

С. В. ШАКЛЕИН

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



КЕМЕРОВО 2005

С. В. ШАКЛЕИН

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА
ДОСТОВЕРНОСТИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Кемерово
Кузбассвуиздат
2005

Рецензенты:

председатель совета директоров Института конъюнктуры рынка угля
проф., д-р техн. наук **В. Е. Зайденварг**;

директор Института угля и углехимии СО РАН
проф., д-р техн. наук **В. П. Потапов**

Шаклеин С. В.

Ш12 Количественная оценка достоверности геологических материалов угольных месторождений / С. В. Шаклеин. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005. — 243 с.

ISBN 5-202-00821-х.

Приведено детальное описание количественных методов оценки достоверности геологических материалов, ориентированных на использование при подготовке технических, инвестиционных и лизинговых проектов, бизнес-планов. Изложены теоретические основы методов и иллюстрированные примерами — практические рекомендации по их применению. Рассмотрены вопросы оценки достоверности изучения гилсометрии пластов, разрывных нарушений, количества запасов, мощностей и показателей качества угля, горно-геометрического прогнозирования дизъюнктивной тектоники угольных месторождений, находящихся на различных стадиях геологического изучения и промышленного освоения.

Для специалистов маркшейдерских и геологических служб, проектных, инвестиционных, лизинговых, горно-аудиторских и страховых организаций и фирм и студентов вузов горного профиля.

ББК 33.12

© Шаклеин С. В., 2005

© Изд-во «Кузбассвуиздат», 2005

ISBN 5-202-00821-х

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня основным стратегическим направлением развития угольной отрасли Кузбасса является достижение в бассейне мирового уровня промышленной безопасности ведения горных работ. Достичь ее можно только за счет широкого комплекса мероприятий, охватывающего все направления горно-хозяйственной деятельности: технической, технологической, законодательной, организационной, научной и геологической. Настоящее издание посвящено изложению методов, обеспечивающих повышение безопасности работ по геологическому фактору. Не секрет, что все технологические регламенты и расчетные схемы безопасного ведения горных работ предполагают наличие надежных сведений о подлинной структуре и свойствах недр. Отсутствие необходимых данных, приблизительные и ошибочные представления о геологии недр ведут к инженерным просчетам, к возникновению чрезвычайных ситуаций и аварий. К сожалению, далеко не все шахты и разрезы Кузбасса обеспечены надежной геологической информацией.

Решение вопросов повышения безопасности в угольной отрасли невозможно без консолидации усилия всех угольных компаний, без осознания ими приоритета государственных интересов над корпоративными. В этой связи принятое руководством ООО «РОСА «Холдинг» решение о финансировании подготовки и публикации в открытой печати систематического изложения эффективной технологии оценки достоверности геологоразведочных материалов, разработанной доктором технических наук С. В. Шаклеиным, заслуживает благодарности и как положительный опыт — широкого распространения.

Заместитель губернатора
Кемеровской области
по топливно-энергетическому
комплексу

А. ДЮПИН

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние и тенденции развития минерально-сырьевой базы и производственного потенциала угольной отрасли Кузбасса характеризуются рядом специфических особенностей.

Во-первых, вскрытые запасы действующих предприятий обеспечивают их работу в среднем на протяжении 13 лет. Это закономерно приведет в ближайшей перспективе к массовому освоению новых горизонтов (на которых сконцентрировано до 77 % балансовых запасов) и прирезок, обладающих более низкой степенью разведанности, чем уже освоенные участки шахтных и карьерных полей. Доразведка нижних горизонтов сопряжена с необходимостью проведения буровых скважин через подработанную толщу горных пород, что требует значительных материальных затрат и использования высококвалифицированных буровых бригад, обладающих специфическим опытом, который в настоящее время практически уже утрачен.

Во-вторых, в настоящее время происходит резкий всплеск инвестиционной активности в угольной отрасли. Возникший в результате бурного развития нового шахтного строительства дефицит разведанных участков уже привел к выдвиганию на конкурсы и аукционы участков, не только располагающих лишь ресурсами и предварительно оцененными запасами, но и к признанию подготовленными к промышленному освоению ряда участков, соотношение различных категорий запасов по которым не позволяет квалифицировать их в качестве подготовленных к освоению даже с позиций советской затратной экономики. Так, более 70 % запасов новых участков шахтного строительства требуют проведения дальнейшего геологического изучения.

В-третьих, существующая оценка ресурсов и подсчет 95 % запасов полей действующих предприятий и 97 % запасов не освоенных промышленностью участков прошли государственную экспертизу до 1990 г., т. е. по требованиям, не отвечающим потребностям современной экономики.

В-четвертых, катастрофически снизились кадровые и технические возможности геологоразведочных организаций угольного профиля, которые в настоящее время уже не в состоянии обеспечить качественного решения всего объема задач по разведке нижних горизонтов действующих предприятий, полей, вовлекаемых в недропользование новых объектов и воссоздание истощенного резервного фонда. Средний возраст специалистов превысил 50 лет и продолжает увеличиваться. А на-

грузка на высококвалифицированных специалистов геологической отрасли, число которых практически уже можно пересчитать по пальцам, увеличилась до неприемлемо высокого уровня, не позволяющего вести работы на необходимом качественном уровне. Накопленный десятилетиями уникальный опыт изучения угольных месторождений Кузбасса безвозвратно теряется. Кроме того, резкое возрастание количества действующих угледобывающих предприятий уже привело к дефициту и перераспределению высококвалифицированных кадров, снижению их доли в составе инженерных служб предприятий.

В то же время в основе всех проектов и планов создания, строительства и развития угольных шахт и разрезов лежат не фактические данные о недрах, а лишь геологические модели недр, построенные по результатам прямого определения значений изучаемых характеристик только на одно-двухдвухдцатимиллионной доле от всей площади поверхности обрабатываемого пласта. Поэтому геологические модели угольных месторождений и пластов объективно обладают тем или иным уровнем погрешности. Важно, чтобы уровень этой погрешности соответствовал требованиям горного производства.

В ходе использования геологической информации ее погрешности трансформируются в погрешности и ошибки технологических, инвестиционных и иных решений. Поэтому оценка достоверности этой информации становится в настоящее время одной из главных проблем обеспечения безопасности горного производства и горного бизнеса.

Роль оценки достоверности геологической информации в обеспечении промышленной безопасности производства определяется тем, что технологические регламенты и расчетные схемы безопасного ведения горных работ предполагают наличие надежных сведений о подлинной структуре и свойствах недр. Отсутствие необходимых данных, приблизительные и ошибочные представления о геологии недр ведут к инженерным просчетам, к возникновению чрезвычайных ситуаций.

Значимость достоверной геологической информации на стадии принятия инвестиционных решений состоит в возможности определения горного или геологического риска организации недропользования, обусловленного тем, что несовпадение фактических и ожидаемых геологических условий объективно приведет в будущем и к несовпадению предполагаемых и реальных технико-экономических показателей работы предприятия. Однако знание погрешностей разведки позволяет производить технико-экономические расчеты по двум вариантам ожидаемых оценок горно-геологических условий:

пессимистическому (увеличение значений неблагоприятно действующих и уменьшение значений положительно действующих факторов на величины их погрешностей) и оптимистическому, т. е. учитывать неполноту знаний о недрах. Такой подход резко снижает уровень горного риска.

Относительно недавно широкий международный резонанс получила история с месторождением Бусанг в Индонезии (1997 г.), когда вследствие аферы компании Вге-Х с мифическими запасами месторождения пострадало множество частных инвесторов, особенно в Канаде. Поэтому количественная оценка достоверности геологических данных является элементом защиты инвесторов от различных мошенников и аферистов.

Поскольку на стадии эксплуатации месторождения уровень неподтверждения и списания запасов напрямую определяется достоверностью геологической информации, использованной при проектировании, то оценка ее погрешности является необходимым элементом обеспечения рациональности и полноты использования недр.

Собственно задача по оценке достоверности геологической информации, т. е. по оценке степени соответствия модели геологического объекта его реальным характеристикам, в условиях отсутствия знаний о последних относится к разряду некорректных задач и может быть решена лишь эвристическими методами. Официально действующие в настоящее время ранговые показатели достоверности геологического изучения недр, состоящие в экспертном присвоении запасам отдельных контуров одной из четырех категорий запасов (A , B , C_1 и C_2), ориентированы на использование при осуществлении государственного учета запасов полезных ископаемых и не удовлетворяют требованиям промышленных, инвестиционных и иных коммерческих организаций по причинам:

- высокой интегральности оценки;
- отсутствия количественных характеристик уровня разведанности объекта геологического исследования;
- субъективности категоризации запасов, усугубленной ведомственными интересами геологоразведчиков.

Устранение этих недостатков возможно только на основе создания системы специальных количественных методов оценки достоверности геологоразведочных данных. Как показывает опыт, применение таких методов позволяет в три-четыре раза повысить надежность получаемых оценок. Важной их особенностью является и то, что в своей

основе они обобщают ранее накопленный опыт эксплуатации месторождений угля, т. е. в известной мере выполняют функцию элемента базы знаний, что чрезвычайно важно в связи с кадровыми проблемами отрасли.

В настоящей монографии обобщен тридцатилетний опыт работы автора по разработке и практическому использованию методов определения достоверности геологоразведочной информации. Все приведенные в книге примеры основаны на фактических материалах, однако «адреса» этих примеров не всегда приведены в целях защиты интересов предоставивших их предприятий. По этой же причине в работе в максимальной степени использованы примеры, основанные на материалах ныне закрытых предприятий.

Все изложенные в работе методы сгруппированы по группам оцениваемых моделей: геометрических трехмерных (выполняемых на основе площадных сетей наблюдений) и двухмерных (выполняемых на основе линейных сетей наблюдений) моделей, а также блочных аналитических моделей (в которых каждый блок характеризуется только средним значением геометризруемого признака). Естественно, что основное внимание уделено геометрическим трехмерным моделям как наиболее распространенным в угольной отрасли.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Результаты геологического изучения недр оформляются в виде комплекта моделей геополей, описывающих месторождение. Эти модели, как и геополь признаков, в соответствии с практически проверенной временем теорией геохимического поля проф. П. К. Соболевского [35], должны обладать свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности. К числу этих свойств целесообразно также добавить и свойство симметрии, которое все в большей степени рассматривается современным естествознанием как всеобщий закон природы [11]. На данное обстоятельство, по сообщению проф. В. А. Букринского, указывал еще П. К. Соболевский.

Моделирование осуществляется путем восстановления топографической функции сечения геополь по совокупности результатов измерений, выполненных в отдельных точках пласта. Сеть замеров при этом чрезвычайно редка (например, при геологоразведочных работах на уголь значения изучаемых характеристик измеряются непосредственно только на одно-двухдвухдцатимиллионной части площади поверхности пласта), и поэтому можно говорить лишь о приближенном восстановлении топоповерхности признака. Понятно, что необходимая степень этого приближения определяется практическими требованиями горной промышленности. В рамках существовавшей ранее затратной системы организации производства необходимый уровень информационного обеспечения процесса ведения горно-эксплуатационных работ был достаточно низок. В силу этого определение степени приближения модели к реальности, именуемой оценкой достоверности запасов, выполнялось путем экспертных оценок и сводилось к присвоению определенному контуру запасов (по каждому из изучаемых признаков) одного из четырех рангов разведанности — категории A , B , C_1 или C_2 . Причем достигнутая степень разведанности запасов при проектировании и ведении горных работ практически никак не учитывалась. Изменение характера системы хозяйствования, объективная необходимость повышения уровня промышленной и экономической безопасности, внедрение геоинформационных систем, систем проектирования и управления производством качественно изменяют необ-

ходимый уровень проектирования, планирования и управления. Однако все генерируемые на этих стадиях технико-экономические решения являются адекватными не реальным условиям месторождения, а моделям этих условий. Таким образом, погрешности моделей превращаются в погрешности решений, снижают их эффективность, а в ряде случаев делают их вообще ошибочными. Поэтому долгое время удовлетворявшая производство субъективная ранговая оценка достоверности запасов в современных условиях уже не отвечает его, во многом еще не осознанному инженерными службами, требованиям, сохраняя, впрочем, свое значение в качестве элемента системы государственного учета запасов.

Задача определения достоверности результатов моделирования месторождения сводится к оценке степени расхождения между реально существующим природным объектом и его моделью. Непосредственное решение задачи в такой постановке невозможно в принципе, поскольку никаких других сведений об объекте, кроме использованных при создании модели, не имеется, и достоверность модели может определяться только на основе анализа самой модели. Поэтому решение задачи по оценке достоверности должно осуществляться косвенными методами, т. е. на основе разработки специальных эвристических методов (операторов) преобразования геоинформационной модели в модель ее достоверности.

В основу таких операторов могут быть положены идеи, заложенные в теории геохимического поля П. К. Соболевского [35]. В самом деле, если геополь обладает свойством однозначности, то и модель, идеальным образом описывающая его, также должна им обладать [60; 61]. И, следовательно, возникновение неоднозначности построений в процессе моделирования является свидетельством неадекватности создаваемой модели и реального объекта. Причем степень этой неадекватности тем больше, чем больше неоднозначность модели. Действительно, чем больше вариантов построения, например, гипсометрии пласта, тем выше вероятность того, что будет выбран не лучший вариант, тем меньше будет доверия к модели, тем ниже будет ее достоверность. Таким образом, оценка достоверности модели через оценку ее неоднозначности носит вероятностный характер. Данный принцип подхода к оценке достоверности геометрического моделирования частично внедрен в практику категоризации запасов (понятие «неоднозначность модели» обозначается в ней термином «возможность других вариантов

построений» [21]). Однако сама эта «возможность» определяется интуитивно и измеряется тяжело интерпретируемой ранговой оценкой — категорией запасов. Такой субъективный подход к определению неоднозначности модели создает предпосылки к фальсификации результатов.

