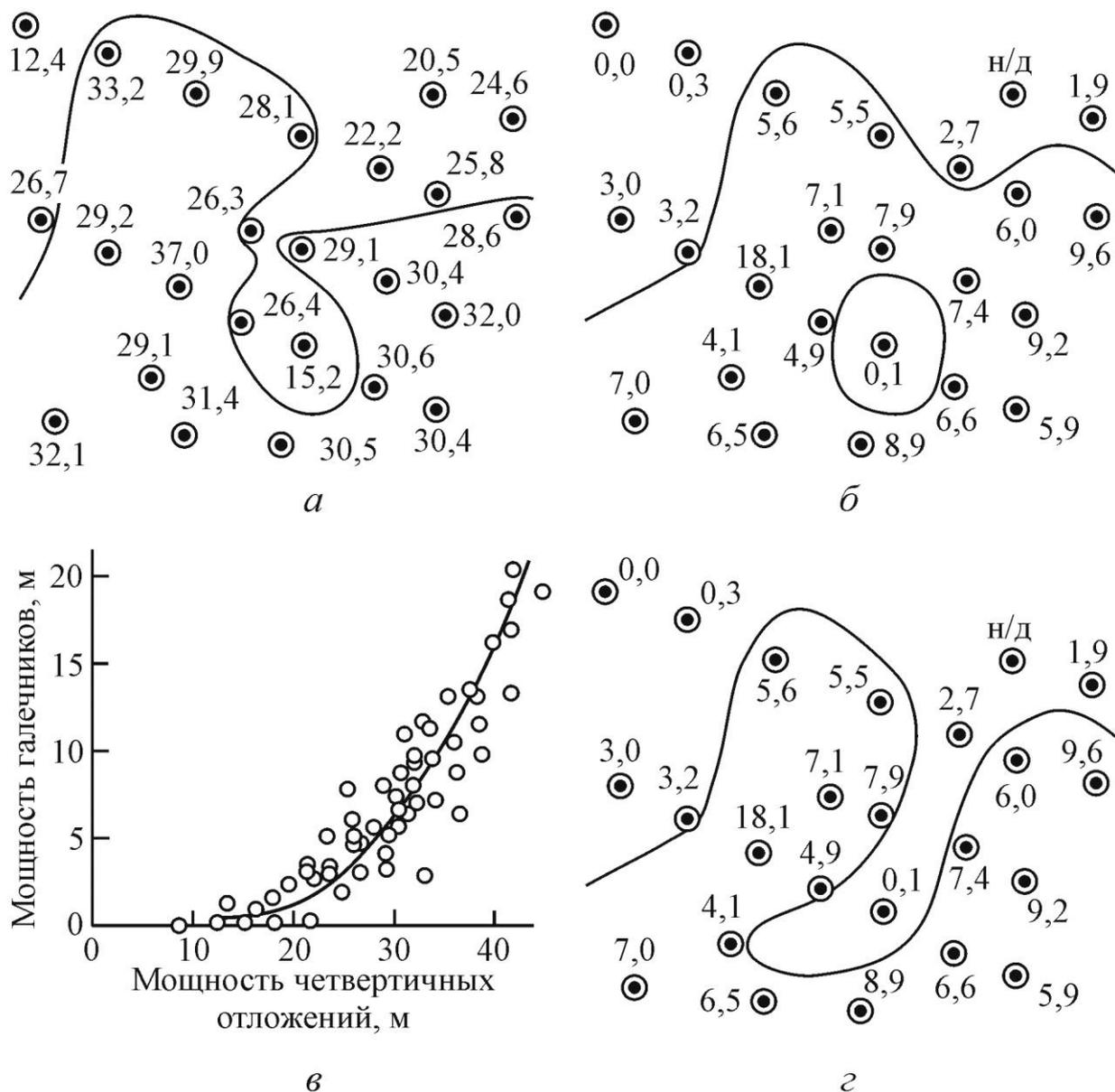


Рис. 4.5. Построение изолиний на участках неопределенности при использовании поверхности-лидера:
а – изолиния 27 м суммарной мощности четвертичных отложений;
б – изолиния 4 м мощности галечников (первоначальный вариант);
в – зависимость мощности галечников от суммарной мощности четвертичных отложений;
з – изолиния 4 м мощности галечников (окончательный вариант)

При анализе материалов разведки было установлено, что между значениями общей мощности четвертичных отложений и мощности галечников существует прямая параболическая тесная (корреляционное отношение 0,76) статистическая зависимость (рис. 4.5, в).

Отсюда следует, что поведение изолиний мощности галечников должно повторять поведение изолиний общей мощности четвертичных отложений, положение которых установлено однозначно. На основе этой дополнительной информации положение изолиний галечников было откорректировано в ходе разрешения неопределенности их поведения (рис. 4.5, *г*), что позволило отказаться от проведения дополнительных буровых работ, и сократило их стоимость и сроки изучения объекта.

Государственная геологическая экспертиза согласилась с правомерностью применения описанной технологии геометризации, утвердила разведанные запасы и признала участок подготовленным к промышленному освоению.

Существует разновидность описанного приема, которая применяется при прохождении через участок неопределенности какого-либо структурного элемента, например оси складки. В этом случае строят зависимость изучаемого признака от расстояния до этого элемента. Если связь существует (что свидетельствует, например, об увеличении мощности пласта в замке складки), то дальнейшие действия аналогичны описанным выше.

Наибольший эффект от использования поверхности-лидера достигается в случае, если вспомогательный признак имеет меньшую, по сравнению с изучаемым, изменчивость. При построении комплекта моделей всегда необходимо изучать корреляцию между признаками, поскольку ее наличие позволяет разрешить возникающие в них неопределенности на взаимной основе.

Третий используемый прием разрешения неопределенности основывается на декомпозиции признаков. Он применяется при геометризации нормальных мощностей и зольности пластов сложного строения.

Применение метода разберем на примере. Допустим, при геометризации мощности пласта сложного строения выявлен участок неопределенности. В этом случае в его пределах отстраивают изолинии мощностей каждой пачки (или суммы мощностей угольных пачек) и каждого породного прослоя (или суммы мощностей прослоев). Если неоднозначность в построении этих изолиний отсутствует, то искомую поверхность изомощностей получают как сумму отстроенных поверхностей. Если неоднозначность все же сохраняется, то данный прием не применим.

Четвертый прием основан на идее симметричности геопоя. Разрешение неопределенности производят в этом случае исходя из проведения соседних изолиний.

Например, для условий рис. 4.6 можно предположить, что все изолинии показателя имеют одинаковую ориентировку, в соответствии с которой и следует выполнить разрешение неопределенности в положении изолинии 10, приняв в качестве окончательного вариант, показанный пунктирной линией.

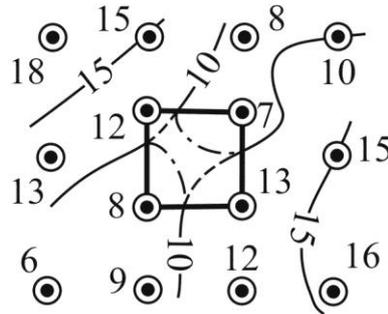


Рис. 4.6. Разрешение неопределенности в положении изолиний на основании учета симметрии геопоя показателя

После завершения разрешения неопределенности приступают к построению принятого варианта положения изолинии.

Например, если при разрешении неопределенности в положении изолинии 1,3 м (см. рис. 4.3) по принципу «ожидания неприятностей» будет принят вариант, указанный на рис. 4.7, *а* пунктирной линией, то в контуре неопределенности проводят не пересекающую его изолинии диагональ (направление скважин № 8 и № 13 на рис. 4.7, *б*).

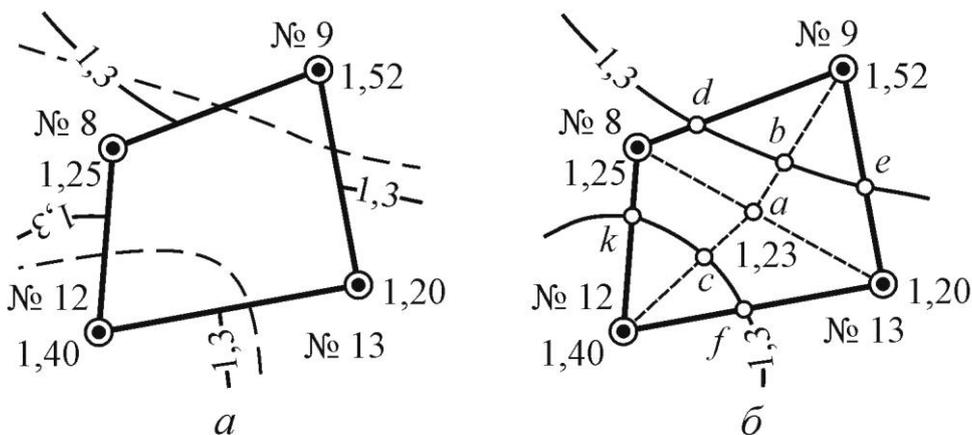


Рис. 4.7. Построение изолинии в пределах участка неопределенности

На диагонали выбирают точку a , значение показателя в которой определяют путем интерполяции вдоль диагонали. Обычно, в целях упрощения процесса интерполяции, точку a выбирают на середине диагонали – тогда значение показателя в ней будет равно полусумме величин показателя в формирующих диагональ скважинах (1,23 м на рис. 4.7, б).

Далее точку a рассматривают в качестве некоей условной «скважины», интерполированием между которой и реальными скважинами (№ 9 и № 12 на рис. 4.7, б) находят принадлежащие изомощности 1,3 м дополнительные точки b и c . Изолинию отстраивают путем ее проведения через точки b и c и точки d, e, f, k , фиксирующие положение изолинии на границах участка неопределенности.

4.3. Построение изолиний в районе разрывных нарушений

При построении изолиний в районе расположения известных разрывных нарушений возникают две ситуации (рис. 4.8).

Первая состоит в том, что имеется скважина, попавшая в зону перекрытия крыльев пласта (№ 4 на рис. 4.8, а), по которой определены значения признака в висячем и лежащем крыльях.



Рис. 4.8. Построение изолиний в районе разрывных нарушений

В этом случае изолинии отстраивают независимо по каждому из крыльев (интерполяцию через нарушение не производят). Например, для рис. 4.8, *а*, левая часть изолинии (висячее крыло) построена путем интерполяции между замерами 3 – 2; 3 – 1; 2 – 4 и 4 (висячее крыло) – 1, а правая часть – между замерами 6 – 7; 6 – 5; 4 (лежачее крыло) – 7 и 4 (лежачее крыло) – 5. В результате изолинии будут построены до направлений, соединяющих скважину с двойным подсечением (номер 4) со скважинами лежачего (№ 5) и висячего (номер 1) крыльев. После этого изолинии продлевают до пересечения с соответствующими линиями обреза крыльев сместителем.

Вторая ситуация состоит в том, что скважина с двойным подсечением пласта отсутствует. В этом случае изолинию отстраивают, не обращая внимания на наличие дизъюнктива. В результате могут возникать две различные картины.

Во-первых, изолиния (рис. 4.8, *б*) может иметь резкий перегиб в районе нарушения. Если это так, то участок изолинии (точечная линия на рис. 4.8, *б*) удаляют, а ее окончательное положение (пунктирная линия на рис. 4.8, *б*) отстраивают, как и в первой ситуации, путем экстраполяции. Таким образом, изолиния отображается с разрывом.

Во-вторых, резкого перегиба изолинии не наблюдается. В этом случае никакой корректировки изолиний не производят (для этого нет достаточного количества данных) и графическая модель в районе нарушения выглядит, как это показано на рис. 4.8, *в*. При наличии зоны зияния изолинию в ее пределах не проводят, то есть точечный участок изолинии 1,3 м на рис. 4.8, *в* удаляют после завершения построений.

4.4. Построение линии выклинивания пласта

В ряде случаев наблюдается выклинивание пласта, то есть уменьшение мощности пласта вплоть до полного его исчезновения. В этом случае возникает необходимость в построении линии выклинивания, то есть изолинии нулевой мощности.

Когда залежь имеет линзообразную форму залегания, ее положение устанавливают на основании определения углов выклинивания. Эта процедура достаточно подробно описана в учебной литературе для условий рудных месторождений.

Однако в подавляющем большинстве случаев этот подход не применим для условий угольных месторождений.

Основной горно-геометрический способ построения линии выклинивания угольного пласта состоит в следующем. Все точки замеров, по данным которых пласт отсутствует (скважины № 5 и № 6 на рис. 4.9), соединяются с ближайшими к ним точками, где пласт существует (отрезки 1 – 5, 2 – 5, 3 – 5, 2 – 6, 3 – 6, 4 – 6).

Через середины этих отрезков проводят первый вариант положения нулевой изолинии (сплошная линия с переходом на пунктирную линию между направлениями 2 – 5, 2 – 6). Затем производят сглаживание изолинии в пользу безугольной площади и формируют окончательное положение нулевого контура (сплошная линия на рис. 4.9).

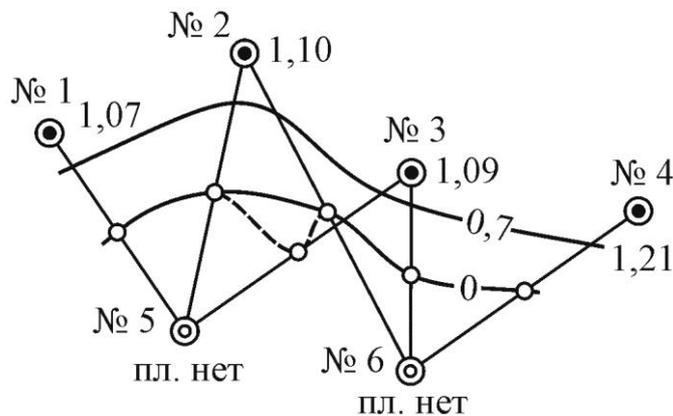


Рис. 4.9. Построение линии выклинивания

Другой способ, который редко удается применить, состоит в установлении корреляционной связи между мощностью пласта и мощностью одного из пластов пород кровли. Если такая связь существует, то по форме связи устанавливаются мощность породы, при которой угольный пласт «должен» иметь нулевую мощность. Изолиния этой мощности и является ожидаемым положением линии выклинивания. Необходимо обратить внимание на распространенную студенческую ошибку, совершаемую при построении изолиний мощности вблизи линии выклинивания.

Она состоит в том, что при их построении ведут интерполяцию между скважинами с нулевым и ненулевым значением мощности (например, на середине между скважинами № 5 и № 2 на рис. 4.9 этим путем была получена мощность 0,55 м).

Фактически интерполировать можно только между скважинами, находящимися в угольном контуре, и линией выклинивания. На рис. 4.9 при построении изолинии 0,7 м интерполяция проводилась между замерами 1, 2, 3, 4 и отмеченными точками участками линии выклинивания, мощность пласта в которой принимается равной нулю.

4.5. Выделение аномальных замеров и их учет при геометризации

Значимая часть замеров показателей квалифицируется в ходе геологоразведочных работ как аномальные или нехарактерные (как замеры, линейная интерполяция в районе которых неприемлема). Вопрос о том, каким образом следует учитывать такие замеры в процессе геометризации угольных месторождений, не имеет в настоящее время общепринятого решения. В учебной и научно-методической литературе эта проблема не рассматривается.

В процессе выполнения подсчета запасов геологоразведочные организации анализируют имеющиеся подсечения на выявление ураганных значений, которые, применительно к угольным месторождениям, именуют аномальными.

Ограничение ураганных (аномальных) значений на угольных месторождениях не производят – их полностью исключают из подсчета запасов. В отличие от рудных и россыпных месторождений, для которых существует целый ряд методик выбраковки ураганных значений, аналогичных общепринятых методов для угольных месторождений не существует.

Кроме того, выделение аномальных замеров (как и ураганных на рудных и россыпных месторождениях) осуществляют в целях проведения подсчета запасов, т. е. в целях обеспечения получения достоверных подсчетных параметров («средних значений» показателей по подсчетным геологическим блокам), а не в целях изучения геометрических закономерностей размещения показателей в пространстве недр. При построении первоначального варианта графической модели возможность наличия аномальных замеров сознательно упускается из виду, и работу ведут исходя из предположения, что таких замеров вообще не существует. После построения модели такие замеры выявляют и учитывают в процессе корректировки первоначального варианта модели.

Для практических целей можно рекомендовать следующий порядок действий по выделению аномальных замеров.

В начале выделяют «подозрительные» на аномальность замеры. Технология их выделения близка по содержанию к упрощенному методу выделения ураганных проб П. Л. Каллистова.

По результатам геометрического моделирования потенциально аномальным замером следует признавать тот, вокруг которого замыкаются две и более изолинии показателя, имеющие рациональное сечение. Это сечение устанавливают в соответствии с «Методическими рекомендациями по выбору сечений...» [3].

Если изолинии замыкаются вокруг группы замеров, то ни о какой аномальности не может идти речи.

Например, для условий на рис. 4.10, *а* потенциально аномальным должен быть признан замер 1,27 м, тогда как замеры 2,74 м и 2,81 м на рис. 4.10, *б* не подлежат отбраковке.

На практике выполнять построение изолиний признака нет необходимости, достаточно определить рациональное сечение изолиний и выделить те замеры, величина которых отличается от соседних более чем на удвоенную величину этого сечения. Такая процедура легко автоматизируется.

Потенциально аномальные замеры анализируют с целью выявления причин аномальности, которые делятся на три группы.

К первой относят замеры, содержащие технические ошибки, принципы выделения которых уже рассматривались.

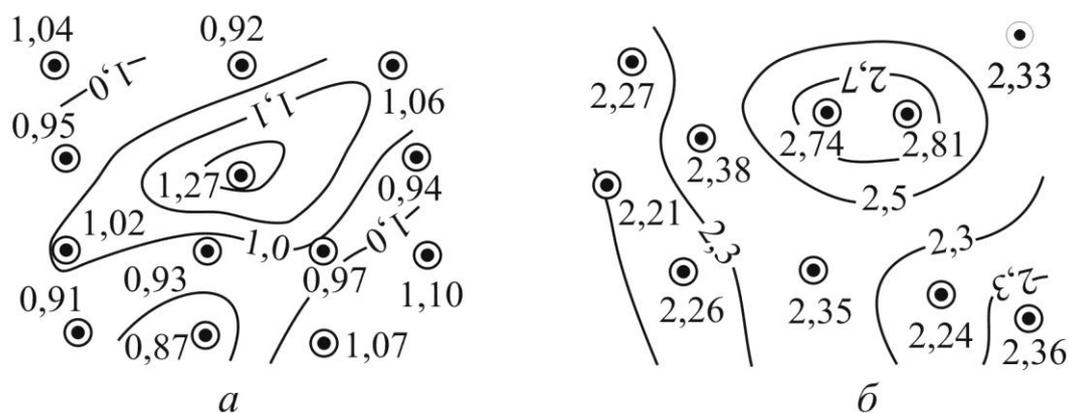


Рис. 4.10. Выделение потенциально аномальных замеров

Ко второй группе замеров относят те, аномальное значение признака в которых может быть обусловлено их расположением в пределах «аномалий», факт наличия которых фиксируется разведочными скважинами. Например, расположением пластопересечений в зонах влияния нарушений, наличием конкреций либо локальной карбонатизации угольного слоя и т. д. Замеры такого плана, как и замеры предыдущей группы, не рекомендуется учитывать при геометризации (считать отсутствующими).

Третья группа аномалий приурочена к зонам аномального поведения пласта, предположительно распространенным на ограниченной площади, в силу чего именно относящиеся к ней замеры подлежат использованию при геометризации. Например, на рис. 4.11, а аномальным замером признан замер 2,32 м, вокруг которого замыкаются три изолинии: 2,1, 2,2 и 2,3 м.

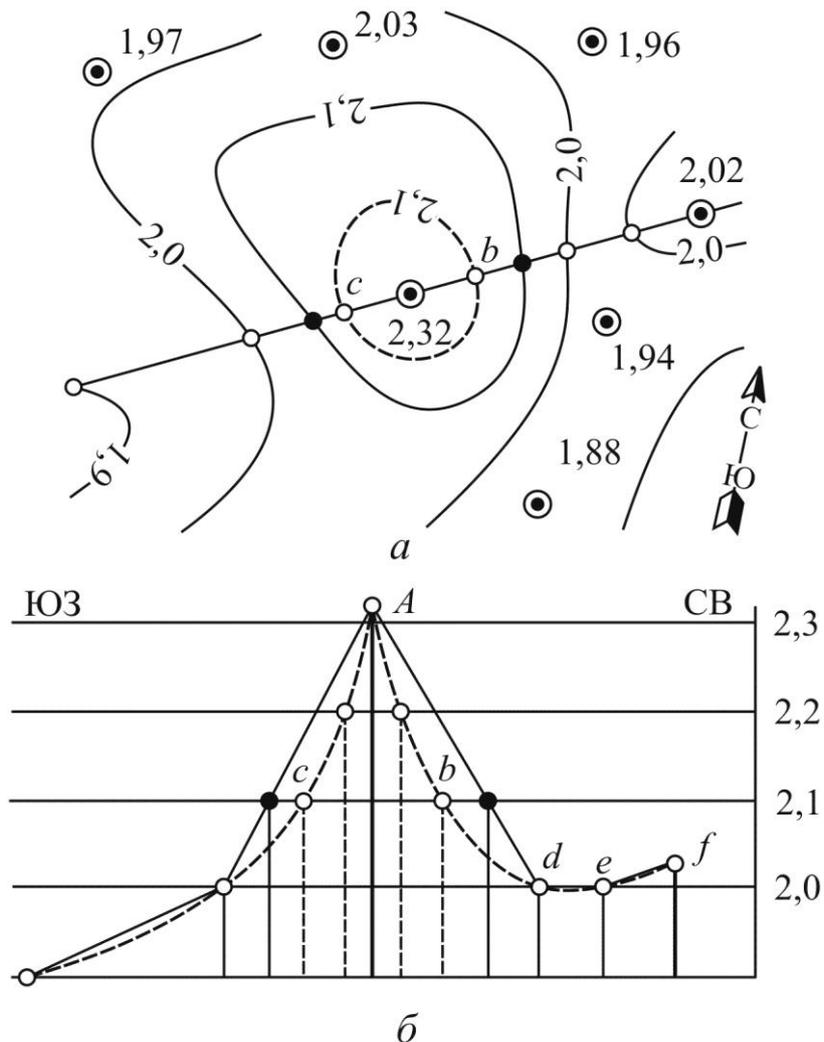


Рис. 4.11. Корректировка положений изолиний в районе аномальных замеров

Если эти изолинии имеют практическое значение, то осуществляют корректировку их положения. Для этого строят разрез по какой-либо линии, проходящей через точку расположения аномального замера (линия cb на рис. 4.11, a). На разрезе проводят горизонты, соответствующие корректируемым изолиниям (2,1, 2,2 и 2,3 м на рис. 4.11, b), и строят ломаную, соответствующую изменению признака (сплошная линия на рис. 4.11, b). Ее строят путем откладывания значений показателя в скважинах и в точках пересечения линии разреза с построенными на плане неоткорректированными изолиниями. Затем через аномальный замер A и точки пересечения линии разреза с не подлежащими корректировке изолиниями (изолиния 2,0 м) и обычными замерами (т. е. через точки A, d, e, f на рис. 4.11, b) проводят параболическую кривую изменения признака, не проходящую через связанные с аномальным замером точки положения изолиний (пунктирная линия на рис. 4.11, b).

На разрезе отмечают новое положение корректируемых изолиний (точка b для изолинии 2,1 м в северо-восточной части разреза и точка c – в юго-западной). Точки b и c переносят на план.

По точкам типа b и c , полученным на показанном на рис. 4.11 разрезе и на дополнительно отстраиваемых разрезах иной ориентировки, также проходящих через аномальный замер A , отстраивают откорректированное положение изолинии путем проведения через них плавной кривой.

4.6. Особенности построения изолиний показателей угольных пластов с применением компьютерных технологий

При геометризации угольных месторождений геологоразведочными организациями и службами горных предприятий все более активно применяют различные компьютерные программы, реализующие математические, прежде всего геостатистические, методы построения изолиний различных геологических показателей.

Однако известно, что геометризация месторождений с помощью геостатистических методов является неординарной задачей, которая решается с помощью сложно настраиваемых методов.

В связи с этим при геометризации угольных месторождений по-прежнему широко используются так называемые полигональные методы, единственное особое требование к условиям их применения состоит только в правомерности выполнения интерполяции.

Оценка сравнительной эффективности компьютерных и ручного вариантов может быть выполнена на основании сравнения горно-геометрических моделей, построенных ручным и различными компьютерными методами на основании данных геологоразведочных скважин с моделями, подготовленными по результатам опробования пластов в горных выработках (принимаемых за истину).

Пример такого сравнения приведен на рис. 4.12.

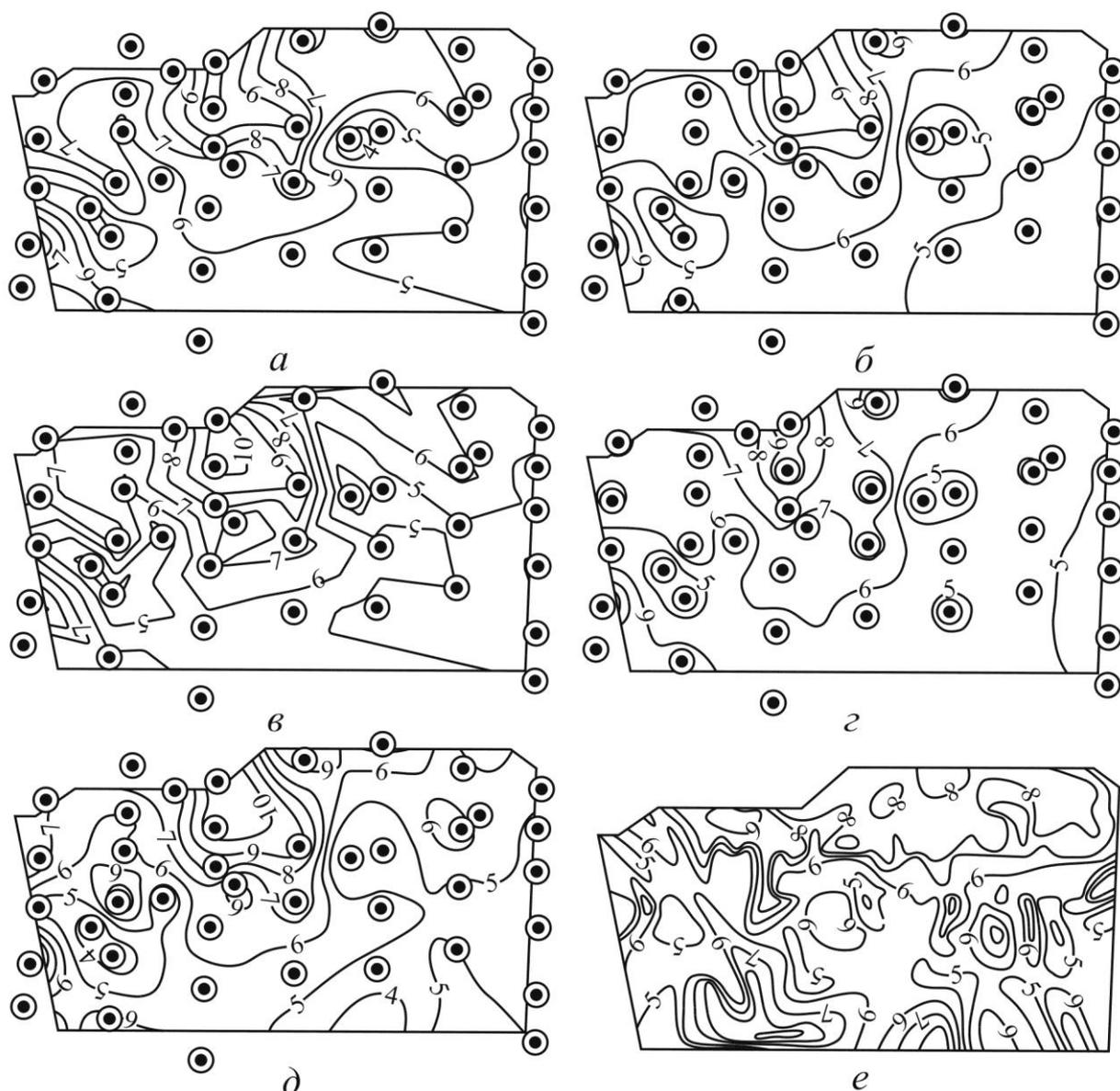


Рис. 4.12. Изолинии зольности угля, построенные по данным опробования скважин с помощью: *а* – метода многогранников (вручную); *б* – кригинга; *в* – триангуляции с линейной интерполяцией; *г* – метода обратных расстояний; *д* – метода Шепарда; *е* – изолинии зольности по данным опробования горных выработок

Конфигурация сети разведочных скважин по участку равномерна, что является благоприятным для применения компьютерных технологий обстоятельством. В рамках исследований выполнено построение изолиний вручную – классическим методом многогранников (рис. 4.12, *a*), а также четырьмя несглаживающими методами (рис. 4.12, *б, в, г, д*), представленными в геоинформационной системе Golden Software Surfer.

Кроме того, поскольку тестовый участок недр был уже отработан, дополнительно представлен «фактический» характер положения изолиний, установленный на основании использования только данных опробования угольного пласта в горных выработках (рис. 4.12, *e*).

В целом положение изолиний зольности, построенных по данным геологоразведочных скважин всеми методами, близко друг к другу. Для сравнения методов между собой результаты их применения были трансформированы в регулярные цифровые модели с расстоянием между узлами 25 м (более 4600 узлов).

Определены среднеквадратические различия зольности по данным модели и по данным горных работ. Они мало различаются между собой:

- 1,5 % для ручного метода и триангуляции с линейной интерполяцией;
- 1,6 % для кригинга, 1,4 % для метода обратных расстояний;
- 1,7 % для метода Шепарда (отклонения указаны в абсолютных единицах измерения зольности).

Также незначительно отличаются и коэффициенты корреляции между топографическими поверхностями (на основании расчета коэффициентов корреляции между значениями признаков в узлах цифровых моделей). Эти коэффициенты при сравнении данных моделирования по скважинам и по данным горных работ для участка составляют 0,33–0,34.

Между тем положение изолиний при ручном и компьютерных построениях существенно отличается по участкам неоднозначного поведения изолиний.

Компьютерные технологии построения изолиний не учитывают наличие участков неопределенности и не предусматривают ее автоматическое разрешение. При этом в автоматическом режиме не может обеспечить и использующий триангуляцию сети скважин метод линейной интерполяции (рис. 4.12, *в*).

В то же время при ручном варианте построения изолиний разрешение неопределенности в поведении изолиний осуществляется осознанно (в примере на рис. 4.12, *e* использован принцип «ожидания неприятностей»).

В рамках исследования материалов приведенного примера было выполнено определение погрешности оконтуривания запасов, пригодных для использования в качестве сырья для производства сверхчистого угля. С позиции последствий проявления такая погрешность может рассматриваться по двум вариантам.

Первый вариант состоит в том, что запасы, выделенные по данным геологоразведки как кондиционные для данного вида технологического использования, фактически таковыми не являются, а второй – в том, что некондиционные по данным геологоразведки запасы фактически окажутся кондиционными.

Первый вариант последствий является более значимым для бизнеса, чем второй, поскольку при его проявлении недропользователь не сможет в полном объеме выполнить свои обязательства перед потребителем, тогда как при втором он лишь получит дополнительное количество угля требуемого качества, тем более что погрешность, приводящая ко второму варианту последствий, будет устранена после оконтуривания выемочных столбов, что может быть учтено в годовых планах ведения горного бизнеса.

В результате подсчетов установлено, что при применении «ручного» метода ошибочно была определена промышленная значимость 894 тыс. т запасов, а при применении кригинга – 1878 тыс. т, т. е. погрешность возросла более чем в два раза.

Еще более значимое различие в результатах геометризации возникает при неравномерном размещении скважин разведочной сети даже в условиях низкой сложности восстанавливаемой топографической поверхности.

На рис. 4.13 приведен пример геометризации мощности пласта, главной задачей которой было выделение в его пределах контура, в котором неизбежно будут присекаться породы кровли в связи с тем, что минимальная вынимаемая приобретенным механизированным комплексом мощность пласта составляла 1,2 м. Причем при разрешении неопределенности в поведении изолинии 1,2 м в рамках ручного метода одинаковый результат имел место при применении подходов, основанных на принципах наибольшего ущерба и симметрии геополя.

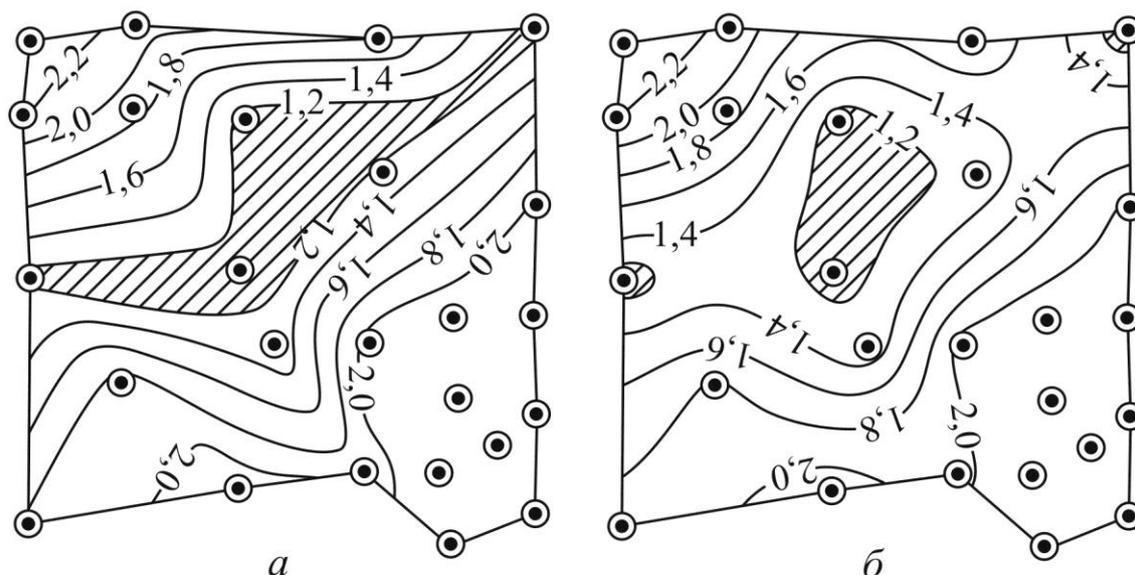


Рис. 4.13. Изолинии мощности пласта,
построенные по данным скважин с помощью:
а – метода многогранников (вручную); *б* – кригинга

Кроме того, в двух скважинах однозначно фиксировались признаки размыва.

Таким образом, в условиях угольных месторождений явными преимуществами обладает «ручной» метод построения изолиний.

Однако компьютерные технологии построения обладают весьма значимым достоинством, состоящим в том, что их применение сопровождается формированием цифровой регулярной модели показателя (так называемого грида). Именно использование цифровых моделей позволяет впоследствии реализовать компьютерные технологии проектирования и планирования ведения горных работ.

Проведенные исследования, один из примеров которых был детально рассмотрен выше, позволяют предложить технологию геометризации угольных месторождений, сочетающую ручную и компьютерную технологии.

На первом этапе геометризации следует осуществлять выделение потенциальных участков неоднозначности. Для упрощения этого процесса вместо описанного метода А. И. Осецкого, сложно поддающегося автоматизации, можно использовать абсолютные дельта-критерии разведанности, которые будут рассмотрены в следующей главе.

Эти критерии, вычисляемые по четырехугольным ячейкам сети скважин, представляют собой разности значений показателя в точке пересечения диагоналей четырехугольника, полученных из интерполяции вдоль них. На основе таких критериев также выполняется оценка правомерности интерполяции показателей в межскважинном пространстве, без наличия которой построение изолиний любыми несглаживающими методами некорректно. К участкам неопределенности относят те ячейки скважин, значения абсолютных дельта-критериев в которых превышают принятое сечение изолиний в полтора и более раза.

На втором этапе следует выполнять автоматическое построение изолиний методами кригинга и триангуляции с линейной интерполяцией. Если за пределами участков неопределенности результаты построения изолиний этими методами идентичны, то в дальнейшем работу ведут только в пределах участков неопределенности.

С учетом перечисленных выше методов разрешения неопределенности ручным методом выполняют построение изолиний в их границах. Затем в исходные данные следует ввести дополнительные «фиктивные» замеры, значения показателя в которых определяют по построенным вручную фрагментам поверхности. Автоматическое построение изолиний следует повторить по полученной совокупности данных по скважинам и «фиктивным» замерам.

Добавление «фиктивных» замеров необходимо осуществлять до тех пор, пока автоматически построенные изолинии на участках неопределенности не будут повторять ручной вариант.

В тех редких случаях, когда построенные методами кригинга и триангуляции с линейной интерполяцией изолинии не идентичны по всему участку (что является следствием резкой неравномерности разведочной сети или множественности участков неопределенности), построение всех изолиний выполняют вручную. После этого осуществляют переход к равномерной цифровой модели. Значение показателя в каждом узле модели определяют путем интерполяции между изолиниями. Сформированный таким образом массив данных используют при построении изолиний в автоматическом режиме, а полученную в их процессе цифровую модель высокой плотности – в дальнейших работах по проектированию и планированию горных работ.

4.7. Специальные горно-геометрические модели

Горно-геометрические модели показателей служат информационной основой принятия технических, технологических и управленческих решений. Именно поэтому, руководствуясь характером решаемых задач, на горных предприятиях должны создаваться модели, которые по государственным требованиям не формируют на стадии подготовки отчетов о геологическом изучении недр.

К ним, в частности, относятся уже рассмотренные модели изменения мощности пласта и зольности угля (в геологических отчетах приводятся, разумеется, при наличии только изолинии тех показателей, значения которых соответствуют параметрам кондиций).

К числу таких моделей относятся и специальные модели, основанные на различных преобразованиях показателей.

Например, при планировании развития горных работ одним из важнейших параметров, определяющих итоговые технико-экономические показатели работы предприятия, является объем выпуска готовой продукции.

Для многих предприятий, в особенности для добывающих угли коксующихся марок, реализуемой продукцией является концентрат. Поставщик добытой горной массы или продуктов переработки должен обеспечивать стабильное качество исходного сырья в соответствии с календарным планом отработки месторождения, договором поставки продуктов переработки.

Поэтому прогнозирование выхода концентрата из рядовых углей только по геологическим данным является необходимым элементом обеспечения планирования. Основой такого прогноза может выступать горно-геометрическая модель выхода концентрата.

Величина выхода концентрата определяется различными факторами: фракционным составом угля, зольностью в целом и по классам крупности обогащаемых классов, режимами флотации углей, используемыми реагентами, скоростями восходящего воздушного потока при использовании вакуумно-пневматического способа обогащения и т. д. Однако в пределах отдельного пласта, особенно в ограниченном интервале времени, многие из этих факторов являются неизменными, что значительно упрощает процесс прогнозирования.

Например, для условий одной из шахт Кузбасса по данным горных работ установлена тесная корреляционная зависимость выхода концентрата от зольности отгружаемых на обогатительную фабрику рядовых углей (рис. 4.14).