Таким образом, оценка достоверности геологических материалов должна основываться на оценке степени неоднозначности модели и производиться с помощью количественных критериев разведанности (операторов преобразования), обеспечивающих:

- оценку степени неоднозначности модели;
- однозначность и воспроизводимость результатов оценки;
- производство оценки в пределах малоразмерного контура тела полезного ископаемого.

Общая схема оценки достоверности геологических данных состоит в определении количественной степени неоднозначности анализируемой модели и с последующим переходом от оценки неоднозначности к оценке достоверности (погрешности) модели.

2. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ ЗАМЕРОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕ НА ОДНОЙ ПРЯМОЙ

2.1. Определение степени неоднозначности геометрической модели

Сеть замеров указанного вида формируется на завершающих стадиях поисков месторождения и представляет собой систему преимущественно параллельных разведочных линий и отдельных, размещенных вне этих линий, замеров. На ее основе создаются модели гипсометрии пласта, мощностей, зольностей, других показателей качества угля.

Неоднозначность построений может быть оценена лишь при наличии избыточных измерений или определений. Однако в геологоразведочной практике они возникают крайне редко и нежелательны, т. к. являются следствием переразведки объекта исследований. Поэтому подход к созданию метода измерения степени неоднозначности модели может основываться только на выдвигаемой идее искусственного создания косвенных избыточных определений. Реализовать такую идею в условиях оговоренной конфигурации сети замеров можно в пределах четырехугольной ячейки сети замеров следующим образом [62].

Рассмотрим выпуклый четырехугольник с вершинами — точками замеров изучаемого признака (рис. 2.1). Присвоим его вершинам условные номера (от 1 до 4), начиная с произвольной вершины и увеличивая их по мере обхода четырехугольника по (или против) направлению движения часовой стрелки. В таком четырехугольнике можно провести две диагонали (1-3 и 2-4), пересекающиеся в точке K . Изучаемый признак P , в соответствии со свойством однозначности геопоя, должен иметь в точке K одно-единственное значение. Используя некоторый метод интерполирования, можно определить значение признака в точке K из каждой диагонали (P_{1-3} — из интерполирования вдоль диагонали 1-3 и P_{2-4} — из интерполирования вдоль диагонали 2-4). Ясно, что теоретически $P_{1-3} = P_{2-4}$. Однако, в силу наличия погрешностей измерений и интерполяции, значения P_{1-3} и P_{2-4} не будут совпадать. Поэтому разность P_{1-3} и P_{2-4} , являясь разностью двух независимых косвенных определений, может рассматриваться в качестве численной меры неоднозначности построений.

Таким образом, критерий достоверности изучения признака в контуре четырехугольника сети измерений может быть определен выражением:

$$K_{кр} = |P_{1-3} - P_{2-4}|. \quad (2.1)$$

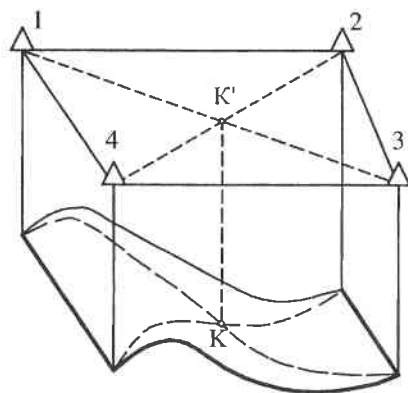


Рис. 2.1. Искусственное создание косвенных избыточных определений в контуре четырехугольной ячейки сети замеров

Предлагаемый подход, имея совершенно иное теоретическое обоснование, внешне — прежде всего в части формы оценочного блока (четырехугольника сети измерений) — напоминает подход А. И. Осецкого [30]. Поэтому следует особо выделить элементы, отличающие «красные числа» А. И. Осецкого от критерия $K_{кр}$:

- критерий А. И. Осецкого ориентирован на оценку точности определения только объема полезного ископаемого, а $K_{кр}$ — на оценку неоднозначности геометрической модели;

- «красные числа» определяются исключительно на основе применения линейной интерполяции между замерами;

- форма ячейки сети полагается исключительно правильной — квадратом, ромбом, прямоугольником, т. е. предполагает идеализацию реального характера размещения точек сети измерений.

С помощью критерия $K_{кр}$ возможна оценка неоднозначности модели любого количественно определяемого признака. Метод интерполяции, используемый при расчетах критериев $K_{кр}$, должен по точности соответствовать методу, использованному при построении модели размещения признака. Однако возможно применение критерия и в случае, когда эти методы существенно различны по точности, но известно соотношение их погрешностей f :

$$f = \frac{m_M}{m_K}, \quad (2.2)$$

где m_M — погрешность метода, использованного при построении модели; m_K — погрешность метода интерполяции, примененного при расчете критерия $K_{кр}$.

Зная f , можно откорректировать рассчитанные значения критериев так, чтобы они отражали точность фактически используемого метода построения модели:

$$K_{кр} = f \cdot |P_{1-3} - P_{2-4}|. \quad (2.3)$$

Естественно, что формула 2.3 получена из весьма вероятного допущения о том, что отношение погрешностей методов интерполяции равно отношению степеней неоднозначностей построенных с их помощью геометрических моделей.

Расчет погрешностей m_M и m_K имеет научно-исследовательский характер, разово выполняется на стадии апробации нового метода моделирования и производится на основе сравнения данных разведки и эксплуатации с последующим распространением результатов на аналогичные геологические образования. Например, на рис. 2.2 приведен фрагмент трех вариантов плана изомощностей пласта 10 (поле шахты «Пионерка»), построенных по данным скважинных измерений с применением линейной интерполяции (рис. 2.2,а) и точечного крайгинга (рис. 2.2,б), а также по данным горных работ (рис. 2.2,в). Предположим, что итоговую модель изомощностей предполагается строить с помощью крайгинга, а расчет критериев $K_{кр}$ — с помощью линейной интерполяции. Для определения погрешностей m_M и m_K на планы накладывается одна и та же квадратная сетка узлов (положение каждого узла обозначено на рис. 2.2 окружностью) с расстоянием между узлами 50 м. Общее число узлов не должно быть менее 30. В каждом узле сетки определяются три значения признака: по данным интерполяции, с помощью которой рассчитываются критерии (в примере — линейной — $P_{ли}$), по данным интерполяции, использованной при построении модели (в примере — крайгинга — $P_{ми}$) и горных работ ($P_{гп}$). Результаты определений заносятся в табл. 2.1, в которой в колонки 5 и 7 записываются вычисленные разности данных горных работ и данных, полученных с помощью различных методов интерполяции, а в колонках 6 и 7 — соответственно их квадраты. Затем определяются суммы и среднеарифметические значения чисел по колонкам 6–8 (строки «Сумма» и «Среднее»). Их буквенные обозначения приведены в табл. 2.1.

Естественно, что m_K характеризует погрешность метода интерполяции, примененного при расчете критерия $K_{кр}$, а m_M — погрешность мо-

дели. Однако поскольку значения m_k и m_m определяются по конечному числу наблюдений, то различие в их значениях может быть связано со случайными причинами, т. е. статистически они могут рассматриваться как одинаковые и коэффициент пересчета f следует принимать равным единице. Поэтому перед вычислением f проверяется гипотеза о равенстве значений средних погрешностей m_k и m_m .

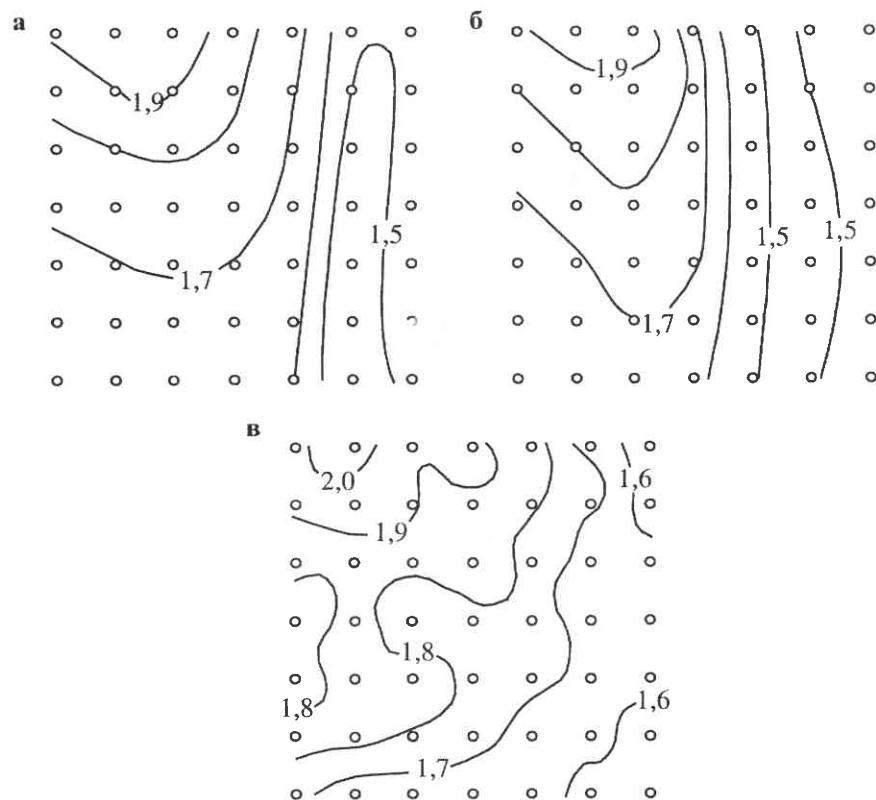


Рис. 2.2. Изомощности пласта 10, построенные по данным разведки (с помощью линейной интерполяции – а, крайгинга – б и эксплуатации – в)

Таблица 2.1

Оценка точности методов построения модели

Номер узла	Данные разведки		Данные эксплуатации, P_z	$ P_k - P_z $	$(P_k - P_z)^2$	$ P_m - P_z $	$(P_m - P_z)^2$
	линейная (P_k)	крайгинг P_m					
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,93	1,89	1,98	0,05	0,0025	0,09	0,0081
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
49	1,54	1,53	1,59	0,05	0,0025	0,06	0,0036
Сумма				4,93	0,7656	6,05	1,2336
Среднее				0,100 (m_k)	0,0156 (S_k)	0,123 (m_m)	0,0252 (S_m)

Учитывая, что число узлов n постоянно для обоих сопоставляемых методов интерполяции, применяемый статистический критерий Z рассчитывается по формуле:

$$Z = \frac{|m_m - m_k|}{\sqrt{\frac{\sigma_k^2 + \sigma_m^2}{n}}}, \quad (2.4)$$

где σ_k – среднее квадратическое отклонение разностей фактических и расчетных значений признака в узлах при использовании метода интерполяции, применяемого при вычислениях критериев разведанности;

σ_m – среднее квадратическое отклонение разностей фактических и расчетных значений признака в узлах при использовании метода интерполяции, применяемого при создании геометрической модели.

Значение σ_j удобно рассчитывать по известной формуле:

$$\sigma_j = \sqrt{S_j - m_j^2}.$$

Для условий рассматриваемого примера значения среднее квадратических отклонений составляют:

$$\sigma_m = \sqrt{S_m - m_m^2} = \sqrt{0,0262 - 0,123^2} = 0,105 \text{ (м)},$$

$$\sigma_k = \sqrt{S_k - m_k^2} = \sqrt{0,0156 - 0,100^2} = 0,075 \text{ (м)}.$$

Следовательно:

$$Z = \frac{|0,100 - 0,123|}{\sqrt{\frac{0,075^2 + 0,105^2}{49}}} = 2,15.$$

Если значение Z превышает величину 1,64, то с вероятностью 0,95 можно утверждать, что погрешности обоих рассматриваемых методов интерполяции равны друг другу. Отсюда, для условий примера, можно утверждать, что модели пространственного размещения мощности угольного пласта, выполненные с помощью точечного крайгинга и линейной интерполяции, равноточны. В силу этого коэффициент f равен единице, а критерии разведанности, рассчитанные с помощью линейной интерполяции, вполне применимы для оценки однозначности модели, построенной методами точечного крайгинга.

Аналогичные исследования, проведенные при изучении точности изучения зольности пласта Пленовского, также продемонстрировали статистическую равноточность линейной интерполяции (средняя погрешность 3,9 % в абсолютных единицах измерения зольности) и крайгинга (средняя погрешность 3,0 %).

Отметим, что вывод о равноточности крайгинга и традиционных моделей в условиях угольных месторождений не является новым. К аналогичным выводам ранее пришли исследователи США [64] и Германии [68]. По-видимому, данное обстоятельство связано с особенностями строения угольных пластов, представляющих собой суперпозицию отдельных угольных линз [66] и, как следствие, в принципе не обеспечивающих процедуры крайгинга необходимым количеством наблюдений в пределах отдельных однородных угольных образований (порядка 400 [67] — 1000 [69] пар замеров для построения исходной поливариограммы).

Помимо правильной сетки, при оценке погрешностей m_k и m_m может применяться нерегулярная сетка узлов. В ее качестве используются имеющиеся точки замеров значений геометризруемого признака в горных выработках (места производства маркшейдерских замеров, геологических зарисовок, отбора проб). В этом случае отпадает необходимость в предварительном построении фактической топоповерхности изучаемого признака. Однако при использовании этого подхода необходимо обеспечить хотя бы приближенную статистическую равномерность размещения узлов нерегулярной сетки по площади участка сопоставления данных.