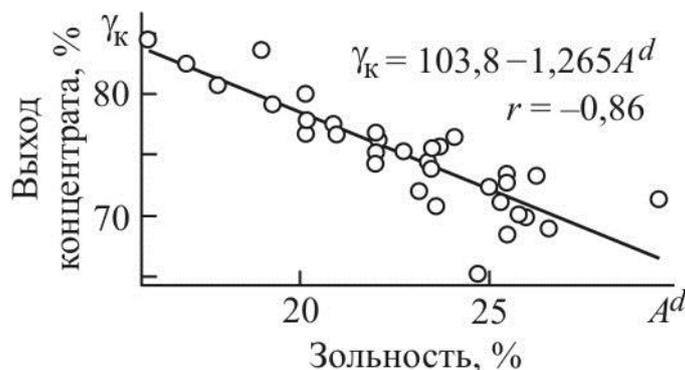


Рис. 4.14. Зависимость выхода концентрата от зольности отгружаемых на обогатительную фабрику рядовых углей

Существование этой зависимости определяет последовательность выполнения работ по моделированию, которая включает:

- построение по данным разведочных работ модели (топографической поверхности) зольности угля в обрабатываемом контуре;
- преобразование топографической поверхности зольности путем арифметических действий с ней в соответствии с установленным видом зависимости в модель выхода концентрата;
- использование модели выхода концентрата для определения его выхода в заданном контуре обработки.

Построение изолиний зольности добываемого угля выполняют методом многогранников по данным кернового опробования скважин и при наличии результатов опробования в горных выработках.

Если типоразмер применяемого механизированного комплекса предполагает осуществление присечки вмещающих пород, в построениях используют не пластовую, а пересчитанную для каждого плаstopодсечения зольность горной массы.

Кроме того, к зольности пласта или горной массы по каждой скважине добавляют величину C , учитывающую дополнительное технологическое засорение пласта. Определение C осуществляют путем сравнения геологоразведочных и эксплуатационных данных по ранее отработанным площадям.

В условиях рассмотренной шахты она устойчива во времени, имеет систематический характер и равна 3,2 абсолютных процента зольности.

Фрагмент построенного с учетом перечисленных обстоятельств итогового плана изозольностей добываемого угля приведен на рис. 4.15, *а*.

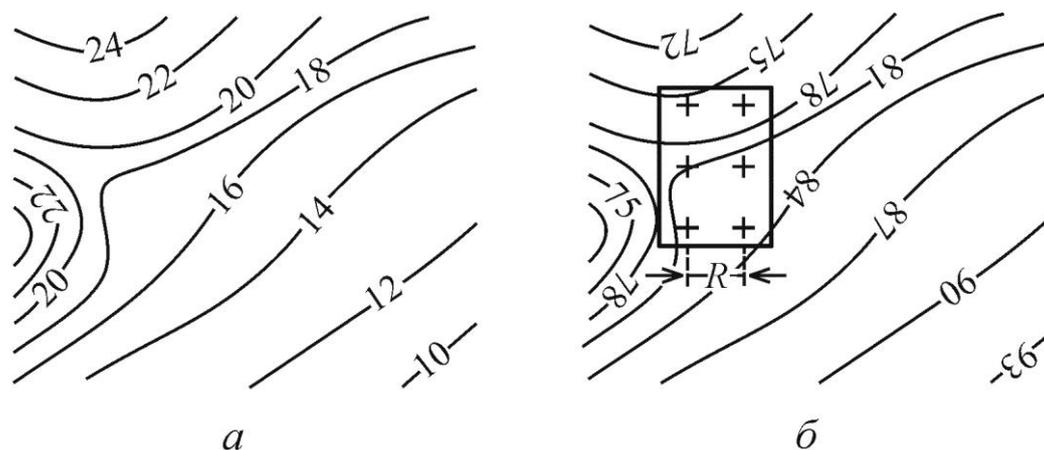


Рис. 4.15. Прогнозирование выхода концентрата угля:
а – фрагмент плана изозольностей пласта,
 построенного с учетом засорения угля вмещающими породами;
б – фрагмент плана изолиний выхода концентрата
 с указанием контура прогноза

Далее по уравнению зависимости между выходом концентрата и зольностью (см. рис. 4.14) топоповерхность последней пересчитана в топоповерхность выхода концентрата, т. е. изолиния зольности 22 % на рис. 4.15, *а* преобразована в изолинию 76 % выхода концентрата на рис. 4.15, *б* и т. д.

При этом большинство непосредственно полученных изолиний выхода концентрата будут иметь дробные значения, поэтому описание поверхности приводят к целому сечению изолиний с помощью стандартных методов сгущения изолиний (см. рис. 3.13).

Для определения величины выхода концентрата в контуре прогноза (например, показанного на рис. 4.15, *б*) на него «набрасывают» квадратную сетку с расстоянием между узлами R . В каждом из узлов по изолиниям выхода концентрата путем интерполяции определяют его ожидаемое значение.

По всем узлам, попадающим в контур и на его границы, рассчитывают среднеарифметическое значение выхода концентрата, являющееся результатом прогноза.

Для приведенного на рис. 4.15, б контура прогноза при $R = 40$ м ожидаемый выход концентрата составляет 79,8 %.

Так как точность прогноза явно зависит от расстояния R между узлами сетки, предварительно производят определение его оптимального значения. Для этого на прогнозном плане изолиний намечают участок с наиболее сложным поведением изолиний, на который многократно и произвольно «набрасывают» несколько сеток с различной величиной R (для условий примера использовались сетки 100×100 , 60×60 , 40×40 и 20×20 м). В результате для каждого варианта сетки будет получено несколько значений выхода концентрата, по которым строят график зависимости γ_k от R (рис. 4.16).

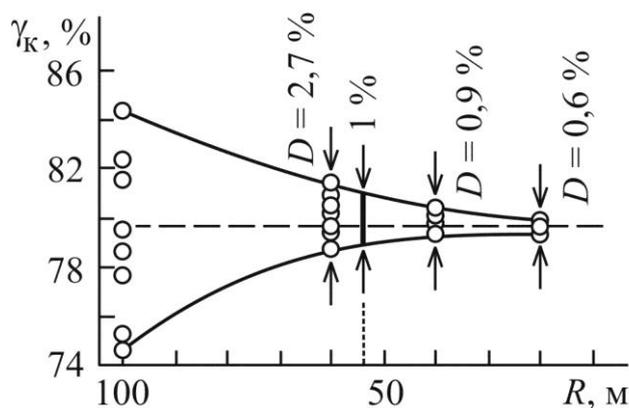


Рис. 4.16. Определение оптимального размера сетки R

На этом графике хорошо видно, что по мере уменьшения расстояния между узлами сетки уменьшается и разброс возможных результатов прогноза D , а средняя величина выхода концентрата стремится к 80 % (пунктирная линия на рис. 4.16).

По уровню приемлемой погрешности определения средней величины выхода концентрата (принят равным 1 % – половине от требуемой погрешности прогнозирования) по графику устанавливают соответствующее ему расстояние $R = 46$ м, которое, исключительно в целях удобства построений, обычно округляют в меньшую сторону. В данном случае – до 40 м.

Именно данное расстояние R используют для прогнозирования выхода концентрата по пласту в сопоставимых по площади контурах.

Построение функции $\gamma_k = f(A^d)$ выполняют по массиву парных наблюдений, в качестве которых выступают данные о предшествующих среднемесячных выходах концентрата и зольностях товарного угля, которые нестабильны во времени и зависят от постоянно изменяющихся в пространстве недр свойств угля.

Поэтому зависимость должна устанавливаться не по максимальному (как это принято в теории корреляции), а по минимально возможному количеству данных.

Необходимый объем статистических данных определялся путем многовариантного прогнозирования выхода концентрата.

Для этого по данным N месяцев ($N = 3, 4, \dots, 20$) последовательно были отстроены линейные зависимости $\gamma_k = f(A^d)$, которые экстраполировались на каждый из M следующих месяцев ($M = 1, 2, 3, \dots, 12$). Например, установленная по данным за январь, февраль и март ($N = 3$) зависимость экстраполировалась на апрель ($M = 1$), май ($M = 2$) и т. д. Затем бралась следующая тройка месяцев: февраль, март и апрель (другой вариант прогноза при $N = 3$), и прогноз вновь выполнялся на несколько месяцев вперед ($M = 1, 2, 3, \dots$). Затем N увеличивалось на 1, и действия повторялись уже при $N = 4$. Всего было сформировано 3240 различных вариантов прогноза.

Полученные по каждому прогнозу значения выхода концентрата сравнивались с фактическими, на основе чего рассчитывались среднеквадратические погрешности прогнозирования P_γ .

График изменения погрешности прогноза выхода концентрата m_γ на M месяцев вперед в зависимости от числа N месяцев (рис. 4.17) позволяет по заданному уровню погрешности прогнозирования определить протяженность обучающего периода, т. е. количество месяцев, данные по которым должны использоваться для построения зависимости $\gamma_k = f(A^d)$ по шахте в дальнейшем.

Теоретически требуемая погрешность должна задаваться потребителем горно-геометрической информации, т. е. прежде всего экономическими службами. Однако предложение об ее уровне может быть сформировано и маркшейдерско-геологической службой предприятия.

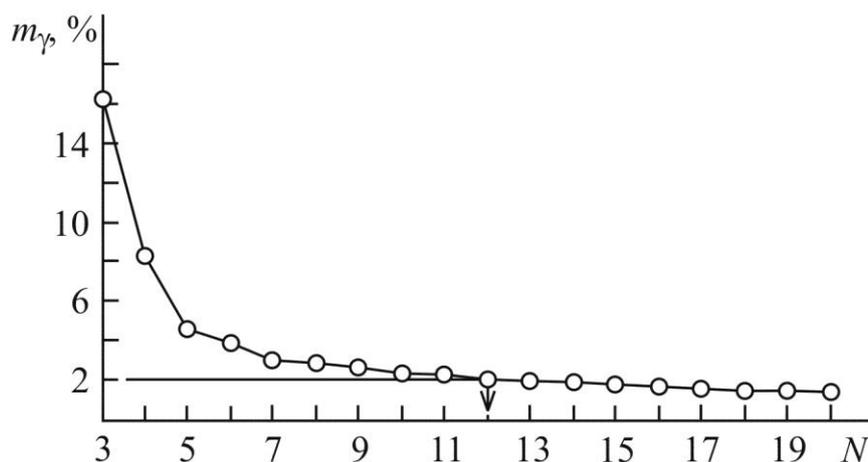


Рис. 4.17. Среднеквадратические погрешности прогноза выхода концентрата m_γ в зависимости от числа N наблюдений

В конечном итоге результатом прогноза является количество отгруженного потребителю концентрата (W), которое прогнозируется путем умножения количества добываемого рядового угля (D) на ожидаемый процент выхода концентрата (γ_k):

$$W = D\gamma_k. \quad (4.1)$$

Отсюда следует, что погрешность прогноза количества концентрата определяется двумя погрешностями: погрешностью количества добытого рядового угля (m_D) и погрешностью выхода концентрата (m_γ).

Величину допустимой относительной погрешности прогнозирования выхода концентрата можно принять равной половине относительной погрешности определения размера добычи рядового угля. В этом случае погрешность прогноза выхода концентрата будет незначимой.

Поскольку считается, что относительная погрешность определения добычи на основе маркшейдерских замеров составляет 5 %, то допустимую относительную погрешность прогноза величины выхода концентрата можно оценить в 2,5 %.

Этой относительной погрешности, учитывая среднюю величину выхода концентрата по шахте (79,6 %), соответствует абсолютная погрешность в 2 % (в единицах выхода концентрата).

Такая погрешность, в соответствии с рис. 4.17, достигается при использовании данных по 12 и более месяцам.

Таким образом, построение зависимости $\gamma_k = f(A^d)$ для условий шахты следует выполнять один раз в год и использовать на протяжении следующих 12 месяцев.

Рассмотренный пример позволяет понять, что специальные графики могут носить не только статический, но и своеобразный динамический характер (применяться в определенный период времени). В последнем случае необходимо выполнить построение модели и определить допустимый период ее использования.

Преобразование одного вида модели в другой может осуществляться и с использованием более сложных правил преобразования [12, 14, 15]:

- многофакторных моделей, в том числе использующих метод группового учета аргументов;
- нейронных сетей;
- методов распознавания образов.

При применении сложных правил преобразования формирование моделей выполняют тремя основными методами.

Во-первых, путем расчета ожидаемого значения геометризуемого показателя в точках замера (в скважинах) по используемым в правилах преобразования факторам и последующего построения его изолиний.

Во-вторых, путем соответствующих действий с топографическими поверхностями входящих в правила преобразования факторов (умножение, деление, суммирование и т. д.), приводящих к формированию искомой поверхности.

В-третьих, путем предварительного формирования регулярных цифровых моделей показателей-факторов. По правилам преобразования для каждого узла рассчитывают ожидаемое значение геометризуемого показателя, после чего выполняют построение изолиний.

В отличие от первого, применение последнего метода обеспечивает возможность построения изолиний в условиях наличия пропусков данных, т. е. в случае, когда используемые в правилах преобразования факторы определены лишь в части скважин.

В некоторых случаях в качестве специальных горно-геометрических моделей используют модели, которые можно условно отнести к нерегулярным цифровым.

Примером такой модели может служить карта трещиноватости. На этой карте, обычно создаваемой на основе плана горных работ (или совмещаемой с ним), в местах проведения наблюдений трещиноватости помещают обобщенные точечные диаграммы (рис. 4.18, *а*). На обобщенной диаграмме, в координатах α (азимут падения трещин) и β (угол падения), точками типа «а» (рис. 4.18, *б*) отображают полюса систем трещин, выделенных в точках проведения наблюдений по результатам их обработки.

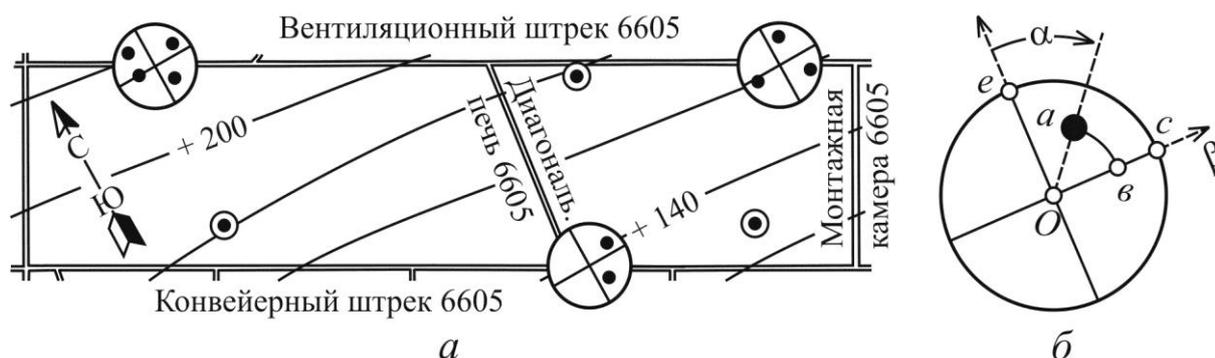


Рис. 4.18. Карта трещиноватости (*а*) и содержание обобщенной точечной диаграммы трещиноватости (*б*)

Азимут падения трещин α откладывают от линии Oe , направление которой совпадает с направлением на север. Угол падения трещин в системе β в масштабе откладывают от центра диаграммы O (расстояние Oa равно $Oв$ на рис. 4.18, *б*). При этом радиус диаграммы (расстояние $Oс$) условно принимают за 90° . Причем значение угла в центре может быть равным как 0 , так и 90° . Выбор осуществляют исходя из того, какие углы падения трещин преобладают (если крутые, то угол в точке O принимается равным 0°).

Радиус обобщенной точечной диаграммы обычно выбирают кратным девяти (например, 9 мм), чтобы можно было визуально определить углы падения трещин в системе.

Пользуясь картой трещиноватости, можно оценить характер изменения числа систем трещин в различных частях изучаемого объекта, определить их средние угловые характеристики.

В настоящее время в связи с внедрением геоинформационных систем обобщенным точечным диаграммам как пространственным объектам дополнительно присваивают атрибуты (линейные характеристики систем, тип трещин системы и т. д.).

Имеющие специальное значение горно-геометрические модели достаточно разнообразны, а их вид, порядок формирования и содержание определяются целевыми информационными задачами, которые могут существенно отличаться у различных предприятий.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит порядок построения изолиний методом многогранника?

2. В чем причины возникновения участков неопределенности в поведении изолиний?

3. Каким образом можно выделить участки неопределенности в поведении изолиний до начала их построения?

4. Как осуществляется построение изолиний вне участков неопределенности?

5. Укажите основные способы разрешения неопределенности в поведении изолиний.

6. Как используется поверхность-лидер для разрешения неопределенности в поведении изолиний?

7. Как осуществляется построение изолиний мощности пласта в районе расположения дизъюнктивных нарушений?

8. Что представляет собой линия выклинивания пласта и как выполняется ее построение?

9. Что представляют собой аномальные замеры и как они выделяются?

10. Каким образом учитывается наличие аномальных замеров в процессе геометризации?

11. В чем состоят особенности построения изолиний показателей угольных пластов с применением компьютерных технологий?

12. Какие специальные горно-геометрические модели вы можете назвать? В чем состоят особенности их построения?

Глава 5. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ

5.1. Значимость и принципы оценки достоверности результатов геометризации

Задача определения достоверности результатов горно-геометрического моделирования месторождения (в практике разведки месторождений полезных ископаемых используют «усеченный» термин – достоверность запасов) сводится к задаче оценки степени расхождения между реальным объектом и его моделью. Необходимо понимать, что непосредственное решение задачи в такой постановке невозможно, так как никаких иных сведений об объекте, кроме использованных при создании его модели, не имеется. Поэтому ее решение может осуществляться только специальными косвенными методами.

Результаты определения достоверности имеют не только техническое, но и правовое и экономическое значение для промышленности.

Геологическая и горно-геометрическая информация, на основе которой разрабатываются проекты освоения месторождений, всегда искажена погрешностями, объективно присущими процессам геологоразведки и геометризации. В результате этого всегда имеет место информационная неопределенность, приводящая к возникновению специфической формы стратегического риска – горному или геологическому риску, имеющему много форм проявления. По результатам проведенного в 2003 году Обществом менеджмента и экономики Канадского института горного дела, металлургии и нефти опроса ведущих отраслевых аналитиков данный вид риска был признан важнейшим для горного бизнеса, а его значимость в три раза превысила значимость следующего по влиянию риска «рыночная цена сырья».

Технический аспект горного риска состоит в том, что в основе всех проектов и планов развития горнодобывающих предприятий лежат не фактические данные о недрах, а лишь их модели. В связи с этим погрешности геометризации могут приводить к снижению эффективности предусмотренных к реализации технических решений и даже к невозможности их воплощения на практике.

Недостаточный уровень достоверности моделирования месторождений может приводить и к тому, что по результатам государственной геологической экспертизы может быть принято решение о неподготовленности его к промышленному освоению.

В такой ситуации недропользователю может быть отказано в постановке запасов участка недр на государственный учет, что приводит к правовому запрету на осуществление проектирования, строительства и эксплуатации предприятия. В этом состоит правовой аспект значимости горного риска.

Экономический аспект горного риска вытекает из того, что с позиции акционеров важнейшей общей целью управленческой деятельности предприятия является максимизация его рыночной стоимости. Известно, что, при прочих равных условиях, вариации рыночной стоимости крупнейших добывающих компаний на 66–92 % объясняются именно изменением величины и состояния минеральных активов.

Оценка состояния минерально-сырьевой базы всегда используется инвесторами для определения инвестиционной привлекательности проекта, а также при котировке стоимости акций предприятий и при принятии решений, возникающих при продаже, проведении IPO, переуступке прав и т. п. Это в полной мере относится и к угольной промышленности, которая продолжает развиваться как в качественном, так и в количественном отношении.