Таким образом, предлагаемый подход к дифференциальной оценке неоднозначности геометрических моделей, основанный на создании косвенных избыточных определений в четырехугольнике сети замеров путем интерполяции значений признака вдоль его диагоналей, применим и в случае, когда собственно процесс моделирования не предполагает производства интерполирования между отдельными парами замеров и производится методами крайгинга, аппроксимацией различными аналитическими функциями, методом блуждающего окна и т. д.

2.2. Оценка неоднозначности модели гипсометрии угольного пласта (лямбда-критерий разведанности гипсометрии)

Гипсометрия угольного пласта является одним из наиболее значимых горно-геологических факторов, во многом определяющим способ и технологическую схему добычи угля, достигаемые технико-экономические показатели работы горного предприятия и полноту извлечения полезного ископаемого из недр. В отличие от других характеристик пласта, таких как нормальная мощность, зольность, теплота сгорания и иных показателей качества угля (построение топофункций которых выполняется достаточно формализованно и допускает применение линейной интерполяции), высотные отметки пласта изменяются явно не по линейному закону, и восстановление топофункции отметок производится при низкой степени формализации, связанной во многом с наличием выявленных дизъюнктивных дислокаций [49]. Поэтому, хотя теоретически расчет критерия разведанности как оператора преобразования возможен и при линейном способе интерполяции отметок вдоль диагоналей четырехугольной ячейки сети замеров (с использованием формулы 2.3), применение линейной интерполяции при оценке неоднозначности модели гипсометрии пласта является нежелательным, поскольку коэффициент пересчета f в этом случае будет, несомненно, непостоянен для объектов различной геологической сложности (например, для моноклинальных и складчатых структур). Следовательно, при расчете критериев разведанности гипсометрии целесообразно применять методы интерполирования, равноточные традиционным эвристическим методам.

Для выбора вида наиболее приемлемой интерполяционной функции вновь обратимся к теории геохимического поля П. К. Соболевского. В соответствии с ней геополе должно обладать свойством плавности. По-видимому, данное свойство правомерно интерпретировать

как требование к минимально возможной кривизне описывающих его поверхностей, а следовательно, и к минимизации значений вторых производных интерполяционной функции. В наибольшей степени данным требованиям отвечают сплайн-функции, которые, согласно теореме Холлидейна, минимизируют интеграл от квадратов вторых производных [1]. Интересно отметить, что потенциальная энергия, затрачиваемая на деформирование физического тела, например балки, пропорциональна именно интегралу от квадратов кривизны ее деформированной оси.

Следовательно, минимизация интеграла квадратов вторых производных эквивалентна, по сути дела, минимизации потенциальной энергии. А принцип минимума потенциальной энергии последнее время рассматривается в качестве всеобщего закона природы (принцип Гамильтона — «все взаимодействия в природе происходят при минимальных затратах потенциальной энергии»). Нетрудно заметить, что постулированные П. К. Соболевским свойства геополя имеют более глубокую физическую основу, чем это может показаться на первый взгляд, а сама теория геохимического поля далеко не исчерпала себя в качестве конструктивной основы не только геометрии недр, но и геоинформатики, вобравшей в себя наиболее конструктивные ее элементы.

Таким образом, в качестве рабочей гипотезы о виде интерполяционной функции, применимой при интерполяции высотных отметок пласта в межзамерном пространстве, может быть принято предположение об использовании для этих целей кубической сплайн-функции. Если имеются два удаленных друг от друга на горизонтальное расстояние R замера (A и B — рис. 2.3), в которых известны значения высотных отметок (Z_A и Z_B) и углы падения пласта (δ_A и δ_B), то значение высотной отметки пласта в промежуточной точке C (удаленной от точки A на расстояние L) может быть рассчитано по следующей инженерно преобразованной формуле:

$$Z_C = [F_1(x)T(\delta_A) - F_2(x)T(\delta_B)] R + (Z_A - Z_B) F_3(x) + Z_A, \quad (2.5)$$

где $x = \frac{L}{R}$;

$$F_1(x) = (1 - x)^2 x;$$

$$F_2(x) = (1 - x) x^2;$$

$$F_3(x) = (3 - 2x) x^2.$$

$T(\delta)$ — тангенс угла падения пласта по направлению линии разреза, причем если направление падения пласта совпадает с направлением

оси «Расстояние» (рис. 2.3), то тангенс берется со знаком «минус», в противном случае — со знаком «плюс» (см. примеры на рис. 2.4).

Поскольку возможность использования кубического сплайна для расчета критериев разведанности определяется точностью описания им положения пласта на разрезе, то с целью изучения погрешности сплайн-интерполяции производилось сопоставление данных горных работ с материалами геологоразведки [4].

Для этого были использованы профили горных работ по трем угольным разрезам Кузбасса: «Бачатский», «Сибиргинский» и «Краснобродский», а также практически совпадающие с ними по положению геологические разрезы (максимальное расстояние между ними по простиранию пласта не превышало 5 м). По этим материалам выбирались отработанные участки пластов, подсеченные минимум двумя скважинами. В ходе исследования было выделено 58 таких участков, из которых 51 относился к углеразрезам наивысшей группы сложности. Для каждого участка производилась сплайн-интерполяция высотных отметок и определялись максимальные отклонения фактического положения пласта от положений, установленных в ходе традиционных геологических построений и сплайн-интерполяции.

Полученные результаты, графически представленные на рис. 2.5, указывают на наличие между отклонениями тесной (коэффициент корреляции $r = 0,81$) и надежной (коэффициент надежности корреляции $\mu = 17,5$) корреляционной связи. Однако приведенное на рисунке

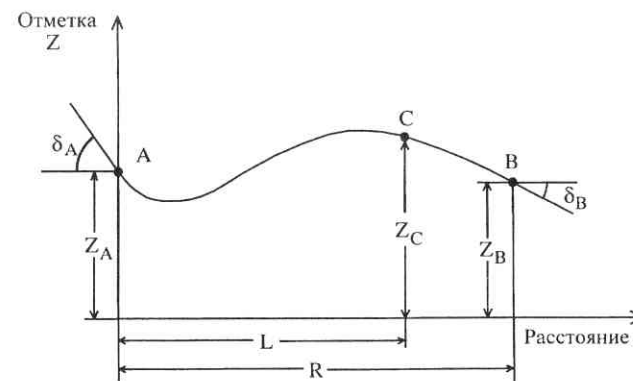


Рис. 2.3. Сплайн-интерполяция высотных отметок пласта в межзамерном пространстве

уравнение связи указывает лишь на незначительное преимущество сплайн-интерполяции в плане точности, т. е. на их равноточность.

Поэтому расчет критерия разведанности гипсометрии пласта, который впредь будет именоваться ламбда-критерием, может производиться по формуле:

$$\lambda_B = [F_1(x)T(\delta_1') - F_2(x)T(\delta_3')]R + (Z_3 - Z_1)F_3(x) + Z_1 - [F_1(x')T(\delta_2') - F_2(x')T(\delta_4')]R' - (Z_4 - Z_2)F_3(x') - Z_2, \quad (2.6)$$

где R, R' — горизонтальные длины диагоналей 1-3 и 2-4 четырехугольника сети замеров (рис. 2.6);

L, L' — горизонтальные расстояния от замеров 1 и 2 до точки пересечения диагоналей K ;

δ_j' — угол падения пласта в точке производства j -го замера в направлении примыкающей к ней диагонали;

Z_j — высотная отметка пласта в точке производства j -го замера.

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

$$\delta_j' = \arctg(\tg \delta_j \cdot \cos \Delta A_j), \quad (2.7)$$

где δ_j — угол падения пласта в точке производства j -го замера;

ΔA_j — острый угол между направлением диагонали и направлением линии падения пласта.

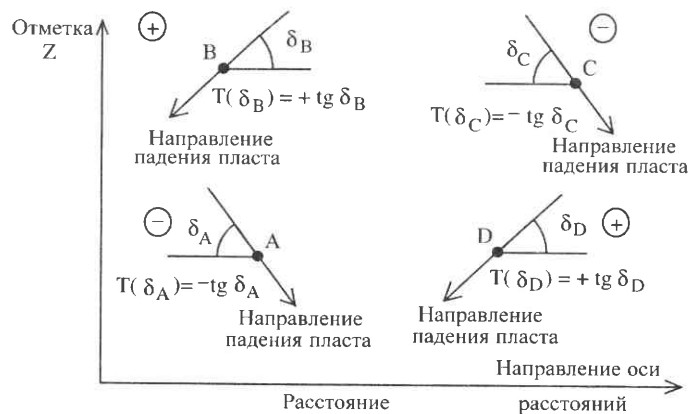


Рис. 2.4. Определение значений функции $T(\delta)$

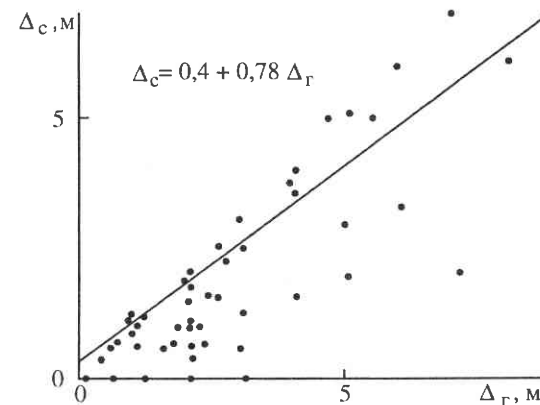


Рис. 2.5. Взаимосвязь погрешностей сплайн-интерполяции отметок (Δ_c) и погрешности традиционных геологических построений (Δ_r)

Ламбда-критерий, как это следует из формулы 2.6, оценивает неоднозначность построений гипсометрии пласта в направлении вертикали. По-видимому, такой подход не всегда справедлив, поскольку для не горизонтально залегающих пластов, особенно для пластов крутого залегания, одна и та же вертикальная неопределенность в положении пласта (λ_B) приводит к различным смещениям в положении пласта на разрезе (рис. 2.6).

Поэтому гораздо более приемлемой представляется оценка неоднозначности моделей гипсометрии не в вертикальном, а в нормальном к пласту направлении. Как показал специальный опрос [34] главных маркшейдеров и геологов всех шахт Кузбасса, такой подход совпадает с их представлениями и отвечает практическим требованиям угледобывающих предприятий.

При известном угле падения пласта (δ_K) в точке K пересечения диагоналей четырехугольника сети замеров значение ламбда-критерия в нормальном к пласту направлении вычисляется по формуле:

$$\lambda = \lambda_\theta \cos \delta_K. \quad (2.8)$$

Значение угла δ_K в точке K может быть определено через значения углов падения пласта в этой же точке по двум диагоналям (δ_{1-3} — для диагонали 1–3 и δ_{2-4} — для диагонали 2–4).

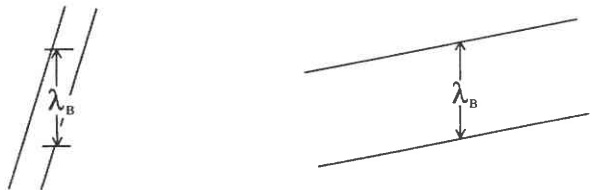


Рис. 2.6. Размеры зон неоднозначности в положении пластов с различными углами падения при постоянном уровне вертикальной неопределенности λ_B

Для условий сплайн-интерполяции функции $T(\delta)$, описанные в формуле 2.5, равны:

$$T_{1-3} = (1 - 4x + 3x^2)T(\delta_1') - (2x - 3x^2)T(\delta_3') + \frac{6}{R}(Z_3 - Z_1)(1 - x)x,$$

$$T_{2-4} = (1 - 4x' + 3(x')^2)T(\delta_2') - (2x' - 3(x')^2)T(\delta_4') + \frac{6}{R}(Z_4 - Z_2)(1 - x')x'. \quad (2.9)$$

Практически решение задачи по определению δ_K сводится к известной задаче об определении угла падения плоскости по известным углам ее падения в двух не параллельных направлениях. Аналитически ее решение может быть произведено по известным формулам [5]:

$$\operatorname{ctg} \alpha_K = \frac{\operatorname{ctg} \delta_{1-3} \cos \alpha_{1-3} - \operatorname{ctg} \delta_{2-4} \cos \alpha_{2-4}}{\operatorname{ctg} \delta_{1-3} \sin \alpha_{1-3} - \operatorname{ctg} \delta_{2-4} \sin \alpha_{2-4}}, \quad (2.10)$$

$$\operatorname{ctg} \delta_K = \operatorname{ctg} \delta_{1-3} \sin(\alpha_{1-3} - \alpha_K), \quad (2.11)$$

$$\text{где } \operatorname{ctg} \delta_{1-3} = \frac{1}{|T_{1-3}|};$$

$$\operatorname{ctg} \delta_{2-4} = \frac{1}{|T_{2-4}|};$$

α_{1-3} , α_{2-4} — дирекционные углы направлений диагоналей четырехугольника сети замеров; если $T_{1-3} < 0$, то в качестве α_{1-3} принимается дирекционный угол направления 1–3, в противном случае 3–1; если $T_{2-4} < 0$, то в качестве α_{2-4} принимается дирекционный угол направления 2–4, в противном случае 4–2.

2.3. Сбор и обработка исходных данных для расчета лямбда-критериев разведанности гипсометрии пласта

Основными исходными данными для расчета лямбда-критериев разведанности гипсометрии пласта служат подсчетные (структурные) планы пластов и геологические разрезы по разведочным линиям. Кроме того, при производстве оценки в контурах, прилегающих к границе горных работ, используются данные по отдельным шахтным геологическим замерам и зарисовкам.

Для пологих (угол падения до 18°), наклонных ($19-35^\circ$) и части крутонаклонных ($36-55^\circ$) пластов подсчетные планы выполняются в проекции на горизонтальную, а для крутых ($56-90^\circ$) и отдельных крутонаклонных пластов — на вертикальную плоскость. На подсчетных планах показываются (рис. 2.8): координатная сетка (в виде квадратов размером 10×10 см), изогипсы пласта (сплошными линиями с цифровым указанием их отметки, обычно предваряемым сокращением «гор.»), оси складок (штрих-пунктирными линиями), устья скважин (двойными окружностями), точки плаstopодсечений (точки пересечения стволов скважин с почвой пласта — кружки черного цвета) и другие графико-числовые характеристики, не используемые при расчетах лямбда-критериев.

Для вертикальных скважин точка плаstopодсечения совпадает в плане с устьем скважины (скважина 2772 на рис. 2.7), а для наклонных скважин — не совпадает (скважина 6137 на рис. 2.7). В последнем случае точка плаstopересечения соединяется с устьем пунктирной линией (теоретически эта линия должна отображать проекцию оси скважины, однако фактически она, как правило, имеет просто характер условного знака). Рядом с каждой точкой плаstopодсечения выписываются номер скважины, отметка плаstopодсечения (т. е. почвы пласта) в Балтийской системе высот, общая нормальная мощность пласта и зольность пласта при 100%-м засорении породными прослоями, нормальная мощность чистых угольных пачек и их зольность (рис. 2.7). В некоторых случаях значения зольности на подсчетный план не выносятся. Если пласт простого строения (без прослоев), то он имеет, естественно,

только одно значение зольности и нормальной мощности (скважина 6137 на рис. 2.7). Важной информацией, помещаемой на плане подсчета запасов, является отметка об использовании данных о мощности и зольности при подсчете запасов. Если результаты измерений использованы при подсчете запасов, то их значения обводятся двойной прямоугольной рамкой (скважина 2772 на рис. 2.7), в противном случае используется одинарная рамка (скважина 6137 на рис. 2.7). В отдельных случаях не принятые в подсчет запасов данные не обрамляются вообще, а принятые в подсчет обводятся одинарной рамкой.

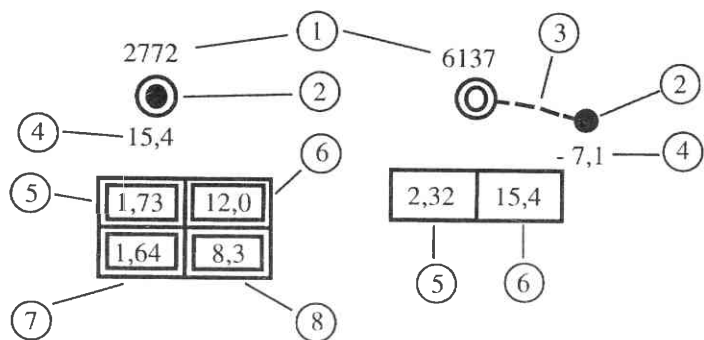


Рис. 2.7. Информация о результатах измерений в скважинах, выносимая на подсчетный (структурный) план:

- 1 — номер скважины; 2 — плановое положение точки пластоподсечения; 3 — проекция буровой трассы; 4 — высотная отметка почвы пласта; 5 — общая мощность пласта; 6 — зольность пласта при 100%-м его засорении породными прослоями; 7 — мощность угольных пачек; 8 — зольность чистых угольных пачек

Полное исключение результатов измерений мощности из подсчета запасов, то есть неучет их при выводе средних мощностей по подсчетным блокам, может иметь две причины. Первая состоит в том, что исключаемый замер, по мнению авторов подсчета запасов, вполне надежен, но пласт имеет данную мощность или зольность на весьма ограниченном участке. Принадлежность замера к данному типу далеко не всегда очевидна, исключение составляют, пожалуй, лишь замеры, попавшие в зону действия разрывных нарушений, аномальные значения которых связаны со «сдвоением» пласта из-за перекрытия, его подворотом, обрезом и так далее. Вторая причина состоит в том, что сам

результат измерения подвергается сомнению как произведенный с грубыми ошибками.

Приведенные на рис. 2.7 обозначения несколько различаются для различных бассейнов и даже месторождений, особенно в старой документации. На рисунке приведены условные знаки, характерные для Кузбасса.

Расчет лямбда-критерия начинается с выделения контура оценочного четырехугольника сети замеров (скважины 3975 — 3597 — 3094 — 3246 на рис. 2.8). После этого прочерчиваются его диагонали (пунктирные линии на рис. 2.8), попарно соединяющие пластоподсечения, и определяется положение точки их пересечения К. Подсечениям присваиваются условные номера от 1 до 4 (цифры в окружностях на рис. 2.8). Затем производятся измерения длин диагоналей 1-3 (между подсечениями 3975 и 3094 — $R = 502$ м) и 2-4 (между подсечениями 3597 и 3246 — $R' = 497$ м), а также расстояний от начальных скважин обеих диагоналей с условными номерами 1 (3975) и 2 (3597) до точки $K - L = 303$ м и $L' = 305$ м.

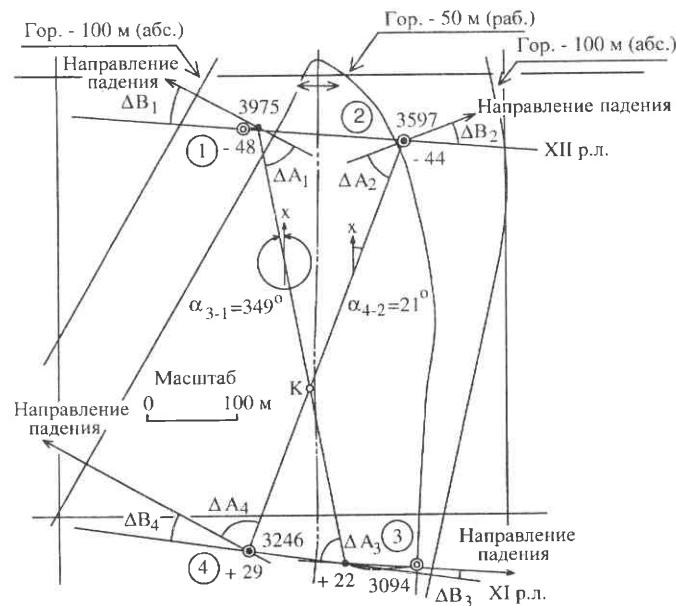


Рис. 2.8. Работа с подсчетным планом по сбору данных для ручного расчета лямбда-критерия

После этого устанавливаются направления падения пластов в точках производства замеров. Проведение этих направлений осуществляется на подсчетном плане, гипсометрия которого отстроена при рациональном сечении изогипс (методика проверки рациональности сечения будет рассмотрена ниже), путем проведения из точки замера перпендикуляра к ближайшей изогипсе. Его построение может производиться на глаз или с помощью зеркала (рис. 2.9). При этом зеркало вертикально устанавливается на центр рассматриваемого замера A и производится его вращение вокруг этой точки до тех пор, пока реальное и отраженное изображение изогипсы в точке E не сольются в единую плавную кривую, не имеющую в точке E излома. Это положение грани зеркала соответствует направлению линии падения, которая и прочерчивается, используя зеркало как линейку.

После завершения построений линий падения, для каждого подсечения измеряются острые углы ΔB_j между направлениями падения и линиями разрезов по разведочным линиям. Для условий рис. 2.8 они равны: $\Delta B_1 = 25^\circ$; $\Delta B_2 = 24^\circ$; $\Delta B_3 = 4^\circ$; $\Delta B_4 = 21^\circ$. Значения углов ΔB_j необходимы для определения «истинных» углов падения пласта по углам падения, измеряемым по геологическим разрезам разведочных линий. Измеряются также и острые углы ΔA_j между направлениями диагоналей четырехугольного блока и направлениями падения (по результатам измерений эти углы равны: $\Delta A_1 = 51^\circ$; $\Delta A_2 = 47^\circ$; $\Delta A_3 = 72^\circ$; $\Delta A_4 = 82^\circ$).

Используя правило, иллюстрированное рис. 2.4, устанавливаются знаки функций $T(\delta_j)$. Для $T(\delta_1)$, $T(\delta_2)$ и $T(\delta_4)$ это «+» (направление диагонали, т. е. направление от замера с меньшим условным номером к замеру с большим условным номером, и направление падения пласта в точке измерений не согласны), а для $T(\delta_3)$ — «-» (направления диагонали и падения согласны).

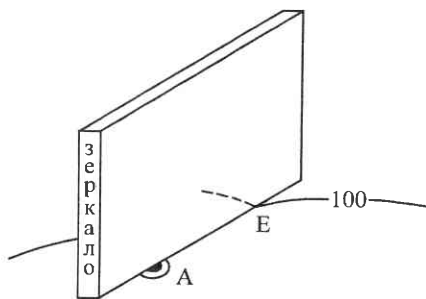


Рис. 2.9. Построение линии падения пласта

После этого обращаются к геологическим разрезам по разведочным линиям и измеряют по ним углы падения пласта δ_{aj} в точках плаstopодсечений (как углы между касательными к пласту и горизонтальными линиями или, при применении зеркала, как углы между перпендикулярами к пласту и вертикальными линиями). В результате измерений углы δ_{aj} составили: $\delta_{a1} = 21^\circ$; $\delta_{a2} = 25^\circ$; $\delta_{a3} = 5^\circ$; $\delta_{a4} = 12^\circ$.

На геологическом разрезе, рядом со структурной колонкой по скважине, напротив точек измерений, приводятся значения измеренных углов напластования пород (например, угол 10° в кровле пласта Верхнего по скважине 3094 на рис. 2.10), т. е. углов наклона плоскостей контактов пород относительно оси керна.

Следует помнить, что эти углы далеко не всегда равны углам падения угольных пластов и, кроме того, не всегда известна пространственная ориентировка линий падения слоев пород по керну (т. е. данный угол может иметь в плоскости заданного разреза совершенно иное значение).

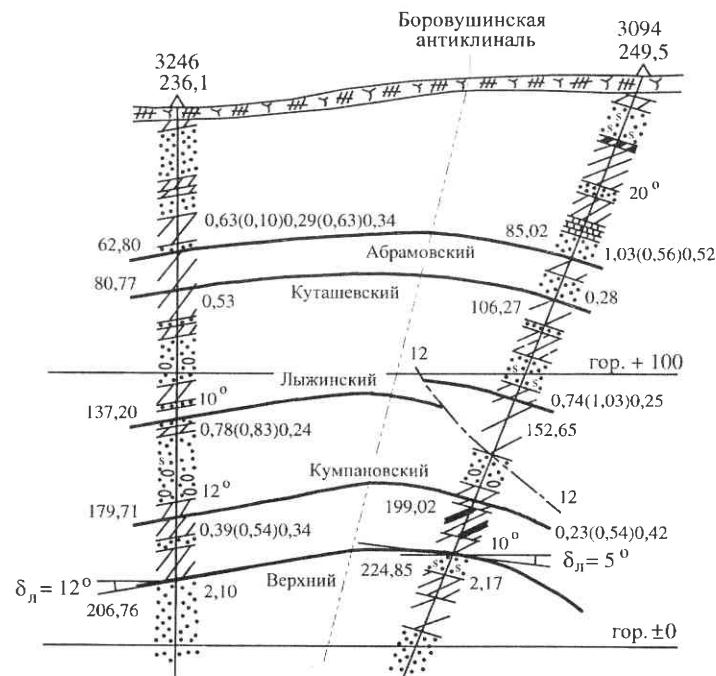


Рис. 2.10. Фрагмент геологического разреза по XI р. л.

Зная углы ΔB_j и $\delta_{\text{лп}}$, по формуле:

$$\delta_j = \arctg \frac{\text{tg } \delta_{\text{лп}}}{\cos \Delta B_j} \quad (2.12)$$

рассчитываются «истинные» углы падения пласта в точках замера (т. е. углы в направлении линий падения пласта). Для условий рис. 2.8 они равны:

$$\delta_1 = \arctg (\text{tg} 21^\circ / \cos 25^\circ) = \arctg (0,384 / 0,906) = \arctg (0,424) = 23^\circ;$$

$$\delta_2 = \arctg (\text{tg} 25^\circ / \cos 24^\circ) = \arctg (0,466 / 0,914) = \arctg (0,510) = 27^\circ;$$

$$\delta_3 = \arctg (\text{tg} 5^\circ / \cos 4^\circ) = \arctg (0,087 / 0,998) = \arctg (0,087) = 5^\circ;$$

$$\delta_4 = \arctg (\text{tg} 12^\circ / \cos 21^\circ) = \arctg (0,213 / 0,934) = \arctg (0,228) = 13^\circ.$$

Помимо скважин, входящих в состав разведочных линий, существуют и отдельно расположенные скважины (рис. 2.11), определение угла падения пласта в которых, в силу отсутствия отстроенного геологического разреза, осуществить вышеописанным способом невозможно.