За первые 13 лет текущего столетия добыча угля в мире возросла настолько же, как и за весь XX век. Прогнозы мировой энергетики «WEO-2016» Международного энергетического агентства и «Прогноз-2016» Института энергетических исследований Российской академии наук и Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации предполагают сокращение доли угля и нефти в структуре потребления энергии в мире к 2040 году, но при этом варианты прогнозов, как учитывающие, так и не учитывающие текущие климатические обязательства стран по Парижскому соглашению, предполагают рост потребления этих энергоносителей в абсолютном выражении.

Чрезвычайно высокая значимость горного риска определяет обязательность его оценки и доведения ее результатов до сведения инвесторов, что и предусмотрено международными системами финансовой отчетности и стоимостной оценки.

Информационной основой для оценки инвесторами степени горного риска является классификация «ресурсов» (resource – близкое к отечественному понятию «балансовые запасы», которые учитываются государственным балансом запасов полезных ископаемых) и «запасов» (reserve – часть ресурсов, подлежащая в соответствии с проектом экономически оправданному извлечению из недр, определяемая с учетом засорения и разубоживания при добыче).

Классификация Комитета по разработке международных стандартов публичной отчетности о запасах твердых полезных ископаемых (CRIRSCO) выделяет три категории «ресурсов» (по степени роста достоверности): предполагаемые (inferred), выявленные (indicated) и оцененные (measured), а также две категории «запасов»: вероятные (probable) и доказанные (proved), причем «запасы» вообще не могут выделяться в контурах расположения предполагаемых ресурсов.

Не вдаваясь в излишнюю детализацию определений, следует отметить, что классификация выполняется по степени достоверности информации о «ресурсах». Наглядно представить различия этой степени можно по результатам исследований С. В. Петрова, И. Д. Котлярова, А. Б. Кацнельсона и М. С. Сеня, выполненных применительно к месторождениям золота (аналогичные исследования по месторождениям угля отсутствуют). Из полученных этими авторами на основании данных реальных сделок покупки месторождений российской компанией «Полиметалл УК» следует, что если принять цену золота в недрах в предполагаемых «ресурсах» за 1, то в выявленных «ресурсах» она составляет 4, а в оцененных – 12.

Оценка достоверности «ресурсов» и «запасов» выполняется на основании экспертных оценок, которые всегда субъективны, особенно при оценке природных геологических образований, каждое из которых по-своему уникально. Неоднократно имели место случаи, когда сформулированные экспертами выводы не подтверждались практикой, а инвестиционные проекты оказывались несостоятельными. Так, в декабре 2014 года акционер гонконгской Siberian Mininig Group Чарльз Чжи подал иск в Верховный суд Гонконга на возмещение 280 млн долл. в связи с неверной оценкой «ресурсов» участка «Шахта Лапичевская-2» в Кузбассе.

Действенным инструментом повышения качества экспертизы «ресурсов» и снижения коррупционных рисков являются количественные методы оценки достоверности результатов моделирования месторождений. Введенная в действие с 2008 года действующая российская национальная Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых впервые в мире предусматривает обязательность применения количественных методов оценки достоверности запасов при их классификации. Для проведения количественной оценки достоверности запасов рудного сырья в целях определения их категорий используются методы, преимущественно основанные на геостатистических подходах.

Для оценки достоверности геометризации угольных месторождений предложен специальный геометрический подход [18], реализованный в форме «Методических рекомендаций...» [4]. Они официально рекомендованы (протоколом ЭТС от 22.05.2007) к практическому применению российской Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых и Обществом экспертов России по недропользованию (протоколом ЭТС от 12.05.2011). В соответствии с положениями международно признанного российского Кодекса публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых это является официальной рекомендацией по использованию «Методических рекомендаций...» [3] для выполнения экспертизы геологической информации и по международным стандартам.

Реализованный в Рекомендациях [4] подход к оценке достоверности (погрешности) геометризации основан на использовании теории геохимического поля, предложенной в начале прошлого века проф. П. К. Соболевским, основные положения которой близки к разработанным значительно позднее положениям геостатистики. В соответствии с ней поле геологического показателя должно обладать свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности.

В основу разработанного геометрического подхода к оценке достоверности результатов геометризации [18] положены два простейших соображения.

Во-первых, т. к. поле геологического показателя однозначно, то в каждой точке угольного пласта любой показатель (высотная отметка почвы пласта, его мощность, зольность и т. д.) реально может принимать только одно-единственное значение.

Отсюда следует, что и модель, идеальным образом описывающая поведение показателя, также должна обладать свойством однозначности.

Поэтому неоднозначность модели является свидетельством ее неадекватности реальному объекту. Причем степень этой неадекватности тем больше, чем больше неоднозначность модели. Таким образом, оценка достоверности геологической модели может быть осуществлена через количественно выраженную оценку ее неоднозначности.

Во-вторых, собственно неоднозначность любых построений может быть количественно оценена лишь при наличии избыточных измерений. Но они крайне нежелательны, т. к. возникают в результате переразведки геологического объекта. Поэтому такие измерения можно и следует создавать в форме искусственных косвенных избыточных определений.

Таким образом, общая схема оценки достоверности геометризации состоит в создании косвенных избыточных определений, количественной оценке на их основе степени неоднозначности анализируемой модели с последующим переходом от оценки неоднозначности к оценке достоверности (погрешности) модели.

5.2. Критерии разведанности угольных месторождений

При оценке достоверности в соответствии с «Методическими рекомендациями...» [4] используются три способа создания избыточных определений, два из них используются при решении специальных вопросов – оценке достоверности построения геологического разреза и оценке погрешности определения среднего значения показателя по группе скважин [18] и не рассматриваются в настоящем пособии. Третий способ, который является основным, состоит в разделении сети скважин на систему пересекающихся друг друга выпуклых четырехугольников с вершинами – скважинами. В каждом четырехугольнике (также именуемом оценочный блок) проводятся две пересекающиеся в точке K диагонали (рис. 5.1). Все дальнейшие расчетные формулы предполагают, что вершины оценочного блока условно пронумерованы цифрами от 1 до 4, начиная с произвольной вершины с ростом номеров при обходе блока по направлению часовой стрелки.

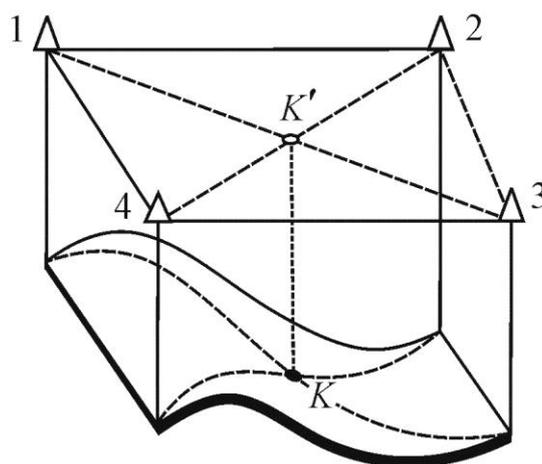


Рис. 5.1. Создание косвенных избыточных определений в четырехугольной ячейке сети разведочных скважин

Используя метод интерполирования, по точности соответствующий методу, примененному при построении анализируемой модели, можно определить значение признака в точке K из каждой диагонали.

Теоретически они должны быть равны. Однако в силу наличия погрешностей измерений и интерполяции их значения совпадать не будут. Поэтому их разность, являясь разностью двух независимых косвенных определений, рассматривается в качестве меры неоднозначности модели, т. е. в качестве критерия разведанности.

На практике форма четырехугольной ячейки всегда будет отличаться от формы правильного четырехугольника. Установлено, что получаемые критерии являются информативными, если форма четырехугольника удовлетворяет четырем условиям:

- «деформированности» (для каждой диагонали отношение расстояний от вершин четырехугольника до точки K к общей длине диагонали должно находиться в пределах от 0,3 до 0,7);
- «ромбовидности» (отношение длины более протяженной диагонали к длине менее протяженной не должно превышать 2,6);
- «косоугольности» (внутренние углы четырехугольника должны находиться в пределах от 25° до 155°);
- «вытянутости» (отношение средней длины двух самых протяженных сторон четырехугольника к средней длине двух коротких не должно превышать 4).

При оценке достоверности изучения гипсометрии угольного пласта используется кубическая сплайн-интерполяция и критерий (называемый лямбда-критерий) рассчитывается по формуле

$$\lambda_{\text{в}} = \left| \left[F_1(x) T(\delta_1) - F_2(x) T(\delta_3) \right] R + (Z_3 - Z_1) F_3(x) + Z_1 - \right. \\ \left. - \left[F_1(x') T(\delta_2) - F_2(x') T(\delta_4) \right] R' - (Z_4 - Z_2) F_3(x') - Z_2 \right|, \quad (5.1)$$

где $F_j(x)$ – функции, определяемые по формуле (5.2); R, R' – горизонтальные длины диагоналей 1–3 и 2–4 оценочного четырехугольника сети замеров; x, x' – соответственно отношение расстояний (1– K) к R и (2– K) к R' ; $T(\delta_i)$ – тангенс угла падения пласта в направлении диагонали, которому присваивается знак «минус», если направление диагонали (от подсечения с меньшим условным номером к большему) и направление линии падения пласта согласны, или знак «плюс» – в противном случае; Z_i – высотная отметка пласта в точке i -го пластоподсечения.

Функции F_j определяются по значениям параметров x или x' по формулам

$$F_1(x) = (1 - x)^2 x; \\ F_2(x) = (1 - x) x^2; \\ F_3(x) = (3 - 2x) x^2. \quad (5.2)$$

Расчет значения углов падения пласта в направлении диагонали δ_i производится по известной формуле

$$\delta_i = \arctg (\operatorname{tg} \delta'_i \cos \Delta A_i), \quad (5.3)$$

где δ'_i – угол падения пласта в точке производства i -го замера; ΔA_i – острый угол между направлением диагонали и направлением линии падения пласта.

За направление диагонали принимается направление от скважины с меньшим к скважине с большим условным номером (рис. 5.2).

Лямбда-критерий $\lambda_{\text{в}}$, как это следует из формулы (5.1), оценивает неоднозначность построений гипсометрии пласта в направлении вертикали.

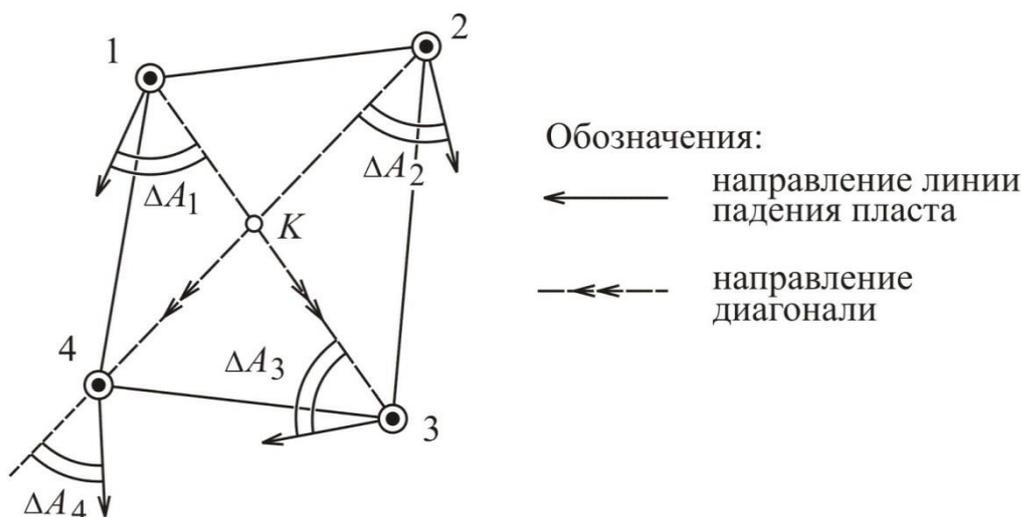


Рис. 5.2. Расчетная схема порядка определения лямбда-критерия разведанности

Поскольку для не горизонтально залегающих пластов, особенно для пластов крутого падения, одна и та же вертикальная неопределенность в положении пласта приводит к различным смещениям в положении пласта на разрезе (рис. 5.3), оценку неоднозначности моделей гипсометрии выполняют не в вертикальном, а в нормальном к пласту направлении:

$$\lambda = \lambda_B \cos \delta_K, \quad (5.4)$$

где δ_K – угол падения пласта в точке пересечения диагоналей.

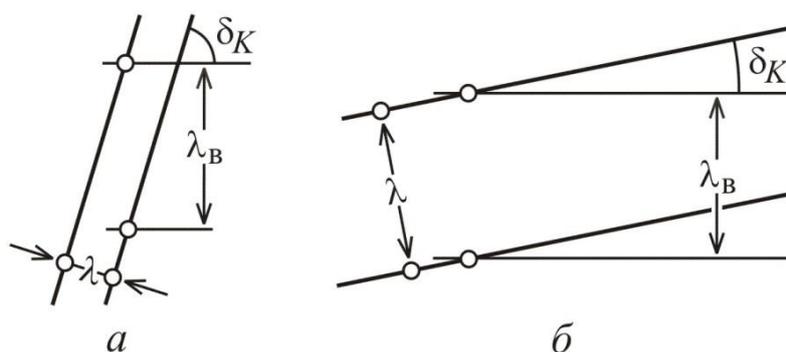


Рис. 5.3. К необходимости пересчета лямбда-критерия разведанности в нормальное к пласту направление

Угол δ_K определяется по предварительно вычисленным значениям тангенсов углов падения пласта в точке K по направлениям диагоналей (δ_{1-3} – по диагонали 1–3 и δ_{2-4} – по диагонали 2–4):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_{1-3} &= (1 - 4x + 3x^2)T(\delta_1) - (2x + 3x^2)T(\delta_3) + 6x(1-x) \frac{Z_3 - Z_1}{R_1}; \\ \operatorname{tg} \delta_{2-4} &= (1 - 4x' + 3x'^2)T(\delta_2) - (2x' + 3x'^2)T(\delta_4) + \\ &+ 6x'(1-x') \frac{Z_4 - Z_2}{R_2}; \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_K = \frac{\operatorname{tg} \delta_{1-3} \cos \alpha_{1-3} - \operatorname{tg} \delta_{2-4} \cos \alpha_{2-4}}{\operatorname{tg} \delta_{1-3} \sin \alpha_{1-3} - \operatorname{tg} \delta_{2-4} \sin \alpha_{2-4}}; \quad (5.6)$$

$$\operatorname{ctg} \delta_K = \operatorname{ctg} \delta_{1-3} \sin(\alpha_{1-3} - \alpha_K), \quad (5.7)$$

где α_{1-3} , α_{2-4} – дирекционные углы направлений диагоналей оценочного четырехугольника.

Если $\operatorname{tg} \delta_{1-3} < 0$, то в качестве α_{1-3} принимается дирекционный угол направления 1–3, в противном случае – направления 3–1; если $\operatorname{tg} \delta_{2-4} < 0$, то в качестве α_{2-4} принимается дирекционный угол направления 2–4, в противном случае – направления 4–2.

Лямбда-критерии используются в качестве количественного квалификационного показателя при категоризации запасов по степени достоверности изучения гипсометрии в процессе государственной экспертизы.

По степени достоверности изучения гипсометрии пласта к категории A относятся запасы контуров, в которых лямбда-критерий не превышает 7 м, к категории B – в пределах которых критерий изменяется от 7 до 13 м, и к категории C_1 – при его изменении от 13 до 50 м.

Для оценки достоверности изучения мощности пласта и показателей качества угля применяется абсолютный дельта-критерий разведанности, использующий линейную интерполяцию:

$$\Delta = |(P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2|, \quad (5.8)$$

где P_i – значение изучаемого показателя (мощность пласта, зольность, выход летучих веществ и т. д.) в точке производства i -го замера.

В связи с тем, что для большинства оцениваемых показателей имеет значение не столько абсолютная величина неоднозначности модели, сколько ее относительное (в процентах) значение, помимо абсолютного дельта-критерия используется относительный дельта-критерий (в процентах)

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{\bar{P}}, \quad (5.9)$$

где \bar{P} – среднее значение признака в точке пересечения диагоналей

$$\bar{P} = \frac{(P_3 - P_1)x + P_1 + (P_4 - P_2)x' + P_2}{2}. \quad (5.10)$$

Степень многовариантности построений моделей мощности и показателей качества угля запасов категории *A* определяется исходя из заданного допустимого уровня погрешности прогноза значения показателя в любой точке пласта (выраженного в абсолютных или относительных единицах), умноженного на коэффициент 1,3. Для запасов категории *B* степень возможности других построений увеличивается в 1,9 раза.

Если иное не оговорено, то допустимая для категории *A* степень возможности других построений мощности пласта (относительный дельта-критерий) составляет:

- для шахт и разрезов с крутым залеганием пластов 19 %;
- для комплексно-механизированных шахт и разрезов, отрабатывающих пласты пологого и наклонного залегания, 13 %;
- для прочих шахт с пологим и наклонным залеганием пластов 26 %.

На основании расчета значений критериев разведанности создают специальные карты – картограммы достоверности или категоризации, на которых условными знаками выделяют контуры с различным уровнем достоверности изучения признака (рис. 5.4). В итоге осуществляют построение суммирующей картограммы достоверности запасов. Ее строят путем «суммирования» картограмм всех оцененных признаков: каждому контуру присваивают наименьшую степень достоверности, указанную на картограммах достоверности отдельных признаков.

При построении итоговой картограммы обеспечивают исключение излишней «дробности» контуров запасов.

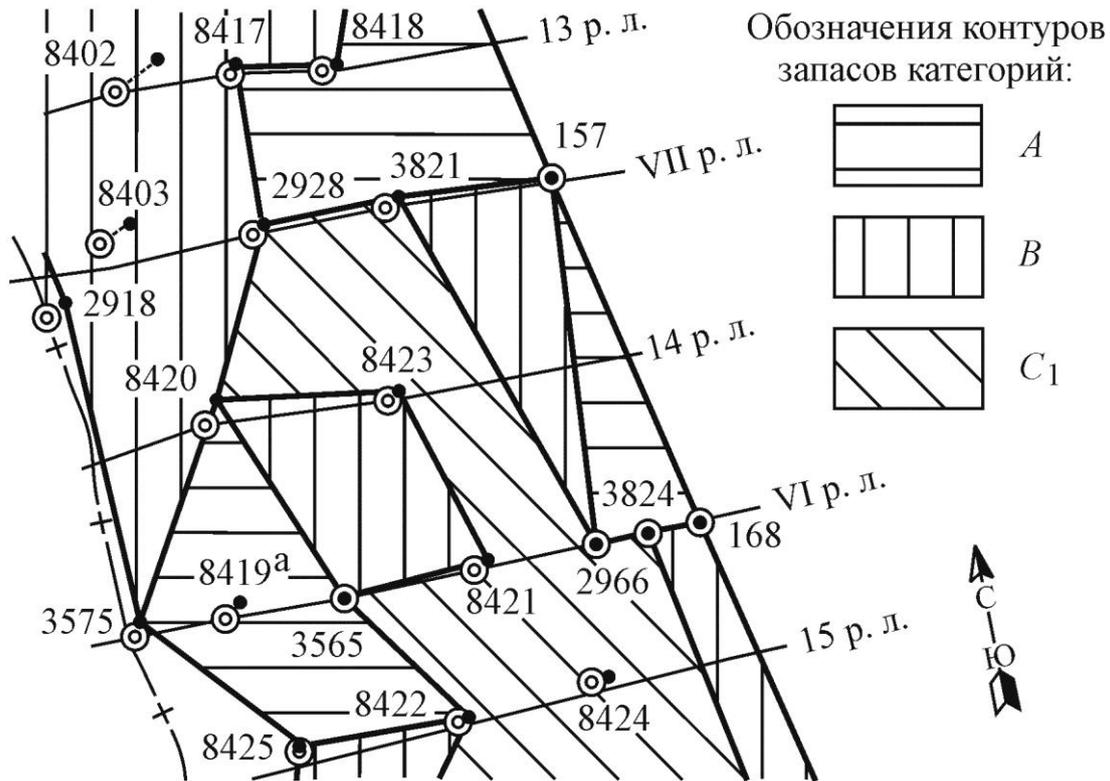


Рис. 5.4. Фрагмент картограммы достоверности изучения гипсометрии пласта

Например, треугольный контур категории *A* на рис. 5.4 (скважины 2966 – 3824 – 168 на VI разведочной линии и 157 на VII) выделять не имеет смысла в связи с тем, что его фактическое наличие не может быть объективно учтено при планировании развития горных работ и его имеет смысл перевести в категорию *B* соседних контуров.