В данной ситуации поступают следующим образом (рис. 2.12). Через точку пластоподсечения (точку S на рисунке) проводится перпендикулярно ближайшей изогипсе линия падения пласта MF , по которой строится совмещенный с планом разрез. Линия MF проводится таким образом, чтобы она пересекала две-четыре изогипсы. Для построения разреза линия MF принимается за горизонт одной из пересекаемых ею изогипс (горизонт ± 0 м на рисунке) и на ней помечаются точки ее пересечения с изогипсами плана (точки A, B, C и D). Для всех i -х точек определяется разность ΔZ_i их высотных отметок (соответствующих отметкам форми-

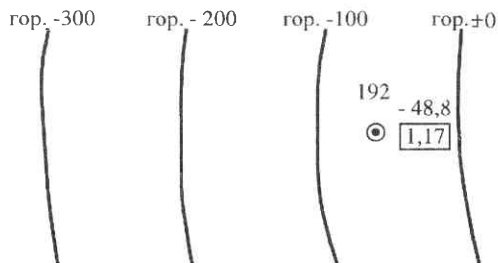


Рис. 2.11. Фрагмент подсчетного плана пласта XXI поля шахты «Березовская»

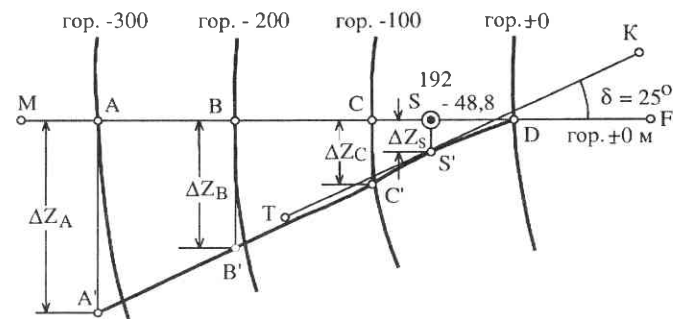


Рис. 2.12. Построение совмещенного разреза для определения угла падения пласта по отдельно расположенной скважине

рующих их изогипс) и отметки условного горизонта линии MF . Аналогичная разность рассчитывается и для самого пластоподсечения, положение которого обозначено на линии MT точкой S .

Для условий рис. 2.12: $\Delta Z_A = 300$ м; $\Delta Z_B = 200$ м; $\Delta Z_C = 100$ м; $\Delta Z_D = 0$ м и $\Delta Z_S = 49$ м. Затем величины ΔZ_i откладываются в масштабе плана из соответствующих точек перпендикулярно MT — в результате на совмещенном разрезе отмечаются точки A', B', C', D' и S' , через которые проводится плавная кривая, описывающая положение почвы пласта в разрезе по линии падения. На заключительном этапе работы через точку S' проводится касательная к кривой $A' - B' - C' - S' - D'$ линия KT . Угол между KT и MT равен углу падения пласта δ в точке пластоподсечения S .

Отметим, что компьютерные алгоритмы процесса построения совмещенных разрезов рассмотрены в главе 5.

Для упрощения процесса определения углов δ_j по формуле 2.12 целесообразно использовать палетку-номограмму, изготавливаемую на прозрачной основе (рис. 2.13).

Для пересчета угла падения пласта $\delta_{\text{лп}}$, измеренного на разрезе по разведочной линии, в его значение по направлению линии падения, палетка-номограмма накладывается на подсчетный план так, чтобы начало координат (точка M) совпадало с точкой замера, а ось MP — с направлением линии падения пласта (рис. 2.14). По оцифрованной шкале углов (расположенной вдоль оси MP) отыскивается точка A , положение которой соответствует значению угла $\delta_{\text{лп}}$ по разведочной линии (24° в примере на рис. 2.14). Из A восстанавливается перпендикуляр к MP до пересечения с линией геологического разреза в точке K .

Путем проектирования положение точки K на шкалу углов параллельно криволинейным шкалам номограммы определяется положение точки B (на рис. 2.14 линия переноса показана пунктирной линией). Отсчет по шкале углов в точке B соответствует значению «истинного» угла падения δ_j .

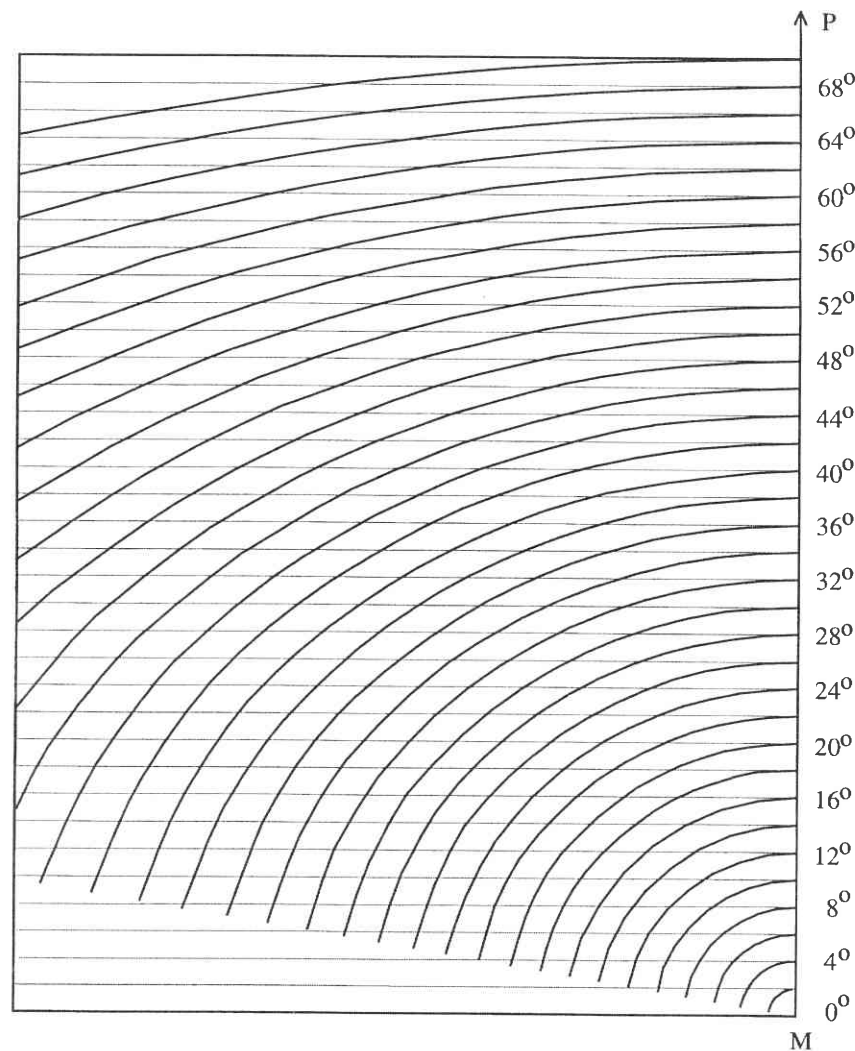


Рис. 2.13. Палетка-номограмма для определения углов падения

Следует особо подчеркнуть, что описанная методика определения значения угла падения пласта в точке пластоподсечения должна применяться даже в случаях, когда в скважинах произведены инструментальные измерения углов падения (с помощью ориентированного керна, наклонотриеметрии, теле- и фотосъемки скважин). Это связано с тем, что в процессе оценки достоверности оценивается неоднозначность модели гипсометрии, и поэтому используемые при расчетах значения углов падения должны обязательно соответствовать этой модели (даже в случае, когда известны действительные значения данных углов).

По завершении работы с углами в подсчетного плана выписываются значения высотных отметок пластоподсечений Z_j . Для условий рассматриваемого примера они равны (рис. 2.8):

$$Z_1 = -48 \text{ м}; \quad Z_2 = -44 \text{ м}; \quad Z_3 = +22 \text{ м}; \quad Z_4 = +29 \text{ м}.$$

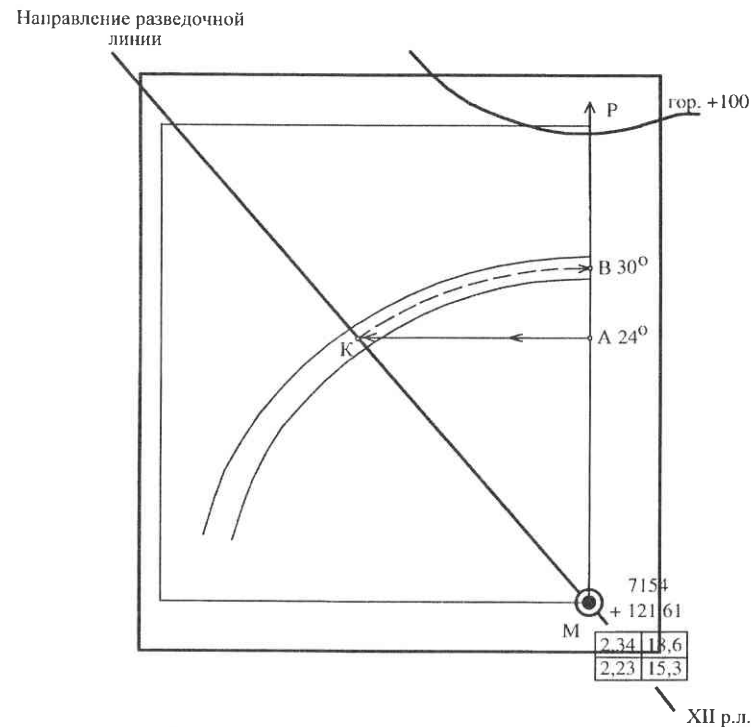


Рис. 2.14. Порядок использования палетки-номограммы

Однако, к сожалению, подсчетные планы содержат значительное число цифровых ошибок и описок. Поэтому необходимо производить контроль указанных значений высотных отметок.

Контроль выполняется поэтапно. На первом этапе анализируется соответствие указанных отметок подсечений и показанных на плане изогипс почвы пласта (горизонтов) или осей складок.

Таким способом выявляются наиболее грубые ошибки. Например, в случае, когда между изображенными горизонтами «-100 м» и «-200 м» неожиданно появляется пластоподсечение с отметкой +145 м. Применительно к рис. 2.8 такой визуальный контроль приводит к возникновению сомнений относительно правильности отметок по пластоподсечениям скважин 3246 и 3094.

Первое из них расположено выше, чем второе, несмотря на то, что оно значительно дальше удалено от оси складки (наиболее «высокого» места пласта в сечении по разведочной линии, пройденной вкрест простиранию). На втором этапе контроль отметок производится с помощью геологических разрезов. При его выполнении высотные отметки пластоподсечений определяются графически путем измерения расстояния ΔZ от линии горизонта до почвы пласта в точке подсечения. Так, для рассматриваемого примера (рис. 2.15) $\Delta Z = 38$ м. Поскольку измерения производились от горизонта « ± 0 м», то ожидаемая отметка пластоподсечения по скважине 3094 составляет +38 м, а не +22 м, как указано на подсчетном плане. Кроме того, так как на геологическом разрезе указаны высотные отметки устьев скважин и глубины пластоподсечений, то возможна и арифметическая проверка отметок последних. Например, отметка устья вертикальной скважины 3246 составляет 236,1 м, а глубина подсечения пласта Верхнего 206,76 м. Тогда отметка подсечения составляет: $236,1 \text{ м} - 206,8 \text{ м} = 29,3 \text{ м}$, т. е. соответствует приведенному на подсчетном плане. Аналогичные отметки и глубины по наклонным скважинам использовать несколько сложнее. Ориентировочное значение отметки подсечения может быть оценено по формуле:

$$Z = Z_y - H \cos \Theta, \quad (2.13)$$

где Z_y — высотная отметка устья скважины;

H — глубина пластоподсечения;

Θ — средний зенитный угол ствола скважины (угол между осью ствола скважины и вертикалью).

Для рассматриваемого примера по скважине 3094:

$$\begin{aligned} Z &= 249,5 - 224,85 \cos(200,5) = 249,5 - 224,85 \cdot 0,937 = \\ &= 249,5 - 210,7 = 38,8 \text{ м.} \end{aligned}$$

Таким образом, для четырехугольника сети скважин, показанного на рис. 2.8, отметки подсечений равны:

$$Z_1 = -48 \text{ м}; \quad Z_2 = -44 \text{ м}; \quad Z_3 = +38 \text{ м}; \quad Z_4 = +29 \text{ м}.$$

При проведении контрольных работ необходимо иметь в виду, что любые приведенные на чертежах цифры могут быть указаны с описками, тогда как в положении пласта на разрезах и изогипс на планах «описки» совершить в принципе невозможно.

При наличии по участку наклонных и искривленных скважин значительной глубины целесообразно осуществить повторную обработку результатов их инклинометрической съемки (например, с помощью специальной программы [50] для ЭВМ). Это вызвано тем, что фактически такая обработка часто ведется упрощенным графическим способом, приводящим к дополнительным, легко избегаемым погрешностям в плановом положении пластоподсечений. Эти погрешности достигают в среднем 30–50 м для скважин глубиной порядка 500–600 м (т. е. составляют 5–10 % от глубины). Хотя повторные расчеты и необязательны с позиции оценки достоверности геометрической модели (т. к. упомянутые дополнительные погрешности автоматически приводят к снижению уровня однозначности модели), они все же полезны, поскольку позволяют не только увеличить точность данных, но и повысить качество последующих прогнозов дизъюнктивной нарушенности пласта. Кроме того, их результаты позволяют дать общую неформальную оценку инженерной культуры рассматриваемой геологоразведочной организации. Эта оценка может использоваться при принятии решения о привлечении той или иной геологической партии или экспедиции для выполнения разведочных работ.

Однако перед производством повторных расчетов необходимо убедиться в том, что инклинометрическая съемка скважины вообще выполнялась. Дело в том, что, согласно действующим инструкциям, точки съемки скважины должны располагаться через 20 м, фактически (в основном для скважин глубиной до 300–400 м) производится один-три реальных замера (в забое, в срединной части и в устье), а значения в остальных якобы существовавших точках измерений «дописываются» как результат экстраполяции или интерполяции. В отдельных случаях измерения вообще не производятся. Качественно выполненную



Рис. 2.15. Графическое определение отметки плаstopодсечения на разрезе

фальсификацию скважинных инклинометрических измерений выявить весьма трудно, однако практически она выполняется очень грубо. Этим объясняется существенно различный характер зависимости значений азимутальных углов оси скважины от ее осевой глубины для мелких (рис. 2.16,а) и глубоких (рис. 2.16,б) скважин, в которых измерения традиционно производятся тщательно. В первом случае углы почти функционально зависят от глубины, изменяются плавно и в небольших пределах. Во втором случае зависимость имеет статистический характер с последующим переходом к синусоидальным колебаниям, характерным для глубоких скважин, имеющих «винтообразную» пространственную форму.

Авторскими исследованиями, проведенными на материалах инклинометрических съемок геологоразведочных скважин Кузбасса, установлено, что при превышении зенитного угла ствола скважины $3^\circ - 5^\circ$ нерегулярные колебания значений азимутов затухают и приобретают характер закономерных изменений параболического или синусоидального типа. Причины зависимости погрешности значения азимута падения скважины от значения зенитного угла заключаются, по-видимому, во влиянии несовпадения углов падения осей скважины и прибора, степень которого может быть оценена с помощью аналитической формулы:

$$\Delta\alpha = \arccos \frac{\operatorname{tg} \Theta}{\operatorname{tg}(\Theta + \Delta\Theta)}, \quad (2.14)$$

где $\Delta\Theta$ — рассогласование зенитных углов скважины и прибора;

$\Delta\alpha$ — погрешность значения азимута, вызванная рассматриваемым рассогласованием.

При ожидаемом значении $\Delta\Theta = 30''$ погрешность $\Delta\alpha$ становится значимо (в два раза) меньше технической погрешности измерения азимутальных углов при $\Theta = 4^\circ$. Поэтому, в силу того что в среднем по Кузнецкому бассейну для вертикально забуренных скважин существует тесная корреляционная зависимость между значениями Θ (в градусах) и осевыми глубинами скважин вида

$$\Theta = 0,57 + 1,488H + 0,066H^2, \quad (2.15)$$

(где H — осевая глубина замера, сотни метров), закономерные изменения значений азимутальных углов должны наблюдаться с глубин порядка 200 м.

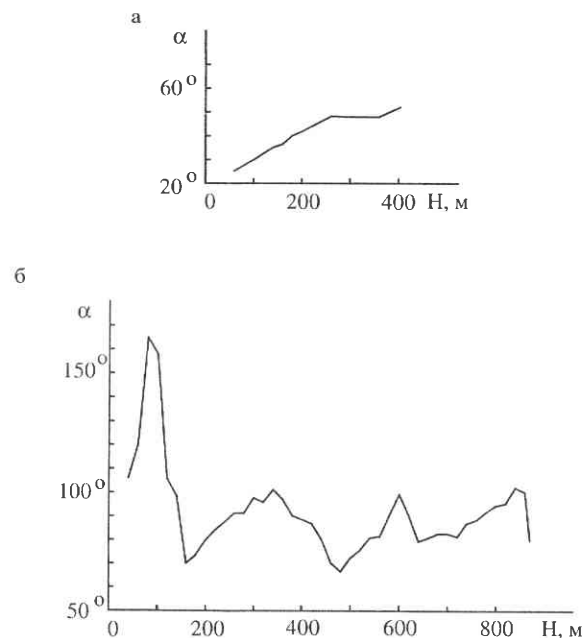


Рис. 2.16. Зависимости азимутальных углов (а) вертикально заданных скважин от осевой глубины замеров (H) для мелкой (405 м) и глубокой (870 м) скважин Анжерского района

Завершив сбор необходимых исходных данных, производится расчет лямбда-критериев разведанности оценочного блока по формуле 2.6. Расчет целесообразно осуществлять в таблице (см. табл. 2.2).

Последовательность вычислительных действий при заполнении таблицы соответствует номерам ячеек.

В графе «Формула» приводятся либо расчетные формулы, либо описывается характер действий с числами, находящимися в указываемых ячейках (например, запись «(6) · (19)» в строке 20 означает, что в нее заносится результат перемножения чисел, находящихся, соответственно, в ячейках с номерами 6 и 19).

Заполнение ячеек 1–43 обеспечивает вычисление значения лямбда-критерия в вертикальном направлении по формуле 2.6, а ячеек 44–74 – перевычисление его в нормальное к пласту направление по формулам 2.8–2.10 и несколько преобразованной формуле 2.11. При заполнении ячеек 52, 61 используются дополнительно снимаемые с подсчетного плана дирекционные углы диагоналей четырехугольника сети замеров. Для этого в произвольной точке каждой диагонали проводится линия, параллельная оси X геодезической системы координат (см. рис. 2.8), от которой в направлении движения часовой стрелки измеряется значение искомого угла. В ячейках 52 и 61, в зависимости от знаков чисел в ячейках 51 и 60 и в соответствии с комментариями к формуле 2.11, приводятся значения дирекционных углов направления 1–3 (или 3–1 – α_{3-1} или α_{1-3}) и направления 2–4 (или 4–2 – α_{2-4} или α_{4-2}). В соответствии с этими замечаниями в ячейке 51 указан дирекционный угол направления 3–1 – α_{3-1} , а в ячейке 60 – α_{4-2} . При определении величины дирекционного угла α_K линии простирания пласта в точке пересечения диагоналей K (ячейка 69) по значению его тангенса, указанного в ячейке 68, пользуются правилами, приведенными в табл. 2.3.

При вычислениях следует обратить внимание на особенность расчета величины острого угла φ между направлением падения пласта по диагонали 1–3 (ячейка 52) и направлением линии падения пласта в точке K (ячейка 70). При расчете в первую очередь определяется направление линии падения α_{Π} (указанное в ячейке 70 в виде формулы [(69) + 90°]), путем увеличения угла α_K на 90°. В рассматриваемом примере оно равно 321° (231° + 90°). Если полученная величина α_{Π} превысила бы 360°, то из результата следовало бы вычесть 360°. Например, при $\alpha_K = 311^\circ$, угол α_{Π} составил бы 311° + 90° = 401° или после вычитания 360° – 41°. После расчета величины α_{Π} определяется собственно острый угол φ между направлениями α_{Π} и направлением, указанным в ячейке 52 (α_{1-3} или α_{3-1}). При вычислении угла φ не следует забывать о специфике вычитания

углов в условиях, когда один из них находится в диапазоне от 0° до 90°, а другой – от 270° до 360° (см. примеры на рис. 2.17). Естественно, что угол φ всегда положителен.

Таблица 2.2

Расчет лямбда-критерия разведанности

Номера скважин:

1 – 3976;	2 – 3597;
3 – 3094;	4 – 3246.

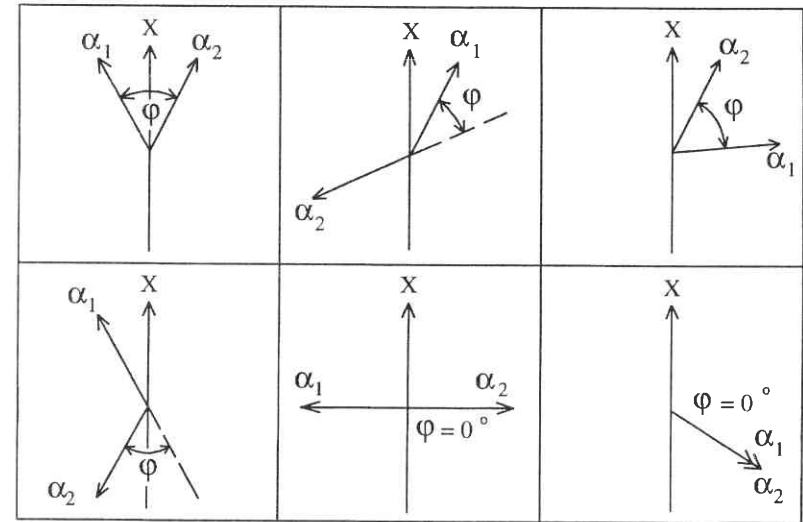
№	Формула	Число	№	Формула	Число
Диагональ 1–3			Диагональ 2–4		
1	R – расстояние 1 – 3	502	22	R' – расстояние 2 – 4	497
2	L – расстояние 1 – K	303	23	L' – расстояние 2 – K	305
3	$x = L/R$	0,603	24	$x' = L'/R'$	0,614
4	$F_1(x) = (1-x)^2x$	0,095	25	$F_1(x') = (1-x')^2x'$	0,091
5	$F_2(x) = (1-x)x^2$	0,144	26	$F_2(x') = (1-x')x'^2$	0,146
6	$F_3(x) = (3-2x)x^2$	0,652	27	$F_3(x') = (3-2x')x'^2$	0,668
7	δ_1 – угол падения	23°	28	δ_2 – угол падения	27°
8	ΔA_1	51°	29	ΔA_2	47°
9	$T(\delta'_1) = \pm \text{tg} \delta_1 \cos \Delta A_1$	+0,267	30	$T(\delta'_2) = \pm \text{tg} \delta_2 \cos \Delta A_2$	+0,347
10	δ_3 – угол падения	5°	31	δ_4 – угол падения	13°
11	ΔA_3	75°	32	ΔA_4	82°
12	$T(\delta'_3) = \pm \text{tg} \delta_3 \cos \Delta A_3$	–0,023	33	$T(\delta'_4) = \pm \text{tg} \delta_4 \cos \Delta A_4$	+0,032
13	$F_1(x) T(\delta'_1)$	+0,025	34	$F_1(x') T(\delta'_2)$	+0,032
14	$F_2(x) T(\delta'_3)$	–0,003	35	$F_2(x') T(\delta'_4)$	+0,005
15	(13) – (14)	+0,028	36	(34) – (35)	+0,027
16	(1) · (15)	+14,1	37	(22) · (36)	+13,4
17	Z_3	+38	38	Z_4	+29
18	Z_1	–48	39	Z_2	–44

№	Формула	Число	№	Формула	Число
19	$(Z_3 - Z_1)$	+86	40	$(Z_4 - Z_2)$	+73
20	$(6) \cdot (19)$	+56,0	41	$(27) \cdot (40)$	+48,8
21	$(16) + (18) + (20)$	+22,1	42	$(37) + (39) + (41)$	+18,2
43	$\lambda_B = (21) - (42) $	3,9 м			
44	$1 - 4x + 3x^2$	-0,321	53	$1 - 4x' + 3x'^2$	-0,325
45	$3x^2 - 2x$	-0,115	54	$3x'^2 - 2x'$	-0,097
46	$6(1 - x)x$	+1,436	55	$6(1 - x')x'$	+1,422
47	$(9) \cdot (44)$	-0,086	56	$(30) \cdot (53)$	-0,113
48	$(12) \cdot (45)$	+0,003	57	$(33) \cdot (54)$	-0,003
49	$(19) \cdot (46) / (1)$	+0,246	58	$(40) \cdot (55) / (22)$	+0,209
50	$(47) + (48) + (49)$	+0,163	59	$(56) + (57) + (58)$	+0,093
51	$\text{ctg} \delta_{1,3} = 1 / (50)$	+6,135	60	$\text{ctg} \delta_{2,4} = 1 / (59)$	10,753
52	$\alpha_{1,3}$ или $\alpha_{3,1}$	349°	61	$\alpha_{2,4}$ или $\alpha_{4,2}$	21°
62	$\cos[(52)]$	0,982	64	$\cos[(61)]$	0,934
63	$\sin[(52)]$	-0,191	65	$\sin[(61)]$	0,358
66	$(51) \cdot (62) - (60) \cdot (64)$	-4,018	67	$(51) \cdot (63) - (60) \cdot (65)$	-5,022
68	$\text{tg} \alpha_k = (67) / (66)$	1,250	69	α_k	231°
70	$\varphi = (52) - [(69) + 90^\circ]$	28°	71	$\cos[(70)]$	0,883
72	$\text{tg} \delta_k = (50) / (71)$	0,185	73	$\delta_k = \arctg[(72)]$	10°
74	$\lambda = \lambda_B \cos \delta_k = (43) \cdot (73)$	3,8 м			

Производство пересчета вертикального значения лямбда-критерия в перпендикулярное к пласту направление имеет смысл осуществлять только при более чем 20-градусном значении угла падения пласта в точке пересечения диагоналей. Поэтому, если имеется твердая уверенность в том, что $\delta_k < 20^\circ$, ячейки 44–74 табл. 2.2 могут не заполняться.

Таблица решений при вычислении угла α_k

Знак числа в ячейке 67	Знак числа в ячейке 66	Формула расчета
+	+	$\alpha_k = \arctg[(68)]$
-	+	$\alpha_k = 360^\circ - \arctg[(68)]$
+	-	$\alpha_k = 180^\circ - \arctg[(68)]$
-	-	$\alpha_k = 180^\circ + \arctg[(68)]$
± 0	-	180°
± 0	+	0°
-	± 0	270°
+	± 0	90°

Рис. 2.17. Таблица решений при определении значения острого угла φ между двумя направлениями α_1 и α_2

Ручной вариант расчета лямбда-критериев приведен практически только с целью иллюстрации алгоритма его выполнения. При выполнении реальных расчетов используется компьютерная технология обработки данных. Перечень и порядок подготовки необходимой для ее производства информации несколько отличаются от вышеописанных. Форма таблицы исходных данных, ориентированной на программу «DRU», приведена в табл. 2.4. Порядок заполнения колонок 8–10 таблицы, предназначенных для занесения данных, используемых при производстве оценки достоверности моделирования мощности и зольности пласта, будет рассмотрен несколько позже.