Вышеуказанные требования к форме оценочных блоков не всегда позволяют количественно оценить запасы всей изучаемой площади. Например, контур подсчета, расположенный юго-западнее линии скважин 3575 и 8425 (разведочные линии VI и 15 на рис. 5.4), количественно не оценен в связи с конфигурацией разведочной сети. Установление категории таких контуров производят с учетом категорий соседних контуров.

Расчет критериев разведанности по пласту, горно-геометрическая документация которого выполнена на вертикальной проекции, осуществляют по тем же алгоритмам, которые были описаны выше для условий использования горизонтальных проекций.

Главное отличие при расчете критериев состоит в том, что изофронталы пластов рассматриваются как аналоги изогипс, а определение координат пластоподсечений производится в условной системе $X'Y'Z'$, отличающейся от классической XYZ . В этой системе координата X' эквивалентна координате Z , координата Z' определяется как расстояние от пластоподсечения до вертикальной плоскости проектирования, а координата Y' задается вдоль направления горизонтов вертикальной проекции.

5.3. Оценка правомерности интерполяции показателя в межскважинном пространстве

Критерии разведанности реально отражают имеющую место неоднозначность моделей только тогда, когда существует правомерность интерполяции значений изучаемого показателя в пространстве между замерами, оценка которой должна предшествовать их использованию.

Однако самое главное заключается в том, что в случае отсутствия правомерности интерполяции в межскважинном пространстве неправомерно и само построение изолиний. В этом случае формально построенные в данной ситуации изолинии не несут в себе информационной нагрузки, являются дезинформацией, практическое использование изолиний с высокой вероятностью приведет к негативным последствиям.

Для производства оценки правомерности интерполяции высотных отметок поверхности пласта (гипсометрии) выполняют построение функции (так называемой «кривой разведанности»), связывающей средние значения лямбда-критериев разведанности (со средними площадями проекций оценочных четырехугольников).

Так как по мере роста площадей четырехугольников (снижения плотности сети точек наблюдений) достоверность результатов моделирования должна постоянно снижаться, построение «кривой» производят путем последовательного *двукратно* разрежения сети измерений. Теоретически в случае существования правомерности интерполяции «кривая разведанности» должна иметь характер монотонно возрастающей функции.

Установлено, что встречаются три основных типа кривых разведанности, по виду которых и можно оценить правомерность структурных построений гипсометрии пласта.

Первый их тип («кривая разведанности» типа 1 на рис. 5.5, а) имеет ожидаемый теоретический характер и проявляется в условиях правомерности выполнения интерполяции высотных отметок.

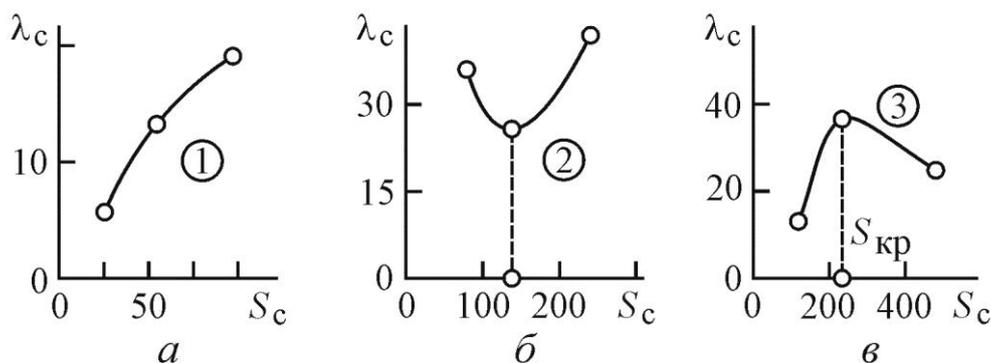


Рис. 5.5. Основные типы «кривых разведанности», отражающие характер изменения средних значений лямбда-критериев разведанности гипсометрии пласта (λ_c , м) от средней площади проекции оценочных блоков (S_c , сотни тыс. м²)

Второй тип («кривая разведанности» типа 2 на рис. 5.5, б) вообще противоречит здравому смыслу, поскольку как бы свидетельствует о росте достоверности изучения гипсометрии пласта по мере снижения плотности разведочной сети. Данный тип «кривой разведанности» свидетельствует об отсутствии правомерности интерполяции, а следовательно, и об отсутствии возможности построения сколько-нибудь реальных гипсометрических планов и о правомерности использования лямбда-критериев разведанности. Третий, промежуточный, тип («кривая разведанности» типа 3 на рис. 5.5, в) проявляется в случае правомерности интерполяции высотных отметок пласта лишь по части изучаемого объекта – только в пределах четырехугольных блоков ограниченной площади, равной $S_{кр}$.

Оценка правомерности интерполяции в межскважинном пространстве таких, более изменчивых, нежели гипсометрия, характеристик, как мощность пласта и показатели качества угля производится на основе сравнения общей и негеометризуемой доли их изменчивости. Величина негеометризуемой составляющей изменчивости пропорциональна среднему значению абсолютного дельта-критерия разведанности Δ_c , а общая изменчивость может быть оценена среднеквадратическим отклонением σ .

Если соотношение этих характеристик изменчивости таково, что негеометризуемая доля является преобладающей (составляет более 50 %) в общей изменчивости, то делается вывод о неправомерности интерполирования, в противном случае – о корректности его выполнения. С вероятностью 0,68 построение изолиний правомерно, если

$$\frac{\Delta_c}{\sigma} \leq 0,8. \quad (5.11)$$

Среднеквадратическое отклонение σ определяется по известной формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_c)^2}{n}}, \quad (5.12)$$

где P_i – значение признака по i -й точке измерений; P_c – среднеарифметическое значение признака в пределах участка оценки; n – общее число измерений признака.

Если число наблюдений n не превышает 30, значение σ умножается на поправочный коэффициент Миллера – Кона

$$k_{\text{М-К}} = 1 + \left(\frac{1}{1+n} \right) \sqrt{\frac{n}{n-3}}. \quad (5.13)$$

Использование для оценки правомерности интерполяции мощностей и показателей качества угля метода разрежения разведочной сети («кривых разведанности») некорректно в связи с их высокой изменчивостью, приводящей, как правило, к потере правомерности интерполяции уже после первого разрежения.

В случае отсутствия правомерности интерполяции выполнять построение изолиний показателей не рекомендуется. Однако это не означает, что геометризация месторождения невозможна. В этом случае она может выполняться на основе применения методов сглаживания (например, скользящим окном) или с использованием моделей, разделяющих объект исследования на отдельные блоки, в пределах которых значения показателя принимаются постоянными (к таким моделям относятся используемые для подсчета запасов угля учетные единицы – подсчетные геологические блоки, по каждому из которых устанавливаются средние значения мощности пласта, угол его падения и зольность угля).

5.4. Определение ожидаемой погрешности геометризации

Критерии разведанности характеризуют степень неоднозначности горно-геометрических моделей, однако для решения некоторых вопросов желательно иметь представление об их погрешности, выраженной в единицах измерений показателя.

Ранее изложенные теоретические предпосылки оценки достоверности геометризации с помощью критериев разведанности позволяют ожидать наличие статистической зависимости между погрешностью и неоднозначностью построений. Однако, как и следовало ожидать, теснота такой корреляционной связи незначительна (коэффициент корреляции для различных объектов изменялся от 0,23 до 0,50). Отсутствие связи не позволяет применить корреляционные зависимости для осуществления прогноза точности горно-геометрических моделей. Поэтому в рассматриваемых целях используется несколько иной подход, основанный на анализе распределения отношений K_j истинных погрешностей горно-геометрической модели (R_F) к значениям критериев разведанности (λ или Δ) по оценочным блокам.

В качестве фактической погрешности R_F горно-геометрической модели может быть принята величина, характеризующая степень несовпадения построенной по данным разведки горно-геометрической модели размещения признака с его реальным размещением, установленным в ходе ведения горных работ. Собственно величину R_F можно определить на основе установления среднеквадратического отклонения ожидаемой топоповерхности признака от фактической. Строгий алгоритм поиска величины R_F очевиден. Для этого на топографические поверхности размещения признака, построенные по данным геологоразведочных работ (рис. 5.6, а) и по результатам эксплуатации (рис. 5.6, б), необходимо «набросить» одинаковую регулярную сеть узлов, вычислить для каждого из них два значения признака (ожидаемое и фактическое) и найти их разность ΔP . Тогда величина средней квадратической погрешности R_F может быть определена по формуле

$$R_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^2}{n}}, \quad (5.14)$$

где n – количество узлов.

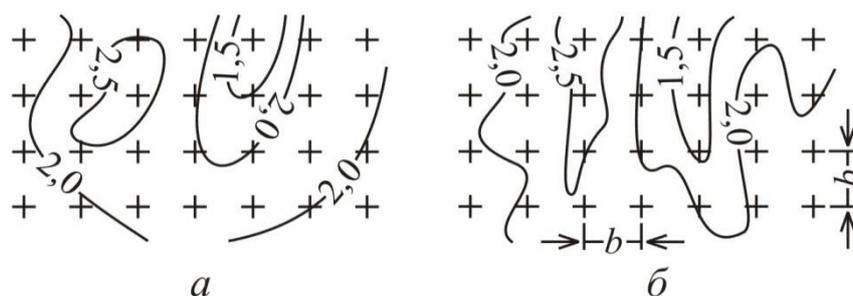


Рис. 5.6. «Строгий» алгоритм определения фактической погрешности горно-геометрической модели в заданном контуре: *a* – данные разведки; *б* – данные эксплуатации

Главной задачей, требующей решения при практической реализации «строгого» алгоритма, является задача выбора количества узлов сетки (расстояния между ними b).

На практике необходимое количество узлов может быть определено путем перебора вариантов расстояния между ними (величины b рис. 5.6) на основании использования предварительно построенной топографической поверхности ΔP с использованием ранее описанного подхода (см. рис. 4.16). Величина разброса D принимается равной 5 % от среднего значения. При этом расстоянии погрешность, рассчитываемая по формуле (5.1), будет в среднем отличаться от «истинной» на 10 %.

Погрешность R_F должна индивидуально вычисляться для каждого выделяемого для расчета критериев разведанности оценочного четырехугольника сети скважин.

«Строгий» подход к оценке фактических погрешностей горно-геометрических моделей, основанный на построении регулярных цифровых моделей размещения погрешностей, трудоемок, поэтому на практике допустимо использовать упрощенный подход. Его сущность состоит в использовании не равномерной, а нерегулярной сети узлов, в качестве которых могут использоваться места производства замеров в горных выработках. Такой подход позволяет исключить необходимость предварительного построения «истинной» топографической поверхности признака.

Погрешность модели в каждом узле ΔP_i определяют в данном случае как разность ожидаемого значения признака в нем по данным горно-геометрической модели (путем интерполяции между изолиниями) и результата прямого измерения признака в горной выработке.

При производстве оценки все четырехугольные блоки сети скважин изображают на плане горных работ (рис. 5.7), на котором также показывают места производства замеров (взятия проб) в горных выработках.



Рис. 5.7. Графические материалы для выполнения работ по оценке фактической точности горно-геометрической модели

К оценочному четырехугольнику относятся все сопоставления, которые расположены внутри блока и приняты к анализу, а также часть сопоставлений за его пределами вблизи границ. Таким образом, одни и те же сопоставления могут быть учтены при расчете погрешностей в различных оценочных блоках.

Однако используемая в целях последующей обработки сеть замеров должна обеспечивать относительную равномерность их размещения в пределах контура оценки.

В связи с этим часть замеров (проб) в горных выработках не включают в дальнейшую обработку из-за их близкого расположения друг к другу. Например, для условий рис. 5.7 исключают из последующей обработки часть замеров по вентиляционному штреку 2-2-4 и конвейерному штреку 2-2-3.

Выполненные экспериментальные сопоставления результатов строгого и упрощенного подходов для определения среднеквадратической погрешности R_F указывают на их высокую сходимость (в пределах 10 %).

Однако, хотя и крайне редко, встречаются случаи, когда эта погрешность превышает заданный предел. Эта ситуация наблюдается в случае, когда при относительно неравномерных сетях узлов наблюдаются аномально высокие или низкие значения погрешностей моделей. Такие случаи могут быть выделены на основании применения следующего алгоритма.

Во-первых, для сформированной сети узлов по формуле (5.14) определяется фактическая погрешность блока R_F .

В-вторых, из выборки удаляются сопоставления с максимальной и минимальной величиной разности ΔP , и вновь рассчитывается величина фактической погрешности R'_F .

Если различие в значениях R_F и R'_F не превышает 10 %, то используемая сеть нерегулярных узлов признается корректной, а применение упрощенного подхода допустимым. В противном случае применительно к рассматриваемому оценочному блоку должен применяться строгий подход.

Прогноз погрешности геометризации R по значениям критерия разведанности осуществляется по формулам

$$R \leq K_g \lambda \quad \text{или} \quad R \leq K_p \Delta, \quad (5.15)$$

где K_g и K_p – числовые коэффициенты, величина которых для конкретного геологического объекта определяется заданным уровнем вероятности оценки.

Установление коэффициентов K_g и K_p выполняется на основе обработки результатов сопоставления данных горных и разведочных работ.

Для этого, в пределах уже отработанного контура горных работ по каждому из выделяемых блоков рассчитываются критерии разведанности и погрешности горно-геометрической модели (в примере расчета, приведенном в табл. 5.1, ламбда-критерии λ и фактические погрешности гипсометрического плана R_F по 18 оценочным блокам).

Таблица 5.1

Расчет коэффициента K_g для условий оценки гипсометрии пласта

№ п/п	Номера скважин, вершин оценочных блоков				Ламбда-критерий разведанности, м	фактическая R_F	Погрешность, м		
							расчетная R при коэффициенте K_g		
	1	2	3	4			0,5	1,0	1,5
1	3238	9754	9750	9752	2,6	2,4	1,3	2,6	3,8
2	9752	9754	3245	9750	2,7	2,3	1,4	2,7	4,1
3	9752	3245	3380	9750	5,8	1,7	2,9	5,8	8,8
4	3245	9750	3258	3380	0,1	2,0	0,1	0,1	0,2
5	9754	3245	3258	9750	1,9	2,0	0,9	1,9	2,8
6	3258	656	2072	3380	13,8	1,7	6,9	13,8	20,7
7	2072	1620	656	3380	16,8	3,1	8,4	16,8	25,2
8	9750	3258	2072	3380	2,7	2,1	1,4	2,7	4,1
9	656	615	2059	1620	6,3	2,2	3,2	6,3	9,5
10	3258	918	615	656	9,2	1,3	4,6	9,2	13,8
11	3219	9752	9750	3247	8,5	2,1	4,2	8,5	12,7
12	3240	5103	5089	5075	5,6	1,1	2,8	5,6	8,4
13	5075	5095	5089	5103	5,4	1,2	2,7	5,4	8,1
14	3247	5080	3219	3258	5,8	2,0	2,9	5,8	8,7
15	3247	918	3258	9750	0,6	1,4	0,3	0,6	0,9
16	615	914	2067	2059	1,4	1,3	0,7	1,4	2,1
17	2072	656	615	1620	9,8	3,2	4,9	9,8	14,7
18	656	3247	3219	3258	0,2	1,8	0,1	0,2	0,3
Число блоков, для которых $R_F \leq R$							10	14	15
Эмпирическая вероятность того, что $R_F \leq R$							0,56	0,78	0,83

После заполнения первых семи колонок таблицы (пять из которых имеют только информационное значение) по формуле (5.15) осуществляют расчет ожидаемых погрешностей R при различных значениях коэффициентов K_g (в примере использованы три значения критерия 0,5; 1,0 и 1,5).

В результате указанных расчетов будут заполнены три последних столбца таблицы.

По результатам расчетов для каждого варианта значений K_g устанавливают число блоков (частота), для которых фактическая погрешность не превышала расчетную, а также частоту этого события, которую можно рассматривать как эмпирическую вероятность.

Затем осуществляют построение графика зависимости вероятности от принятой величины коэффициента K_g (рис. 5.8).

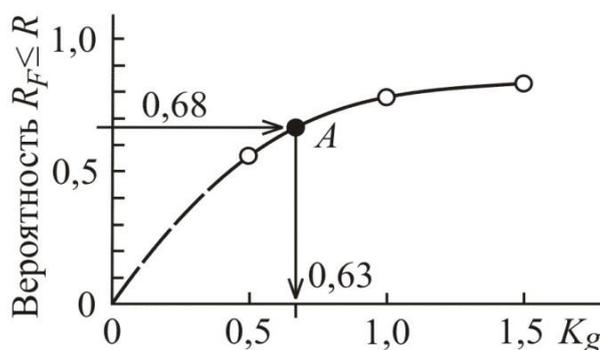


Рис. 5.8. График зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, от коэффициента K_g (к условиям примера, приведенного в табл. 5.1)

По графику, задаваясь требуемым уровнем вероятности, можно определить соответствующее ему значение коэффициента K_g (K_p), которое следует использовать в дальнейшем.

Например, для условий, представленных в табл. 5.1, можно сделать вывод о том, что с вероятностью 0,68 (вероятность, стандартно принимаемая для оценки среднеквадратических погрешностей) максимальная погрешность гипсометрического плана в пределах оценочного блока не превысит $0,63\lambda$.

При формировании массива обрабатываемых данных по форме табл. 5.1 необходимо иметь в виду следующее обстоятельство.

Значения критериев разведанности обуславливаются не только влиянием погрешностей геометризации, но и погрешностями исходных данных. Эти случайные погрешности могут действовать как разно-, так и равнонаправленно, приводя к появлению аномально низких критериев разведанности.

По мере уменьшения расстояний интерполирования погрешности геометризации должны уменьшаться, тогда как погрешности исходных данных не будут претерпевать изменений. Если представить себе, что расстояния интерполирования равны нулю, что соответствует оценочному блоку нулевой площади, то величина критерия разведанности в таком блоке должна быть равна не нулю, а близка к удвоенной технической погрешности измерения показателя в скважинах. В связи с этим приходится говорить о некой случайности аномально малых значений критериев разведанности и о том, что они теоретически не должны быть меньше некоторых наперед известных значений.

Вместе с тем наличие малых значений критериев в обучающей выборке существенно влияет на результаты оценки значений коэффициентов перехода от критериев разведанности к погрешностям моделей гипсометрии (K_g) или мощности и показателей качества угля (K_p). Распространение оценок коэффициентов перехода, полученных по блокам с низким значением критериев, на блоки с высокими их значениями может приводить, при их значимой доле в выборке, к существенным неоправданным занижениям оценок.

Для исключения негативного влияния малых значений критериев на результаты расчета коэффициентов перехода они подлежат замене на фиксированные значения.

При глубинах расположения пластов, не превышающих 500 м, при определении коэффициента K_g лямбда-критерии меньше 3 м рекомендуется полагать равными 3 м. А при глубинах большее 500 м в качестве «грани» используются 4 м. Эти уровни являются уровнями «малых критериев».

«Малыми критериями» при изучении мощности пласта являются абсолютные дельта-критерии, не превышающие 0,3 м (для весьма тонких и тонких пластов – 0,1 м), для зольности – 2 %.

Более детально с порядком определения размеров «малых критериев» можно ознакомиться в работе [18].

На рис. 5.9 представлены обобщенные для Кузбасса зависимости рассматриваемой вероятности от коэффициентов K_g и K_p , полученные по результатам исследований горно-геологических материалов угольных шахт.

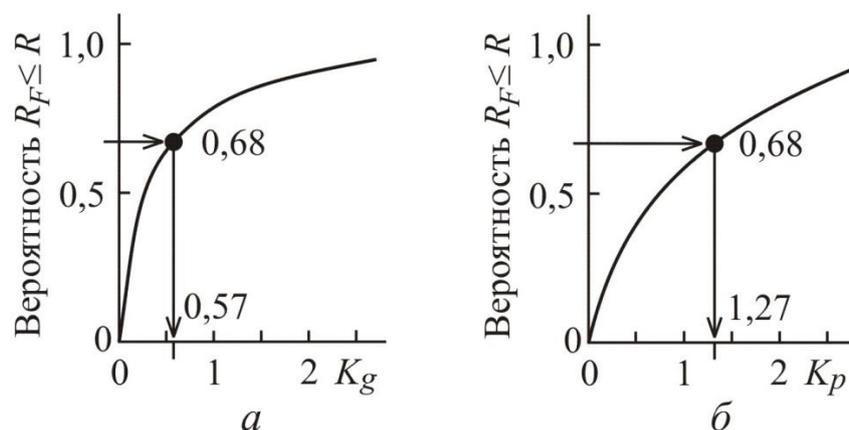


Рис. 5.9. Обобщенные для условий Кузбасса графики зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, от величины коэффициента пропорциональности:
а – для лямбда-критериев; *б* – для абсолютных дельта-критериев

Оценку ожидаемой погрешности горно-геометрических моделей с помощью критериев разведанности при отсутствии результатов горных работ в пределах участка по среднебассейновым данным рекомендуется осуществлять по формулам

– при оценке точности гипсометрического плана:

$$R = 0,57\lambda, \quad (5.16)$$

– при оценке точности моделей, построенных с применением линейной интерполяции:

$$R = 1,27\Delta. \quad (5.17)$$

В процессе информационного обеспечения планирования развития горных работ изолинии используются для выполнения прогнозирования значений признаков в отдельных точках, для выделения участков высокотехнологичных и нецелесообразных к отработке запасов, зон возможной присечки углевмещающих пород, оставления технологически неоправданных пачек угля и т. д.

Поскольку положение выделенных зон и границ служит основой последующих технико-экономических расчетов, погрешности в их положении могут приводить к принятию ошибочных инженерных решений.

Знание погрешности положения изолиний позволяет производить технико-экономические расчеты по различным вариантам оценок горно-геологических условий: пессимистическим (увеличение зон отрицательного и уменьшение зон положительного влияния на величину погрешности) и оптимистическим, т. е. учитывать неполноту знаний о недрах. Поэтому оценка точности, а фактически предрасчет погрешности планового положения изолинии, является необходимым элементом оценки достоверности моделей угольных месторождений.

В качестве числовой характеристики степени несовпадения фактического и ожидаемого по материалам геометризации положения изолинии используется средняя величина T (рис. 5.10).

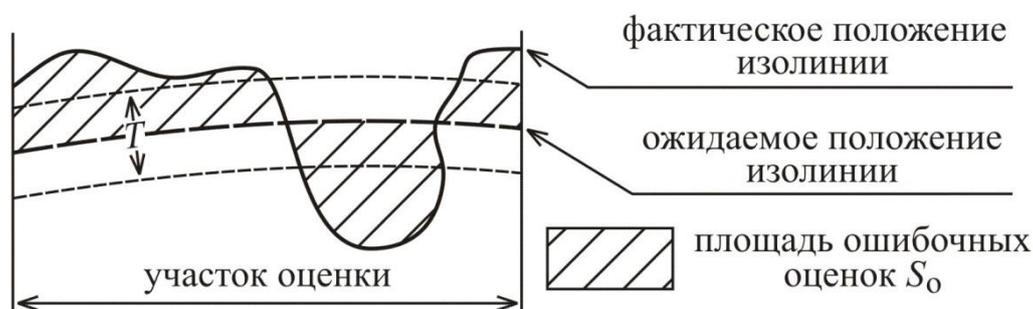


Рис. 5.10. Характеристика точности положения изолиний

При производстве сравнений материалов горных и разведочных работ величина T может быть определена по формуле

$$T = \frac{S_0}{L}, \quad (5.18)$$

где S_0 – площадь ошибочных оценок значения признаков, границами которой являются контур участка оценки и изолинии по данным горных и разведочных работ (рис. 5.10); L – длина изолинии, построенной по материалам геологоразведочных работ (ожидаемого положения).

Изучение закономерностей в значениях погрешностей положения изолиний осуществлялось на материалах отработки угольных пластов Кузбасса (например, рис. 5.11).

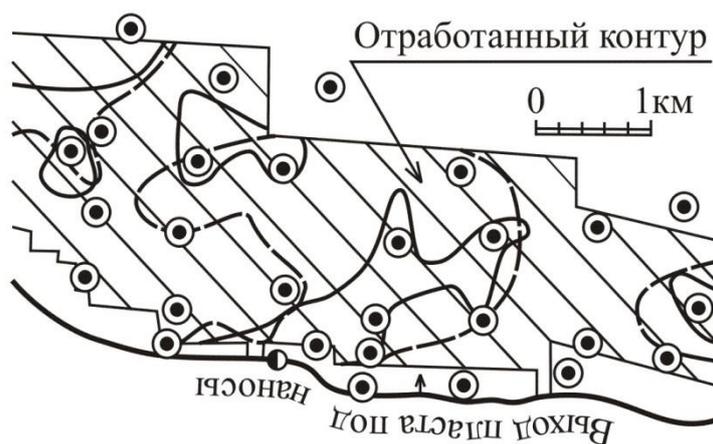


Рис. 5.11. Сравнение положения изомощности «1,8 м», построенной по геологоразведочным (пунктирная линия) и эксплуатационным (сплошная линия) данным

Оно показало, что погрешности положения изолиний (T), оцениваемые по формуле (5.18), изменялись по отдельным пластам от 47 до 305 м.

В результате статистической обработки материалов удалось выявить наличие тесной корреляционной связи (коэффициент корреляции 0,9) погрешности T с параметром F (рис. 5.12):

$$T = 0,41F \quad (5.19)$$

при

$$F = \frac{L_c \Delta_c}{\sigma}, \quad (5.20)$$

где L_c – среднее арифметическое расстояние между геологическими замерами, используемыми при интерполировании в ходе построения изолинии, м; Δ_c – среднее арифметическое значение дельта-критериев разведанности; σ – среднеквадратическое отклонение значений признаков от их среднего значения, характеризующее общую изменчивость признака, рассчитанное по формуле (5.12) с введением при необходимости поправки Миллера – Кона, определяемой по формуле (5.13).

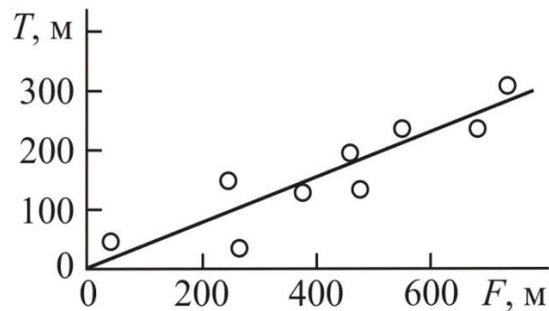


Рис. 5.12. Зависимость погрешности положения изолинии (T) от параметра F

Используя значения критериев разведанности и зависимости (5.16), (5.17) и (5.19), можно определить ожидаемую погрешность построенных горно-геометрических моделей.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит основная идея, положенная в основу критериев разведанности угольных месторождений?
2. Чем отличаются дельта- и лямбда-критерии разведанности? Для оценки каких показателей они предназначены?
3. Какие исходные данные используются для расчета дельта- и лямбда-критериев разведанности?
4. Как выполняется оценка правомерности интерполяции высотных отметок угольного пласта?
5. Как выполняется оценка правомерности интерполяции мощностей пласта и показателей качества угля?
6. Как определяется ожидаемая погрешность горно-геометрической модели с использованием критериев разведанности?
7. Как определяются коэффициенты перехода от критериев разведанности к погрешности горно-геометрической модели?
8. Как определяется ожидаемая погрешность планового положения изолиний?

Глава 6. МЕТОД УРАВНИВАНИЯ СЕТЕЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Понятие уравнивания

Получаемые в ходе применения критериев разведанности оценки относятся к категории информации о результатах «взаимодействия» изучаемого геологического объекта и используемой сети измерений, т. е. относятся к категории горно-геометрической информации. В философском плане знание характера пространственного изменения степени познания объекта само по себе является позитивным «знанием», использование которого позволяет повысить уровень его изучения. Такое понимание результатов оценки достоверности позволяет поставить задачу о разработке методов, обеспечивающих их использование в целях повышения качества горно-геометрического моделирования. Одним из таких методов является метод уравнивания сетей геологоразведочных измерений, разрабатываемый с 1977 года.

Сущность уравнивания сетей геологоразведочных измерений состоит в следующем. Пусть дана сеть измерений (рис. 6.1), которая в результате квадриангулирования разделена на систему выпуклых четырехугольных оценочных блоков.

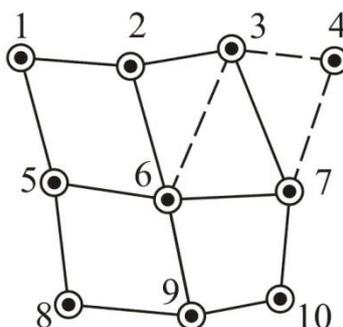


Рис. 6.1. К понятию уравнивания сети
геологоразведочных измерений

Для каждого оценочного блока определен критерий разведанности (в случае если рассматриваемый показатель есть высотная отметка, то им является ламбда-критерий, если мощность пласта и показатели качества угля – то абсолютный дельта-критерий).

Исходя из теоретического равенства критерия нулю, сами значения критериев можно рассматривать в качестве своего рода «невязок», то есть в качестве меры выполнения геометрического, объективно существующего условия.

Имея значения критериев (невязок) по всем блокам сети, можно поставить задачу, именуемую задачей уравнивания. Необходимо найти величины (поправки), на которые следовало бы изменить значения измеренных показателей с тем, чтобы невязки по всем блокам одновременно стали равными нулю. Так как критерии обусловлены погрешностями измерений и интерполяции, то и полученные поправки объективно зависят от этих факторов. Именно эта зависимость и лежит в основе уравнивания как метода анализа.

Методика использования результатов уравнивания не предполагает производства корректировки результатов выполненных измерений и определений.

Поправки рассматриваются лишь в качестве показателя степени влияния погрешности измерения и интерполяции действующих в окрестностях точек производства измерений.

Само уравнивание рекомендуется производить методом условий и сводится к следующему.

Пусть нами уравнивается признак P . По каждому k -му четырехугольному блоку сети замеров по правилу $f(P_{1k}, P_{2k}, P_{3k}, P_{4k})$ находится значение критерия разведанности K_{pk} , после чего составляется система из n уравнений вида

$$f(P_{1k}, P_{2k}, P_{3k}, P_{4k}) = K_{pk}, \quad (6.1)$$

где P_{ik} – значение показателя в скважине (замере), входящей в k -й оценочный блок под условным номером i .

Для того чтобы в уравнениях вида (6.1) устранить невязки, необходимо исправить результаты измерений в каждом ik -м замере на некоторую поправку ε_{ik} , т. е. превратить их в уравненные значения

$$U_{ik} = P_{ik} + \varepsilon_{ik}. \quad (6.2)$$

Следовательно, после уравнивания должно быть получено

$$f(P_{1k} + \varepsilon_{1k}, P_{2k} + \varepsilon_{2k}, P_{3k} + \varepsilon_{3k}, P_{4k} + \varepsilon_{4k}) = 0. \quad (6.3)$$

Вычтем из каждого уравнения вида (6.3) соответствующее уравнение (6.1) и получим систему из n уравнений вида

$$\sum_{i=1}^4 a_{ik} \varepsilon_{ik} = -K_{pk_i}, \quad (6.4)$$

где a_{ik} – числовой коэффициент.

Далее система, состоящая из уравнений вида (6.4), решается под условием минимума суммы квадратов поправок.

Квадриангулирование сети замеров для уравнивания целесообразно производить несколько иначе, чем для расчета критериев разведанности. Основные отличия в подходах к квадриангулированию состоят в том, что при уравнивании:

- целесообразно, чтобы все выделяемые четырехугольники сети замеров имели общие стороны;
- в целях выполнения вышеперечисленных рекомендаций допустимо использование блоков неоптимальной формы.

Допустимость последнего условия объясняется тем, что при уравнивании критерии разведанности выполняют функции объективно существующего геометрического условия, а при оценке достоверности – показателя ожидаемой степени неоднозначности геометрической модели.

6.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей

Пусть имеются t оценочных блоков, образованных n замерами, по каждому из которых известна невязка – абсолютный дельта-критерий Δ_i . Для производства уравнивания формируют табл. 6.1, строки которой соответствуют блокам, а столбцы – скважинам.

Таблица 6.1

Таблица производных a_{ik}

Номер блока (k)	Номер скважины (i)				
	1	2	3	...	n
1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	...	a_{n1}
2	a_{12}	a_{22}	a_{32}	...	a_{n2}
...
...
t	a_{1t}	a_{2t}	a_{3t}	...	a_{nt}

В каждую ячейку таблицы заносят значения коэффициентов a_{ik} (i – номер скважины, k – номер блока). Если данная скважина i не входит в блок k , то $a_{ik} = 0$, а если входит, то a_{ik} определяется в зависимости от условного номера скважины в блоке (в табл. 6.1 используются фактические их номера) по формулам:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для скважины № 1: } a_{ik} = 1 - x; \\
 & \text{– для скважины № 2: } a_{ik} = x' - 1; \\
 & \text{– для скважины № 3: } a_{ik} = x; \\
 & \text{– для скважины № 4: } a_{ik} = -x'.
 \end{aligned}
 \tag{6.5}$$

Параметры x и x' , равно как и условные номера скважин, определяются в соответствии с комментариями к формуле (5.1).

Таким образом, в каждой строке табл. 6.1 будет находиться два положительных и два отрицательных, отличных от нуля, числа, дающих в своей алгебраической сумме нуль. Значения остальных коэффициентов в таблице равны нулю, так как каждый блок содержит всего четыре скважины.

Затем формируют табл. 6.2, куда записывают суммы произведений строк табл. 6.1 – a_{ik} (где i и k – номера перемножаемых строк табл. 6.1). Так S_{11} является результатом перемножения строки 1 са-

му на себя: $S_{11} = \sum_{i=1}^t a_{i1}^2$, $S_{12} = \sum_{i=1}^t (a_{i1}a_{i2})$ и так далее.

Таблица 6.2

Таблица произведений строк табл. 6.1

Номера строк	1	2	3	...	t
1	S_{11}	S_{21}	S_{31}	...	S_{t1}
2	S_{12}	S_{22}	S_{32}	...	S_{t2}
...
...
t	S_{1t}	S_{2t}	S_{3t}	...	S_{tt}

По полученным суммам записывают систему уравнений

$$\begin{aligned}
S_{11}K_1 + S_{21}K_2 + \dots + S_{t1}K_t &= -\Delta_1; \\
S_{12}K_1 + S_{22}K_2 + \dots + S_{t2}K_t &= -\Delta_2; \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots & \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots & \\
S_{1t}K_1 + S_{2t}K_2 + \dots + S_{tt}K_t &= -\Delta_t,
\end{aligned} \tag{6.6}$$

в результате решения которой находятся корреляты K_i .

После этого каждую k -ю строку табл. 6.1 умножают на корреляту K_k , а полученные произведения складывают по столбцам (то есть по замерам):

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^t a_{ik} K_k. \tag{6.7}$$

Эти суммы и есть искомые поправки. Из приведенного алгоритма следует, что алгебраическая сумма всех поправок строго равна нулю, и это служит контролем правильности вычислений. Однако полный контроль уравнивания обеспечивает лишь повторное вычисление критериев разведанности по исправленным на величины поправок признакам, которые, при качественном уравнивании, должны принимать нулевые значения.

Практически уравнивание может быть выполнено только на ЭВМ. Для этого разработана специальная программа *LUR*.

6.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания

Задача выделения аномальных замеров является одной из не решенных проблем подсчета количества запасов и геометризациии скрытых топографических поверхностей. Ошибочное выделение таких замеров приводит как к завышению, так и к занижению подсчетных значений мощностей пласта, зольности углей, содержания в них полезных и вредных компонентов и т. д.

Кроме того, выявление аномальных замеров является необходимым этапом геометризации угольных пластов и оценки ее ожидаемой достоверности.

Таким образом, выделение аномальных замеров преследует две различные цели:

- обеспечение получения надежной величины среднего значения признака;
- обеспечение построения надежной модели характера размещения значения признака в пространстве недр.

Практически все известные методы (количество которых уже превысило четыре десятка) ориентируются на решение задачи определения средних содержаний компонентов рудных и россыпных месторождений по малому числу производимых определений. В силу того, что в этих условиях пространственные точки опробования являются геометрически независимыми, основные методы отбраковки справедливо не учитывают места размещения проб.

Однако данное допущение, применительно к анализу размещения мощностей и основных показателей качества углей, является некорректным. Поскольку при анализе материалов наиболее значимой задачей является выделение не характерных (аномальных) с позиции геометрического моделирования размещения признака, то их выделение не может игнорировать геометрию размещения проб и точек измерений.

Метод уравнивания нерегулярных цифровых моделей обеспечивает вполне корректное решение этой задачи в связи с тем, что поправка к значению признака обусловлена техническими погрешностями измерений и интерполирования.

Следовательно, если значение поправки резко выделяется по своей величине, необходимо сделать вывод: либо признак определен по данному замеру с существенной ошибкой (в этом случае замер должен быть исключен из рассмотрения), либо в окрестности данной скважины имеет место резкое изменение характера поведения изучаемого признака (замер необходимо использовать при производстве оценки возможной точности геометризации).

Поэтому данный метод выделения аномальных замеров автоматически учитывает не только результат произведенного замера, но и его пространственное положение. Значение каждой отдельной поправки определяется одновременно всеми значениями признака по всему рассматриваемому участку и плановыми координатами точек замера.

Выделение аномалий представляет собой отбраковку замеров по уровню значений поправок.

Исходя из методологии процесса уравнивания поправки к измеряемым величинам должны распределяться по нормальному закону, а их среднее арифметическое значение должно быть равно нулю. Поэтому признаком аномальности i -го замера при рассматриваемом подходе является выполнение условия

$$\varepsilon_i \geq t\sigma_\varepsilon, \quad (6.8)$$

где t – квантиль нормального распределения; σ_ε – среднеквадратическое значение поправки, определяемое по формуле

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}, \quad (6.9)$$

где n – количество замеров.

Практический опыт показывает, что в большинстве случаев целесообразно принимать $t = 1,8$, что соответствует 7 % доли аномальных замеров.

Несмотря на то, что данный подход ориентирован на выявление аномальных замеров с позиции последующей геометризации, он может быть с успехом использован и при подсчете среднего значения признака, т. е. при подсчете запасов.