Работа с табл. 2.4 начинается с занесения наименования объекта исследований (строки «Участок» и «Пласт») и указания масштаба подсчетного плана (строка «Масштаб»). После этого производится оцифровка координатной сетки плана (рис. 2.18). Оцифровка производится в миллиметрах (т. е. каждая следующая линия сетки имеет координату на 100 мм больше, чем предыдущая). Выбор начальной точки оцифровки должен обеспечивать положительность значений координат всех плаstopодсечений. Кроме того, описанными ранее способами прочерчиваются линии падения пласта, определяются значения дирекционных углов α_i этих линий, производится контроль значений высотных отметок подсечений и измеряются величины углов падения пласта δ_i в них. По завершении подготовки планов к работе приступают собственно к сбору данных.

Для каждого плаstopодсечения графически определяются плоские координаты X и Y . При этом измеряются приращения ΔX и ΔY от ближайших линий координатной сетки до центра точки подсечения. Окончательные значения координат получают путем сложения или вычитания приращений и координат соответствующих линий сетки. Производство измерений именно от ближайших координатных линий осуществляется с целью минимизации погрешностей измерений, связанных с деформацией прозрачной основы графических материалов при светокопировании (поскольку в настоящее время геологическая документация распространяется только в виде светокопий). Например, подсечение 3597 на рис. 2.18 находится на 15 мм ниже координатной линии 200 мм оси X и на 23 мм левее линии 100 мм оси Y . Поэтому координата X подсечения равна в данном случае 185 мм (200 – 15), а координата Y : 77 мм (100 – 23).

Полученные значения координат записываются в колонки 3 и 4 табл. 2.4. В столбце 2 таблицы указываются истинные номера скважин, а в колонки 5–7 заносятся соответственно высотные отметки плаstopо-

подсечений Z_i (в метрах), дирекционные углы α_i направлений линий падения пласта и углы падения δ_i .

В случае если по скважине имеет место двукратное подсечение пласта (вызванное наличием зоны его перекрытия, возникшей в результате воздействия разрывного нарушения), то при формировании таблицы исходных данных оба подсечения (имеющие, естественно, одинаковый номер) должны располагаться последовательно друг за другом. Сведения о прочих подсечениях могут заноситься в таблицу в абсолютно произвольном порядке. Например, в табл. 2.5 приведен фрагмент исходных данных, в которых по скважине номер 9675 (порядковые номера 9 и 10) пласт, в силу наличия зоны перекрытия, встречается дважды.

Таблица 2.4

Исходные данные, используемые программой «DRU»

Участок: шахта «Северная»

Пласт: Верхний

Масштаб 1:5000

№ п/п	Номер скважины	Координаты			α , градусы	β , градусы	Мощность		Зольность, %
		X , мм	Y , мм	Z , м			пласта	прослоев	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3597	185	77	–44	69	23			
...	...	...	...	...	...	...			
150									

Квадриангулирование сети измерений (создание системы выпуклых четырехугольников с вершинами – точками измерений) выполняется при работе с программой в интерактивном режиме. При этом на экране ЭВМ возникает изображение сети измерений (рис. 2.19), на котором с помощью маркера мыши пользователь должен отметить вершины выделяемого четырехугольника.

Выделение производится путем обхода точек замеров – вершин четырехугольника по (или против) направлению движения часовой стрелки. По завершении выбора вершин блока автоматически осуществляется контроль корректности его геометрической формы, по результатам которой он принимается в дальнейшую обработку.

Пример заполненной таблицы исходных данных, используемых программой «DRU»

Участок: шахта «Восточная»

Пласт: Польшаевский II

Масштаб 1:2 000

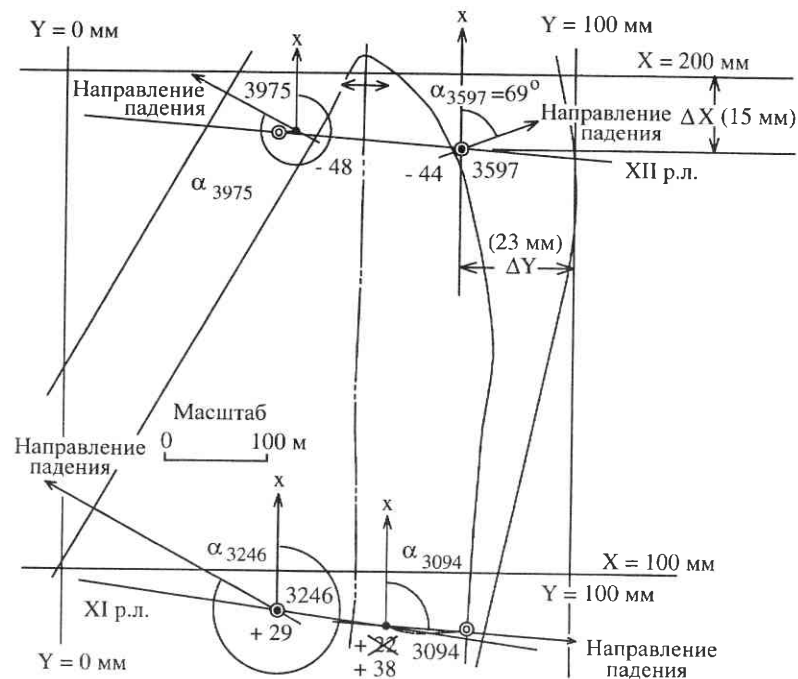


Рис. 2.18. Работа с подсчетным планом по сбору данных для компьютерного расчета лямбда-критериев

В силу того что реальные разведочные сети, как правило, нерегулярны, иногда при квадриангулировании возникают неопределимые области. С наличием таких зон приходится, к сожалению, просто мириться (рис. 2.20). Следует особо отметить, что выделяемые оценочные блоки могут накладываться друг на друга.

В результате обработки программой «DRU» квадриангулированных данных выдается таблица значений лямбда-критериев (табл. 2.6). В случае если имеет место двукратное пересечение пласта скважиной (если она подсекает зону перекрытия пласта), то под номером входящей в оценочный блок скважины указывается высотная отметка использованного при расчетах плаstopодсечения (соответственно «+219 м» в блоке номер 17 и «+215 м» в блоке номер 18 по скважине 9675 в табл. 2.6). Кроме того, приводится и информация о среднем значении критерия в целом по объекту (табл. 2.7), впоследствии используемая при оценке правомерности расчета лямбда-критериев разведанности.

№ п/п	Номер скважины	Координаты			α, градусы	δ, градусы	Мощность		Зольность, %
		X, мм	Y, мм	Z, м			пласта	прослоев	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	282	216	357	152	114	12			
...	...	...	...	...	...	...			
8	54к	318	301	184	110	9			
9	9675	322	119	215	90	5			
10	9675	322	119	219	90	6			
11	994	397	184	206	84	5			
...	...	...	...	...	...	...			
33	65к	706	16	241	85	6			

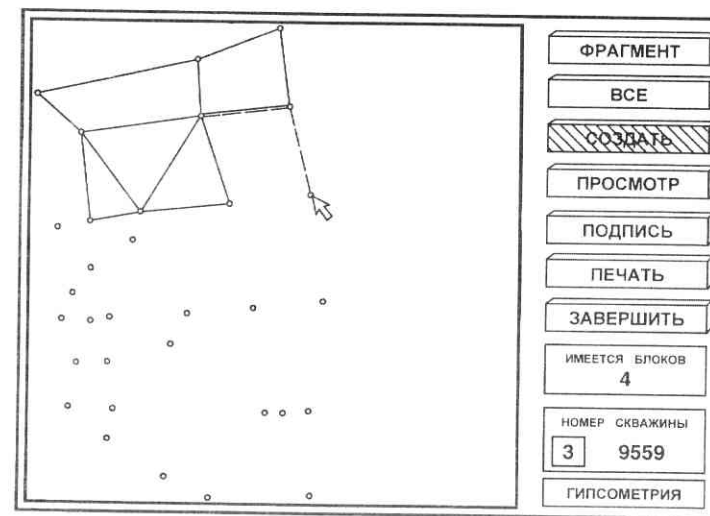


Рис. 2.19. Изображение экрана ЭВМ при интерактивном квадриангулировании сети наблюдений (сплошные линии — стороны ранее выделенных четырехугольников, пунктирные — стороны выделяемого четырехугольника)

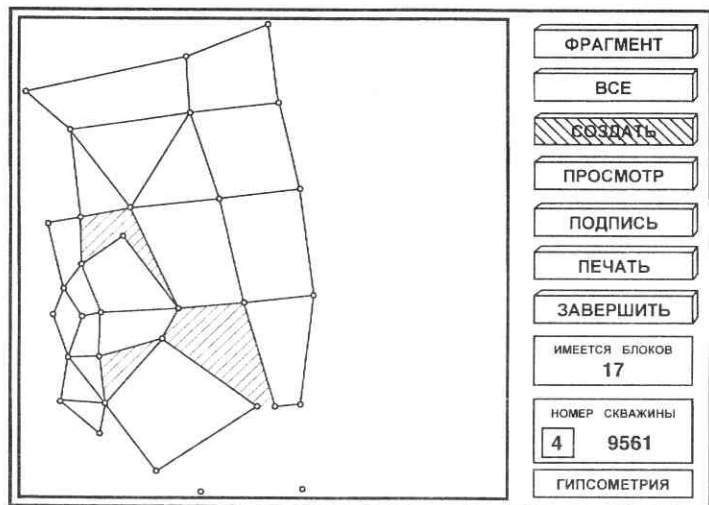


Рис. 2.20. Изображение сети измерений на экране ЭВМ после завершения квадриангулирования (неоцениваемые области условно показаны штриховкой)

Помимо интерактивного режима, существует пакетный режим квадриангулирования (программа «PRNGEO»). В его основе лежит авторский алгоритм, использующий известные методы α -триангуляции сети наблюдений [20].

Алгоритм предусматривает, что выделение четырехугольников производится индивидуально для каждого отдельного замера. Рассмотрим его применительно к замеру A на рис. 2.21. Ясно, что другие вершины оценочного блока будут находиться в его окрестностях.

Выделить такие замеры можно по условию их попадания в круг радиуса R , построенный вокруг точки A . С практической точки зрения достаточно принять радиус R кратным среднему расстоянию между замерами в сети — G .

Оценка значения G может быть выполнена следующим образом. Для каждого i -го замера отыскивается ближайший к нему замер, удаленный от него на расстояние l_i . Ясно, что в большинстве случаев для условий геологоразведочных данных l_i будет соответствовать расстоянию между скважинами в разведочной линии. Поэтому среднеарифметическое значение l_i является достаточно точной оценкой расстояния G . Экспериментально установлено, что вполне приемлемо принимать R равным пятикратному значению G .

Таблица 2.6

Значения лямбда-критериев разведанности гипсометрии

Участок: ш. «Восточная»

Пласт: Полысаевский II

Номер	Номера скважин — вершин четырехугольников				Ламбда верт., м	Ламбда норм., м	Площадь, тыс. кв. м
1	65к	9657	9658	9683	0,4	0,4	46
...	...	...	...	...	...	...	...
17	9573	9675 +219	9572	51к	1,1	1,1	10
18	9573	9675 +215	9572	51к	4,8	4,7	10

Таблица 2.7

Средние значения критериев разведанности гипсометрии

Участок: ш. «Восточная»

Пласт: Полысаевский II

Число четырехугольников: 18

Показатель	Ламбда-критерий, м		Площадь, тыс. кв. м
	по вертикали	по нормали	
Среднее значение	1,8	1,8	28
Отклонения от средних	1,5	1,5	19

В качестве второй вершины оценочного блока принимается ближайший к замеру A замер B .

Для выбора других вершин четырехугольника вводится условная система координат, ось X' которой совпадает с направлением $B-A$. Для каждого i -го замера, попадающего в круг радиуса R , в осях условной системы координат вычисляется дирекционный угол направления $A-I - \varphi_i$. По результатам расчетов углов φ_i все замеры разделяются на две группы: расположенные в правой ($0^\circ \leq \varphi_i < 180^\circ$) и левой ($180^\circ \leq \varphi_i < 360^\circ$) части круга. Именно в этих частях и должны располагаться выделяемые оценочные блоки.

Третья вершина блока выбирается отдельно для левой и правой групп точек измерений. Принцип выбора основан на методе α -триангуляции и состоит в следующем. Для каждого i -го замера рассматриваемой части круга на базовой стороне $A-B$ строится треугольник ABJ

(например, треугольники ABI , AB_2 , AB_3 и т. д. для замеров правой части круга) и определяется величина угла при его вершине $J - \alpha_j$. Анализируя значения таких углов всех сформированных треугольников, находится замер, соответствующий минимальному значению угла α_j . Этот замер принимается в качестве третьей вершины блока. Для условий рис. 2.21 такими вершинами являются замеры 2 (для правой части) и 5 (для левой части).