6.4. Выделение аномальных зон с помощью уравнивания

У некоторых групп соседних скважин поправки близки по величине и одноименны по знаку, но существенно отличаются от поправок в окружающих замерах. В этом случае можно говорить о наличии некоторой аномальной зоны, то есть площади, в пределах которой характер поведения изучаемого признака отличается от общей тенденции его изменения в целом по рассматриваемому объекту. Выделение зон осуществляется путем проведения изолиний поправок некоторой заданной величины.

Например, на рис. 6.2 по уровню поправок «–4 %» выделена зона повышенных значений зольности пласта I Ишидейского месторождения (Иркутская область).



Рис. 6.2. Аномальная зона зольности пласта

После знакомства с результатами уравнивания специалистами-геологами Нижнеудинской геологоразведочной экспедиции был проведен углубленный анализ материалов плаstopодсечений этой зоны, и она была интерпретирована как сингенетический размыв (до производства уравнивания наличие данного размыва не было установлено).

Аномальные зоны бывают двух видов:

- положительные (когда значения признака в них оказываются больше ожидаемых из общей тенденции – поправки отрицательны);
- отрицательные (когда значения признака оказываются меньше ожидаемых – поправки положительны).

По пластам, имеющим размывы, отмечено их пространственное совпадение с отрицательными аномальными зонами, однако обратное утверждение было бы несправедливым, то есть наличие отрицательной зоны не свидетельствует о размыве, оно лишь указывает на его возможность.

Например, в результате применения метода уравнивания геологоразведочных измерений к материалам пласта Надконгломератового поля шахтоуправления «Физкультурник» были выделены зоны с аномально низкими значениями мощности пласта (одна из зон показана на рис. 6.3). Зоны выделялись по уровню поправок 15 см как величины, близкой к точности выполнения скважинных измерений мощности.

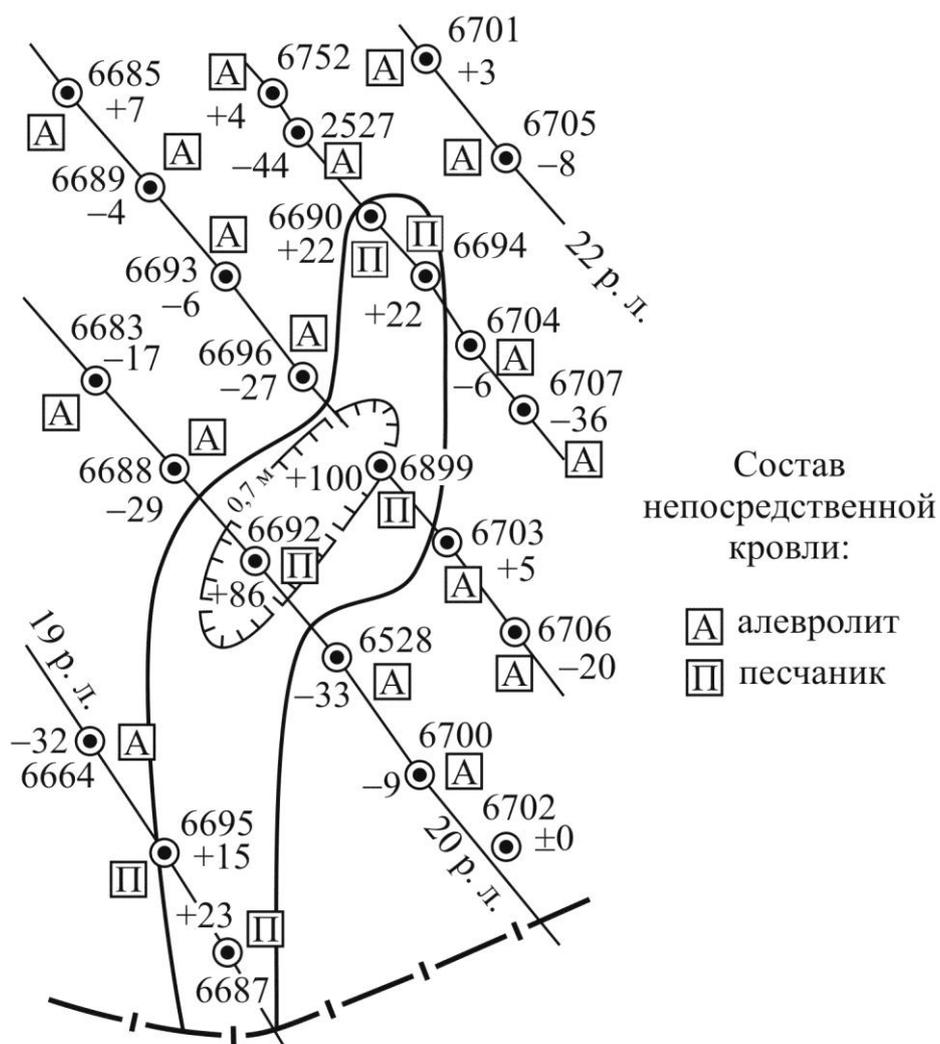


Рис. 6.3. Аномальная зона пониженных значений мощности пласта Надконгломератового (шахтоуправление «Физкультурник»)

Аномальные зоны интерпретировались как зоны размыва пласта, т. к. в находящихся в этих зонах пересечениях произошло изменение состава непосредственно перекрывающих пласт пород – замещение повсеместно распространенного алевролита на песчаники.

При ведении горных работ в выявленных зонах размыва следует ожидать существенное снижение устойчивости кровли и возможность активного куполообразования. В ходе камеральной обработки геологоразведочных работ указанные зоны выявлены не были.

Здесь метод уравнивания выступает в качестве эффективного метода геометрического анализа, применение которого предполагает последующий геологический анализ. Следует заметить, что если выделение аномальных замеров часто может быть произведено путем анализа только значений признака, то при выделении аномальных зон такой анализ во многих случаях оказывается малоэффективным.

При оценке результатов уравнивания на предмет выделения аномальных зон возникает ряд ситуаций:

– аномальные зоны не выделяются, колебания значений поправок не велики и имеют характер «информационного шума», ситуация характерна для выдержанных и хорошо разведанных пластов;

– аномальные зоны не выделяются, но сами поправки достигают больших значений, сопоставимых по величине со значениями признака, это наблюдается у слабо разведанных пластов с высокой случайной изменчивостью изучаемого показателя;

– аномальные зоны выделяются на фоне хаотических изменений поправок по остальной части участка, ситуация характерна для детально изученных пластов, в изменчивости которых преобладает закономерная составляющая;

– весь объект разделяется на несколько аномальных зон, поправки, как правило, достигают значительных величин, ситуация характерна при объединении в одну совокупность разнородных геологических образований (вероятно, угольных линз). При анализе материалов таких объектов следует повторить уравнивание отдельно по каждой из них.

Выделение зон осуществляется путем проведения изолиний поправок некоторой заданной величины. Для ее установления можно использовать методику И. В. Рязанова и М. П. Кетиса, разработанную применительно к выделению ассоциаций геохимических элементов на основе анализа тесноты корреляционных связей между ними. Сущность методики состоит в следующем:

– выполняется построение нескольких вариантов аномальных зон путем использования изолиний поправок различной величины;

– для каждого варианта построений устанавливается количество возникающих аномальных зон (причем в контуре аномальной зоны должно находиться не менее чем два расположенных рядом замера);

– строится график зависимости количества выделенных аномальных зон от использованного уровня аномальности (значений изолиний поправок) – рис. 6.4;

– с помощью графика устанавливается рекомендуемый уровень аномальности (оконтуривающая зоны изолиния поправок), соответствующий максимальному количеству аномальных зон (10 см при 4 зонах на рис. 6.4);

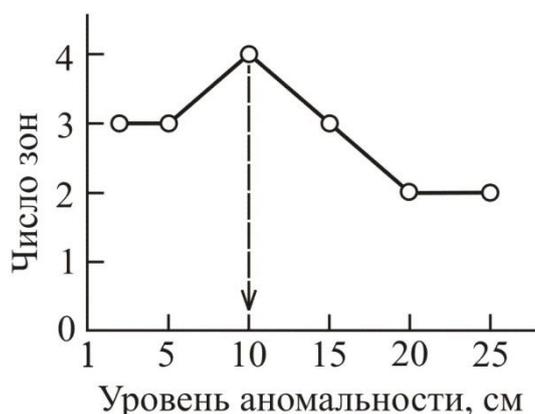


Рис. 6.4. Зависимость числа выделенных аномальных зон мощности породных прослоев пласта 5 поля разреза «Майский» от принятого уровня аномальности

– по установленному уровню аномальности окончательно отстраиваются границы аномальных зон, в качестве которых используются изолинии аномального уровня поправок (т. е. поправок «+10 см» и «−10 см» для условий рассматриваемого примера).

В результате выполнения практических работ по уравниванию установлено, что получаемые с помощью описанной методики уровни аномальности близки по своей величине к среднеквадратическим значениям поправок. Данное обстоятельство позволяет упростить процесс выбора отстраиваемых изолиний поправок.

Построение изолиний поправок аномального уровня осуществляется известным методом многогранников. Однако в некоторых случаях его применение затруднено наличием большого количества участков неопределенности в поведении изолиний. В этой ситуации рекомендуется использовать подход, основанный на математических действиях с топографическими поверхностями.

Для этого отстраиваются изолинии уравниваемого признака. Для каждого замера вычисляется уравненное значение показателя

$$U_i = P_i + \varepsilon_i, \quad (6.10)$$

где P_i – измеренное значение показателя по i -му замеру; U_i – уравненное значение показателя по i -му замеру; ε_i – поправка к i -му замеру.

В изолиниях отстраивается поверхность уравненных значений признака. Сложность этой поверхности всегда будет ниже сложности поверхности измеренных значений.

Из поверхности уравненных значений вычитается поверхность измеренных. В результате этого будет получена поверхность поправок. Причем в процессе вычитания нет необходимости строить саму поверхность поправок – достаточно ограничиться построением лишь одной требуемой изолинии.

Выявленные аномальные зоны могут использоваться в процессе проведения анализа геологоразведочных материалов. С их помощью оценивают корректность принятых границ подсчетных блоков и подходов к расчету подсчетных параметров в них, определяют нежелательные направления интерполирования значений признаков и т. д. При построении поверхностей признака с большой осторожностью следует относиться к результатам интерполирования между замерами, расположенными в различных аномальных зонах. Эти результаты должны игнорироваться, если они вступают в противоречия с результатами интерполирования по направлениям, находящимся внутри отдельных зон.

6.5. Уравнивание высотных отметок пласта

Пусть, как и при уравнивании мощностей и показателей качества углей, имеются t оценочных четырехугольных блоков, по каждому из которых известна «невязка» – определенный в вертикальном направлении ламбда-критерий разведанности λ_j . Для производства уравнивания формируют таблицу производных a_{ik} (аналогичную табл. 6.1), величины которых определяют в зависимости от условного номера скважины в блоке:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для скважины № 1:} & a_{ik} &= 1 - (3 - 2x)x^2; \\
 & \text{– для скважины № 2:} & a_{ik} &= (3 - 2x')x'^2 - 1; \\
 & \text{– для скважины № 3:} & a_{ik} &= (3 - 2x)x^2; \\
 & \text{– для скважины № 4:} & a_{ik} &= (2x' - 3)x'^2 - 1.
 \end{aligned}
 \tag{6.11}$$

Если скважина i не входит в блок k , то $a_{ik} = 0$.

Затем формируют таблицу произведений строк S_{ik} , аналогичную табл. 6.2, на основании которой записывают систему нормальных уравнений:

$$\begin{aligned} S_{11}K_1 + S_{21}K_2 + \dots + S_{t1}K_t &= -\lambda_1; \\ S_{12}K_1 + S_{22}K_2 + \dots + S_{t2}K_t &= -\lambda_2; \\ \dots & \\ \dots & \\ S_{1t}K_1 + S_{2t}K_2 + \dots + S_{tt}K_t &= -\lambda_t. \end{aligned} \tag{6.12}$$

После ее решения по формуле (6.7) рассчитывают значения поправок к высотным отметкам.

6.6. Использование уравнивания для прогнозирования местоположений и амплитуд дизъюнктивных нарушений

При анализе материалов участков угольных месторождений большое внимание уделяется достоверности изучения дизъюнктивной нарушенности. С точки зрения промышленности важно выделять конкретные зоны пласта, вероятно, пораженные разрывными нарушениями. Одним из методов прогноза дизъюнктивных дислокаций является метод уравнивания сетей высотных отметок пласта.

Значения лямбда-критериев, выступающие при уравнивании в качестве «невязок», обусловлены действием трех основных факторов:

- техническими погрешностями измерений и определений данных по пластоподсечениям;
- погрешностями применяемого метода интерполирования (метода построения модели гипсометрии);
- погрешностями построений, связанными с наличием установленных или невыявленных тектонических нарушений.

Отсюда следует, что значения поправок ε_i к высотным отметкам также должны быть связаны с этими же факторами. Причем поправки характеризуют уже окрестности конкретных замеров, а не отдельные изолированные оценочные блоки.

К сожалению, перечисленные факторы действуют одновременно, тогда как с позиции прогнозирования необходимо оценить лишь влияние последнего из них.

Основу процесса такой оценки создает предположение о том, что технические погрешности измерений (зависящие от использованных технических средств) и погрешности интерполирования (зависящие от плотности разведочной сети и сложности геологического строения) в условиях отдельного конкретного фрагмента объекта носят характер своеобразного «информационного шума», действуют повсеместно и относительно постоянны.

В это же время погрешности построений, связанные с тектоническими нарушениями, проявляются лишь на локальных участках, переменны по величине и образуют отдельную статистическую совокупность.

Выделение «шумовой составляющей» осуществляется на основе анализа «скорости» изменения значений поправок между соседними точками измерений, характеризующего изменения уровня влияния перечисленных выше факторов. Числовой характеристикой этого изменения является величина, условно именуемая градиентом поправок:

$$\text{grad } \varepsilon_{ik} = \frac{|\varepsilon_i - \varepsilon_k|}{L_{ik}}, \quad (6.13)$$

где ε_i и ε_k – значения поправок для i -го и k -го соседних замеров; L_{ik} – расстояние между i -м и k -м соседними замерами.

Так как приращение поправок, связанное с действием двух первых факторов, не должно быть значительным, то и обусловленные ими величины градиентов не должны претерпевать больших изменений, характеризуясь некоторым ожидаемым средним значением и дисперсией. Распределение таких градиентов (которые будем в дальнейшем называть «нормальными» в силу порождающих их явлений) теоретически должно подчиняться нормальному закону (распределение A на рис. 6.5).

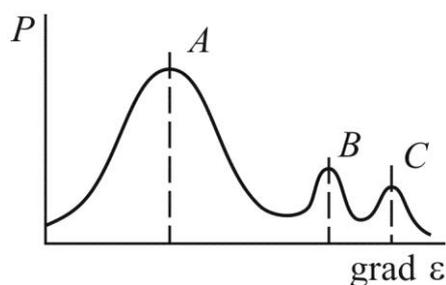


Рис. 6.5. Теоретическое распределение градиентов поправок

Градиенты, связанные с наличием дизъюнктивных нарушений (в дальнейшем – «аномальные» градиенты), также должны образовывать собственные законы распределения, отличающиеся своим математическим ожиданием и дисперсией.

При наличии нескольких групп геометрически однотипных разрывов могут образовываться несколько распределений аномальных градиентов (распределения *B* и *C* на рис. 6.5).

Отсюда следует, что распределение градиентов поправок в пределах нарушенных участков недр должно представлять собой суперпозицию нескольких законов распределения, что многократно подтверждалось в ходе практического применения метода.

Таким образом, одним из первых этапов прогнозирования является расчет градиентов поправок и построение гистограммы их распределения. Главной проблемой при этом является установление рационального числа интервалов гистограммы. Например, на рис. 6.6 приведены гистограммы распределения одних и тех же градиентов поправок, построенные при различном числе интервалов. Из рис. 6.6 видно, насколько сильно их количество изменяет характер гистограммы.

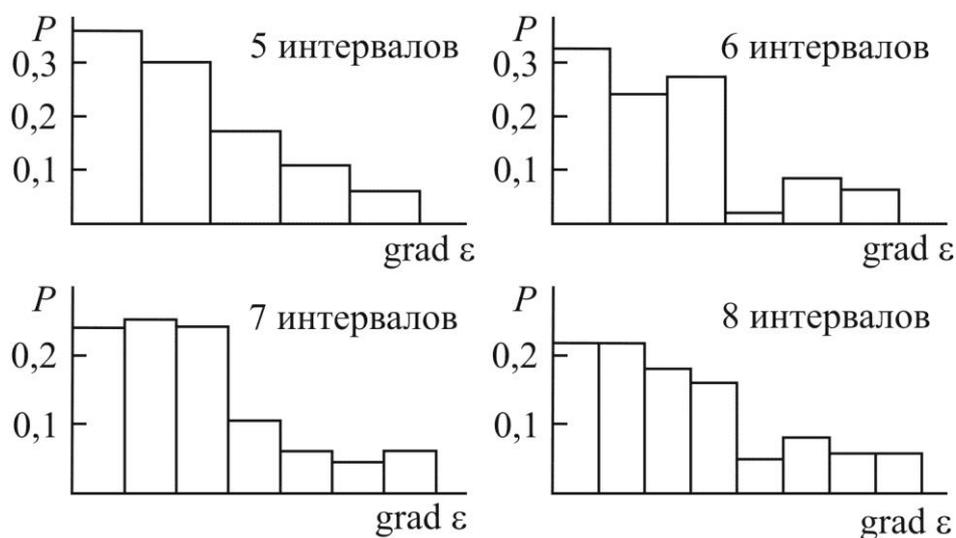


Рис. 6.6. Гистограммы распределения градиентов поправок к отметкам плаstopодсечений пласта Толмачевского поля шахты «Комсомолец»

Большинство авторов рекомендуют производить выбор величины интервала Δh по формуле

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{N}, \quad (6.14)$$

где h_{\max} – максимальное значение признака; h_{\min} – минимальное значение признака; N – число интервалов.

Известны также предложения, состоящие в выборе величины интервала, равной удвоенной или утроенной погрешности измерений. Однако они полностью не применимы в рассматриваемом случае, поскольку градиенты поправок не являются измеренными величинами.

Наибольшие расхождения во мнениях наблюдаются при решении вопроса о выборе числа интервалов N . Многие авторы, занимающиеся вопросами обработки горно-геометрической информации, рекомендуют использовать для этой цели формулу, которую еще в 1926 году предложил Н. Sturges (Стерджесс):

$$N = 1 + \log_2 n = 1 + 3,322 \lg n, \quad (6.15)$$

где n – число обрабатываемых наблюдений.

Эта формула исходит из возможности аппроксимации нормального распределения биномиальным. Отечественные специалисты, имеющие большой опыт практической деятельности в области обработки статистической информации, предлагают принимать количество интервалов вне зависимости от объема выборки. Так А. К. Митропольский рекомендует, вне зависимости от числа наблюдений, всегда принимать число интервалов равным 12, Е. С. Вентцель предлагает разделять размах на 10–20 интервалов и т. д.

Из рассмотренного ясно, что задача отыскания оптимальной величины интервала гистограммы пока не относится к числу однозначно решаемых. Для поиска ее решения необходимо, прежде всего, получить ответ на вопрос: какую величину целесообразно отыскивать – число интервалов или их размер?

Поставим для этого умозрительный эксперимент: пусть имеется выборка из 200 замеров, например, мощности пласта энергетического угля, кондиционная мощность которого составляет 1 м. Причем в 100 из них мощность пласта меньше 1 м, а в остальных больше. Если задаться целью построить гистограмму распределения признака, то число интервалов (по Стерджессу) составит 9.

Теперь представим себе, что необходимы гистограммы распределения отдельно для кондиционных и некондиционных мощностей. Каждая из них должна состоять из 8 интервалов. Следовательно, в этом случае весь диапазон изменения мощностей будет разделен уже на 16, а не на 9 частей. Налицо явное противоречие. Оно возникает и при использовании любого другого из рассмотренных способов, оперирующих нелинейной зависимостью количества интервалов от числа данных.

Разрешить это противоречие можно двумя путями:

– принять нелинейную зависимость между числом интервалов и числом измерений;

– отыскивать не оптимальное число интервалов, а их оптимальную величину.

Первый путь выглядит бесперспективным. Во-первых, весь многолетний опыт практической статистики не указывает на возможность существования такой формы связи. А во-вторых, зависимость числа интервалов от объема выборки должна учитывать вид распределения. Например, для равномерного закона распределения будет, по-видимому, существовать достаточно широкий диапазон возможного числа интервалов, обеспечивающего представительность гистограммы. Поэтому первый путь решения задачи построения оптимальной гистограммы является лишь частным случаем второго пути. Отсюда следует, что целесообразно ориентироваться на непосредственный поиск величины интервала для каждой конкретной гистограммы.

Именно на него ориентированы современные подходы.

Так, D. Scott (Д. Скотт) предлагает определять величину интервала по формуле

$$\Delta h = \frac{3,5\sigma}{\sqrt[3]{n}}, \quad (6.16)$$

где σ – стандартное отклонение значений ряда измерений,

D. Freedman (Д. Фридман) и P. Diaconis (П. Диаконис) рекомендуют использовать для этих целей формулу

$$\Delta h = \frac{2IQ}{\sqrt[3]{n}}, \quad (6.17)$$

где IQ – разница между верхним и нижним квартилем (как известно, нижний квартиль – это значение, ниже которого в упорядоченном по возрастанию множестве данных находится их четверть, а верхний квартиль – значение, выше которого располагается четверть значений).

Однако и подходы Скотта и Фридмана – Диакониса также альтернативны и не дали положительного результата в ходе исследований метода прогнозирования нарушений, выполненного на материалах отработанных контуров угольных пластов. Причиной тому, вероятно, послужили три обстоятельства: полимодальный характер распределения градиентов, его усеченность и необходимость его детального изучения в пределах «хвоста».

Ясно, что интервал гистограммы не должен быть слишком велик (при его величине, равной размаху выборки, любое распределение станет равномерным) или слишком мал (при его величине, меньшей точности записи чисел, любое распределение также будет сводиться к равномерному).

А. М. Длин считает, что «ширина интервала должна способствовать выявлению основных черт распределения и сглаживанию случайных колебаний. При этом нужно учесть, что случайные колебания будут преобладать в малом интервале, так как в малом интервале заключено меньшее число наблюдений, чем в большом». Исходя из «боязни» допустить значимые случайные колебания гистограммы им и предложено весьма небольшое количество интервалов, максимальное число которых практически совпадает с их минимальным количеством, рекомендуемым Е. С. Вентцель.

Е. С. Вентцель более диалектична и обращает внимание не только на нежелательность больших, но и малых интервалов: «Число разрядов, на которые следует группировать статистический материал, не должно быть слишком большим (тогда ряд распределения становится невыразительным и частоты в нем обнаруживают незакономерные колебания); с другой стороны, оно не должно быть слишком малым (при малом числе разрядов свойства распределения описываются статистическим рядом слишком грубо)».

Таким образом, оптимальный интервал должен обеспечивать определенный баланс между уровнем незакономерных колебаний частот и уровнем «подробности» вскрытия характера распределения.

Рассмотрим, какой интервал наиболее приемлем с позиции изучения «подробностей» распределения. Очевидно, что им является интервал, стремящийся к нулю. В этом случае будет обеспечиваться минимальная разность частот, попавших в соседние интервалы наблюдений, т. е. максимальная подробность гистограммы.

Степень этой «подробности» для каждой рассматриваемой величины интервала может быть охарактеризована величиной

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K-1} (P_i - P_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{K-1} (P_i + P_{i+1})^2} \cdot \frac{1}{N-1}}, \quad (6.18)$$

где N – число интервалов; P_i – частота в i -м интервале.

Параметр η характеризует среднеквадратическое отклонение частот соседних интервалов гистограммы, выраженных в относительной мере.

С позиции уровня нежелательных незакономерных колебаний частот целесообразно также минимизировать изменение частот соседних интервалов, т. е. обеспечить выполнение следующего условия:

$$\eta = \min. \quad (6.19)$$

Пользуясь формулой (6.18), можно для каждого наперед заданного интервала Δh рассчитать и построить зависимость $\eta = f(\Delta h)$. Интервал, соответствующий условию (6.19), является оптимальным, т. к. обеспечивает минимизацию незакономерных колебаний при максимальной подробности гистограммы.

Поиск оптимального интервала должен начинаться с заведомо больших интервалов и завершаться после нахождения первого минимума зависимости. В противном случае результаты могут быть искажены постоянно возрастающими шумами.

Практически, используя идеологию подхода Фридмана – Диакониса, при расчете η следует использовать только часть данных, ограниченную значением квартиля, соответствующего 80 % общего количества данных.

Направления выделенных по результатам анализа гистограммы аномальных градиентов показывают на плане и рассматривают как направления, пересекаемые разрывными нарушениями (рис. 6.7).

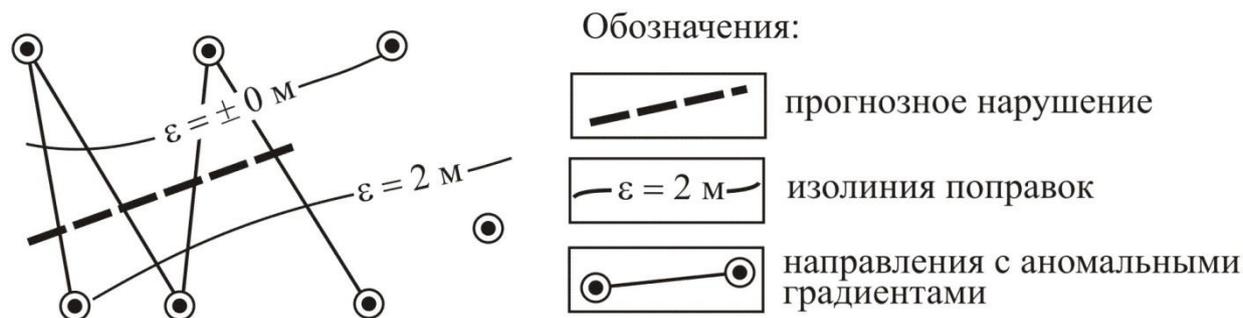


Рис. 6.7. Прогноз положения нарушения

На следующем этапе прогнозирования намечают положение вероятных линий скрещения нарушений с пластом. Их проводят под условием пересечения ими линий аномальных градиентов. Само построение выполняют одним из двух способов.

Первый из них состоит в построении линии скрещения при ее расположении, соответствующей ориентировке известных систем разрывных нарушений. Второй способ применяют при невозможности использования первого (при отсутствии сведений об элементах залегания систем или при наличии нескольких систем нарушений). Он состоит в прогнозировании направления развития нарушения параллельно специально построенным изолиниям поправок (рис. 6.7).

Ожидаемую точку выклинивания дизъюнктива («окончание» линии скрещения) предлагается располагать на середине расстояния между «последним» аномальным и ближайшим к нему нормальным градиентом.

Важной составной частью процесса прогноза разрывных нарушений является прогноз их амплитуд. В результате статистической обработки экспериментальных материалов, учитывающих нарушения с амплитудами от 1 до 19 м, была разработана следующая методика прогноза вертикальных амплитуд смещений.

На первой стадии прогноза амплитуды работу ведут по отдельным оценочным четырехугольникам. В случае если прогнозное нарушение пересекает одну диагональ оценочного блока (рис. 6.8, *a*), определяют точку *A* пересечения диагонали и разрыва, находят ближайшую к ней вершину четырехугольника (2 на рис. 6.8, *a*) и измеряют расстояние между ними *r*.

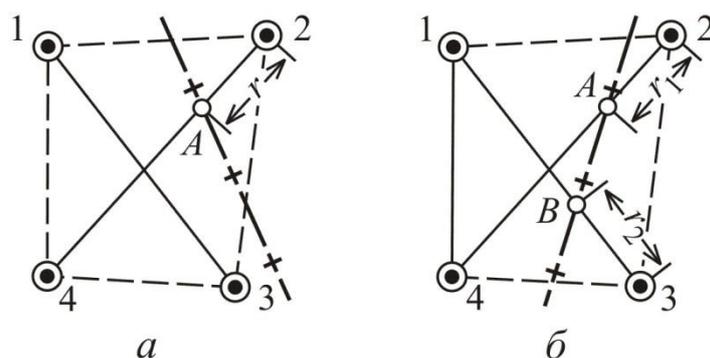


Рис. 6.8. К методике прогноза вертикальных амплитуд дизъюнктива

Ожидаемую вертикальную амплитуду разрыва рассчитывают по формуле

$$H = |\lambda|(1,86 - 4,17e + 2,70e^2), \quad (6.20)$$

где $e = \frac{r}{R}$; λ – значение лямбда-критерия разведанности; R – длина диагонали, пересекаемой нарушением.

В случае если прогнозное нарушение пересекает обе диагонали (рис. 6.8, б), определяют две точки их пересечения с разрывом (A и B), измеряют расстояния от них до ближайших вершин четырехугольника (r_1 и r_2) Ожидаемую вертикальную амплитуду разрыва оценивают по формуле

$$H = \frac{|\lambda|}{0,4 + 0,40|\lambda|} (1,94e_1 + 1,94e_2 + 0,3) \quad (6.21)$$

при $e_1 = \frac{r_1}{R_1}$; $e_2 = \frac{r_2}{R_2}$,

где R_1 и R_2 – длины соответствующих диагоналей. Если прогнозное нарушение пересекает диагонали нескольких четырехугольников, то расчет амплитуды производится по каждому из них, а в качестве ожидаемой ее величины принимается среднеарифметическое из полученных частных значений.

Необходимым условием успешного применения метода является наличие качественных геологических данных, соответствующих вполне достижимым инструктивным требованиям.

В последнее время резко повысилась актуальность прогноза разрывных нарушений в контурах уже подготовленных выемочных столбов угольных шахт.

Главная причина этого – практически двукратное увеличение длин лав при сохранении ранее имевших место параметров сетей разведочных скважин, приведшее к значительному снижению информационного эффекта, достигаемого при проведении подготовительных выработок и, соответственно, к снижению качества прогноза горно-геологических условий.

Следствием этого явилось усиление значимости влияния геологического фактора на безопасность ведения подземных горных работ. В результате крупной аварии, происшедшей на шахте «Ульяновская» в 2007 году, по всем вновь вводимым в эксплуатацию съемочным столбам предусмотрено обязательное проведение геомеханического анализа вмещающих пород кровли в целях выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли.

К таким тектоническим зонам относятся и зоны влияния дизъюнктивных нарушений, полнота выявления которых оставляет желать лучшего.

В связи с этим на базе изложенного выше метода прогноза разрывных дислокаций разработан специальный его вариант, учитывающий специфику использования результатов шахтных наблюдений.

Данный вариант был оформлен в виде методики, утвержденной в 2009 году Научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевым научным центром ВНИМИ и Институтом угля и углехимии Сибирского отделения Академии наук России [2] и практически применяется в ходе подготовки заключений по вновь вводимым в действие лавам шахт Кузбасса.

Методика имеет версию, в которой прогноз нарушений в съемочном столбе осуществляется исключительно по данным координат пунктов маркшейдерских опорных и съемочных сетей. При ее реализации в качестве «невязок» приняты значения дельта-критериев разведанности, вычисленные на основе линейной интерполяции высотных отметок пласта между маркшейдерскими пунктами. Исходя из этого уравнивание высотных отметок стало производиться по схеме, ранее использованной для мощностей пластов и показателей качества угля. Детально содержание варианта методики изложено в работе [18].

Опытно-промышленное и промышленное применение методики осуществлялось на шахтах Анжерского, Кемеровского, Ленинского, Беловского, Ерунаковского, Байдаевского и Томь-Усинского геолого-промышленных районов Кузнецкого угольного бассейна: «ш/у Анжерское», «Северная», «Конюхтинская», «Егозовская», «Чертинская-Коксовая», «Кыргайская», «Антоновская» и «Томская». Степень подтверждаемости прогноза последующими результатами горных работ составляла от 60 до 95 % при преимущественном значении в 75 %.

К числу общепринятых методов прогноза наличия разрывных нарушений в контуре подготовленного выемочного столба относятся геофизические методы, прежде всего сейсмические.

Разрешающая способность таких методов, в зависимости от применяемой аппаратуры и горно-геологических условий, составляет от 50 до 90 %. Несомненно, что их развитие и совершенствование имеет значительный потенциал, в связи с чем качество прогнозов будет повышаться. Изложенный выше горно-геометрический метод прогнозирования не является альтернативой шахтной геофизики, наоборот, эти методы следует рассматривать как дополняющие друг друга.

Вместе с тем, простота исходных данных, используемых горно-геометрическим методом, и низкая стоимость прогнозирования с его помощью позволяют осуществлять прогноз нарушений в режиме мониторинга (т. е. многократно, по мере проведения подготовительных штреков), который пока затруднительно реализовать на основе применения геофизических методов.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит основная идея уравнивания сети геологических измерений?
2. Следует ли корректировать измеренные значения показателей на величины полученных в ходе уравнивания поправок?
3. Как выделить аномальные замеры с помощью сети геологических измерений?
4. Как выделить аномальные зоны с помощью сети геологических измерений?

5. В каких целях используется информация о выявленных аномальных зонах показателей?

6. В чем состоит использование метода уравнивания для прогноза дизъюнктивных нарушений?

7. Как осуществляется прогноз амплитуд прогнозируемых нарушений с использованием критериев разведанности?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработке теории и методик геометризации месторождений полезных ископаемых посвящены исследования многих поколений горных инженеров, теоретиков и практиков. В результате к настоящему времени сформирован классический комплекс методов, обеспечивающий решение основных задач горного производства.

Однако совершенствование существующих и разработка новых методов и технологий горно-геометрического моделирования продолжает оставаться предметом исследований научных и проектных центров, вузов и специалистов горной промышленности.

Исследовательские работы в этой области будут проводиться до тех пор, пока существует угольная промышленность, которая продолжает развиваться высокими темпами как в качественном, так и в количественном отношении. Так, только за первые 13 лет текущего столетия добыча угля в мире возросла настолько же, насколько и за весь XX век.

В настоящее время главным направлением развития горно-геометрического моделирования угольных месторождений является адаптация их к условиям существующих компьютерных программных комплексов, первоначально разработанных применительно к условиям месторождений рудного сырья.

На сегодня не имеют общепринятого решения задачи учета при геометризации угольных месторождений аномальных замеров, совместного использования при геометризации точечных замеров (например, скважин) и линий непрерывных измерений (например, по штрекам, уклонам и т. д.). Явно не исчерпан потенциал горно-геометрических подходов к прогнозу дизъюнктивных нарушений и к прогнозу устойчивости кровли.

Развитие промышленности неизбежно приводит к освоению новых месторождений, обладающих своими особенностями, а также к появлению новых технологий добычи и добычной техники. Все это требует разработки и развития новых видов горно-геометрических моделей и технологий их создания.

Уже сейчас промышленностью востребована горно-геометрическая модель содержания в угле CaO , повышенное значение которого снижает прочность кокса в горячем состоянии.

Назрела необходимость использования моделей фракционного состава добываемого угля. Этот состав, влияющий на выход и стоимость углепродукции, зависит не только от природных свойств угля, но и от вида и даже мощности добывающего оборудования.

Постановка новых горно-геометрических задач и внедрение новых технологий геометризации невозможны без участия маркшейдеров, понимающих не только возможность получения дополнительной информации, но и ее правильное использование для обеспечения эффективности и безопасности освоения недр.

Современные горные инженеры должны быть готовы к восприятию и к практической реализации новых подходов и технологий горно-геометрического моделирования и прогнозирования, должны непрерывно пополнять свои профессиональные знания.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативно-методическая литература

1. 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. – Москва, 2007. – 31 с.

2. Методика горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова. – Кемерово ; Санкт-Петербург, 2009. – 33 с.

3. Методические рекомендации по выбору сечений изогипс, изолиний мощности и показателей качества при построении планов и разрезов угольных месторождений : одобрены к применению в отрасли Главным управлением топливно-энергетических ресурсов Мингео СССР. – Ростов-на-Дону : ВНИГРИуголь, 1989. – 12 с.

4. Методические рекомендации по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию // ОЭРН. – Москва ; Кемерово, 2011. – 86 с.

5. Требования к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых : утв. приказом Минприроды России № 378 от 23.05.2011. – Москва, 2011. – 19 с.

6. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах : РД 153-39.0-072-01 : принят приказом Минэнерго России № 134 от 07.05.2001. – Москва, 2001. – 135 с.

7. Australian Guidelines for the Estimation and Classification of Coal Resources. – Guidelines Review Committee on behalf of the Coalfields Geology Council of New South Wales and the Queensland Resources Council, 2014. – 47 p.

Учебная и научная

8. Букринский В. А. Геометрия недр : учеб. для вузов / В. А. Букринский. – Москва : Горная книга, 2016. – 550 с.

9. Букринский В. А. Геометризация недр. Практический курс : учеб. пособие для вузов / В. А. Букринский. – Москва : Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2004. – 333 с.

10. Геометрия недр (горная геометрия) : учеб. для вузов / В. М. Калинин [и др.] ; под ред. В. М. Калинин, И. Н. Ушакова. – Новочеркасск : НОК, 2000. – 526 с.

11. Калинин В. М. Геометрия недр : учебник. Ч. 1 : Теоретические основы геометрии недр / В. М. Калинин, В. В. Руденко. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2014. – 347 с.

12. Калинин В. М. Геометрия недр : учебник. Ч. 2 : Геометризация форм, структур и свойств полезных ископаемых / В. М. Калинин, В. В. Руденко. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2014. – 221 с.

13. Калинин В. М. Геометрия недр : учебник. Ч. 3 : Прикладные задачи геометрии недр / В. М. Калинин, В. В. Руденко. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2014. – 341 с.

14. Калинин В. М. Автоматизация прогнозирования горно-геологических условий отработки месторождений полезных ископаемых : учеб. пособие / В. М. Калинин, Г. А. Белоконов, Д. Н. Шурыгин. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 139 с.

15. Калинин В. М. Математическое моделирование и прогноз показателей месторождений : справочник / В. М. Калинин. – Москва : Недра, 1993. – 319 с.

16. Капутин, Ю. Е. Геостатистика в горно-геологической практике / Ю. Е. Капутин, А. И. Ежов, С. Хенли. – Апатиты : Горный институт Кольского научного центра РАН, 1995. – 163 с.

17. Научные основы формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений / Ю. Н. Кузнецов, Б. В. Курцев, Д. А. Стадник, Н. М. Стадник. – Москва : Горная книга, 2017. – 126 с.

18. Рогова Т. Б. Достоверность запасов угольных месторождений. Количественная оценка и мониторинг / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин. Saarbrücken. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 508 с.

19. Рогова Т. Б. Подсчет запасов угольных месторождений : учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин, В. О. Ярков ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 136 с.

20. Сученко В. Н. Анализ исходной информации и прогнозирование в геометрии недр : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки «Горное дело» / В. Н. Сученко. – Москва : МГГУ, 2009. – 270 с.

21. Шаклеин С. В. Количественная оценка достоверности геологических материалов угольных месторождений / С. В. Шаклеин. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2005. – 243 с.

**Рогова Тамара Борисовна
Шаклеин Сергей Васильевич**

**ГЕОМЕТРИЯ НЕДР.
ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Учебное пособие

Редактор З. М. Савина

Подписано в печать 25.06.2018. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 12,00
Тираж 100. Заказ.....
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а