Четвертая вершина выбирается аналогично третьей. Для этого по каждой части круга последовательно рассматриваются направления, соединяющие пары ранее выделенных вершин: первая-третья и вторая-третья, которые рассматриваются как базовые стороны (аналогичные $A-B$). Например, выбор четвертых вершин для группы вершин A, B и 2 (правая часть) производится следующим способом. Рассматривает-

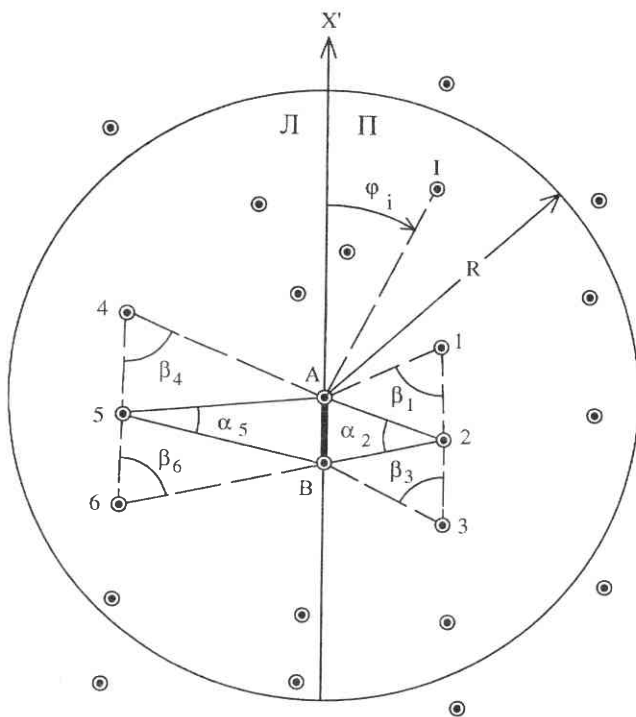


Рис. 2.21. Алгоритм автоматического квадриангулирования
нерегулярных сетей измерений

ся базовая сторона $A-2$ и определяется ее дирекционный угол в условной системе координат φ_{A-2} . После этого, анализируя k -е замеры, расположенные в правой части круга и имеющие дирекционные углы φ_K меньшие по значению, чем φ_{A-2} , находится один из них, угол β_K , для которого в треугольниках вида AKI минимален. Этот замер (номер 1 на рис. 2.21) является искомой четвертой вершиной первого выделяемого четырехугольника $A-1-2-B$. Затем рассматривается вторая базовая сторона $B-2$ и определяется ее дирекционный угол φ_{B-2} . Анализируя n -е замеры, также расположенные в правой части круга, но имеющие дирекционные углы φ_N большие, чем φ_{B-2} , отыскивается замер, угол β_N для которого в треугольниках вида ANI минимален. Он (3 на рис. 2.21) используется в качестве четвертой вершины второго выделяемого четырехугольника $A-2-3-B$. Аналогичным образом в левой части круга формируются оценочные блоки $A-B-5-4$ и $A-B-6-5$.

При реализации рассматриваемого алгоритма на ЭВМ значения углов α_i , β_j , в целях упрощения вычислительных процедур, заменяются на их косинусы, рассчитываемые с использованием известной теоремы косинусов:

$$\cos \alpha_i = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2ab}, \quad (2.16)$$

где c — длина базовой стороны треугольника (противоположащей искомому углу, например, стороны $A-B$ при расчете углов α_i на рис. 2.21);
 a и b — длины прочих сторон треугольника.

Реализация данного подхода приводит лишь к замене используемой при описании процедуры поиска максимального значения угла процедурой поиска минимального значения косинуса.

Полный алгоритм программы «PRNGEO» имеет ряд специфических особенностей, позволяющих решать возникающие при квадриангулировании частные задачи. Например, автоматически анализировать и разрешать ситуацию, когда при квадриангулировании на точку A выяснится, что исходная пара замеров $A-B$ была уже ранее использована при выделении четырехугольников.

Естественно, что каждый выделенный четырехугольник проверяется на приемлемость его геометрической формы и фиксируется программой только в случае, если он не был сформирован ранее, в ходе квадриангулирования на другие точки сети замеров.

2.4. Оценка рациональности принятого сечения изогипс

Как уже отмечалось, достоверное определение значений дирекционных углов направлений линий падения пласта в точках замеров возможно лишь в случае, когда его изогипсы построены с сечением, обеспечивающим детальное описание формы размещения пласта в недрах. При документации результатов геологоразведочных работ линии горизонтов часто выполняют только функции границ подсчетных единиц и далеко не всегда позволяют однозначно оценить характер залегания пласта. Этим объясняется тот факт, что на подсчетных планах некоторых объектов бывает показан лишь один-единственный горизонт. Поэтому перед началом работ по сбору исходных данных для расчета лямбда-критериев разведанности необходимо оценить рациональность принятого при построениях сечения изогипс и при необходимости, произвести их сгущение. Процесс оценки сводится к установлению требуемой величины сечения и ее сравнению с принятым в ходе моделирования.

Под рациональным сечением изолиний признака понимается сечение, обеспечивающее их построение с густотой, гарантирующей правомерность последующего выполнения линейной интерполяции между ними.

В настоящее время существует несколько методик выбора сечения.

В соответствии с предложением Г. И. Вилесова [9], изолинии должны отстраиваться при таком сечении, которое обеспечивает среднее расстояние между изолиниями на плане 5–10 мм (вне зависимости от масштаба плана и практически вне зависимости от сложности геометризруемой поверхности топофункции признака). Такая плотность изолиний почти всегда гарантирует весьма точное изображение топоповерхности (при реально используемых масштабах 1:2000 и 1:5000), но требует значительных трудозатрат и является, как правило, избыточной.

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

$$h \geq t \sigma_{cl}, \quad (2.17)$$

где t — квантиль закона распределения ошибок показателя (обычно принимается равным 2);

σ_{cl} — мера случайности в размещении показателя.

Величина σ_{cl} определяется для линий замеров по формуле:

$$\sigma_{cl} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} D_i^2}{2(n-1)}}, \quad (2.18)$$

где $D_i = P_i - P_{i+1}$ — значение разности между двумя соседними замерами; n — число замеров в линии.

Несмотря на общепринятость рекомендаций по использованию соотношения 2.17, имеются сомнения в целесообразности их принятия. Для того чтобы разобраться в причинах этих сомнений, попытаемся ответить на несколько вопросов. Во-первых, для каких целей создается модель? Для того, чтобы впоследствии иметь возможность прогнозировать значение признака (точнее детерминированную составляющую его изменения) 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 детерминированной и величины случайной составляющей изменчивости. Зависит ли точность определения детерминированной составляющей от величины сечения изолиний? Да, зависит: чем меньше сечение, тем меньше погрешность интерполяции. 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 2.17 сравниваются абсолютно различные по смыслу данные. Величина, полученная из формулы 2.17, это не сечение, а своего рода доверительный интервал положения изолиний. Принятие его в качестве сечения может привести к неоправданному росту погрешности определения детерминированной составляющей, которого легко можно было бы избежать, взяв меньшее сечение. Кроме того, использование для расчета σ_{cl} формулы 2.17 может приводить к уменьшению сечения изолиний относительно необходимого, а следовательно, к росту трудозатрат. Это будет происходить, когда детерминированная составляющая описывается плоскостью или близкой к ней поверхностью.

Наиболее простой практический прием выбора сечения изолиний состоит в следующем. Выбирается какое-либо сечение, значение которого априорно превышает необходимое (например, такое, при котором по участку могут быть построены только 2–3 изолинии). 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 вновь отстроенные линии излишни, так как не изменяют результаты прогнозирования с помощью модели. Например, пусть последовательно строились изогипсы с сечениями 100, 50 и 25 м. Причем изолинии при сечении 25 м находятся посередине между изогипсами, построенными при сечении 50 м. Следовательно, при графическом изображении рассматриваемой поверхности необходимо и достаточно изобразить на плане только изолинии с сечением 50 м. Описанный подход прост и доступен, однако требует выполнения значительного объема специальных, весьма трудоемких и квалифицированных построений.

Поэтому проще на основании описанной ниже математической процедуры реализовать данный подход не в графической, а в числовой форме.

Основная идея этой процедуры совпадает с вышеописанной и состоит в следующем. Пусть по участку уже построены изолинии a и b с рациональным сечением h (рис. 2.22). Тогда промежуточная линия $c = (a + b) / 2$ проходит, естественно, через середины расстояний между ними, а следовательно, площади, окуптуренные изолиниями a и c , c и b равны между собой. В этом случае, исходя из геометрического понятия вероятностей, можно утверждать, что в случае близкого к равномерному распределению 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 законов распределений по левым и правым частям интервалов к распределению по самим интервалам может быть произведена с помощью критерия λ А. Н. Колмогорова:

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{n}}, \quad (2.19)$$

где D — максимум модуля разности накопленных эмпирических и теоретических частот;

n — общее число наблюдений в эмпирическом распределении.

Определение D ведется в табл. 2.8.

Во-первых, задается исследуемое значение сечения изогипс — интервал (50 м в табл. 2.8) и считается число замеров, попавших в каждый интервал (колонка 2), в его левую (колонка 5) и правую (колонка 9) части. В данном фактическом примере высотную отметку пласта в пределах от гор. —100 м до гор. —50 м имеют 9 подсечений (колонка 2), из них от гор. —100 м до гор. —75 м — 4 (левая часть интервала — колонка 5), а от гор. —75,1 м до гор. —50 м — 5 (правая часть интервала — колонка 9). Ясно, что сумма чисел по строкам, принадлежащим колонкам 5 и 9, равно числу в строке колонки 2 ($4 + 5 = 9$).

Во-вторых, находятся накопленные частоты (колонки 3, 6 и 10). Значение накопленной частоты по интервалу равно сумме частот данного и всех предшествующих ему интервалов.

В-третьих, рассчитываются накопленные теоретические частоты (колонка 4), путем деления чисел в строках колонки 3 на общее количество измерений (для первой строки таблицы: $9 / 157 = 0,057$).

В-четвертых, заполняются колонки 7 и 11 путем умножения колонки 4, соответственно на суммы частот по колонкам 5 и 9 (для первой строки таблицы: $0,057 \times 62 = 3,6$ и $0,057 \times 95 = 5,4$).

В-пятых, находятся разности D . В колонке 8 записываются взятые по абсолютной величине разности чисел в колонках 6 и 7, а в колонке 12 — 10 и 11.

И наконец, в-шестых, находятся максимальные значения D . Для левой и правой половины интервала они равны 2,4. Затем по формуле 2.19 определяются значения критериев А. Н. Колмогорова для левой ($\lambda_L = 2,4/62^{0,5} = 0,30$) и правой ($\lambda_P = 2,4/95^{0,5} = 0,25$) части интервалов. В дальнейшем используется только максимальное значение критерия $\lambda = 0,30$.

Расчет λ -критерия А. Н. Колмогорова производится несколько раз при различных задаваемых вариантах возможного сечения изогипс. После этого строится график зависимости λ -критерия А. Н. Колмогорова от величины рассматриваемого сечения (рис. 2.23). По графику определяется рациональное сечение изогипс, соответствующее минимуму λ (50 м на рис. 2.23), т. е. в наибольшей степени отвечающее сформулированному условию их рациональности. Фактически гипсометрический план пласта Рытвинного построен при сечении изогипс 100 м и, следовательно, требует производства дополнительных работ по их сгущению. При построении графика следует иметь в виду, что исследование функции $h = f(\lambda)$ должно производиться начиная с больших сечений. Дело в том, что зависимость между сечением и λ при очень малых

сечениях теряет устойчивость, после чего следует катастрофа (в математическом смысле).

Поэтому при начале перебора с малых сечений за отыскиваемый экстремум может быть ошибочно принят локальный экстремум участка потери устойчивости. Если при построении графика все λ больше 0,8 (что соответствует доверительной вероятности 0,54), то следует тщательно изучить вопрос о правомерности интерполяции между замерами, поскольку она в этом случае весьма сомнительна.

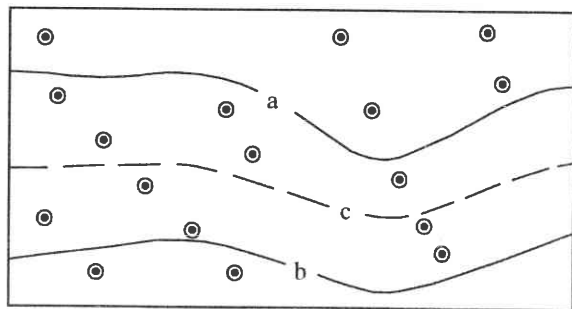


Рис. 2.22. К выбору рационального сечения изолиний

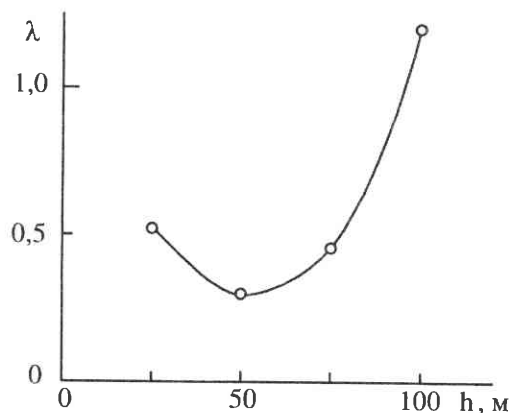


Рис. 2.23. Зависимость значения λ -критерия А. Н. Колмогорова от величины сечения изогипс

2.5. Оценка правомерности расчета лямбда-критериев разведанности

Значения лямбда-критериев разведанности реально отражают имеющую место неоднозначность модели гипсометрии лишь в случае, когда существует правомерность интерполяции значений высотных отметок пласта в межскважинном пространстве, т. е. в случае, когда имеющаяся сеть замеров вскрывает основные закономерности в размещении угольного пласта в недрах (рис. 2.24). Поэтому процедура установления правомерности интерполяции является абсолютно необходимым элементом процесса оценки достоверности результатов геометрического моделирования.

Поскольку реальные сети наблюдений обладают определенной степенью избыточности в части выявления основных структурных элементов гипсометрии, решение вопроса о правомерности интерполяции отметок в межскважинном пространстве можно осуществлять на основе известного метода разрежения разведочной сети.

Для производства оценки необходимо выполнить построение функции (условно названной кривой разведанности), связывающей значения лямбда-критериев разведанности и площади проекций оценочных четырехугольников (S_{bl}), т. е. функции $\lambda = f(S_{bl})$.

Построение кривой предусматривается производить путем разрежения разведочной сети (рис. 2.25). Для этого по исходной quadriangularной сети наблюдений рассчитываются среднеарифметические значения лямбда-критериев (λ_i) и площадей проекций выделенных оценочных блоков (S_i).

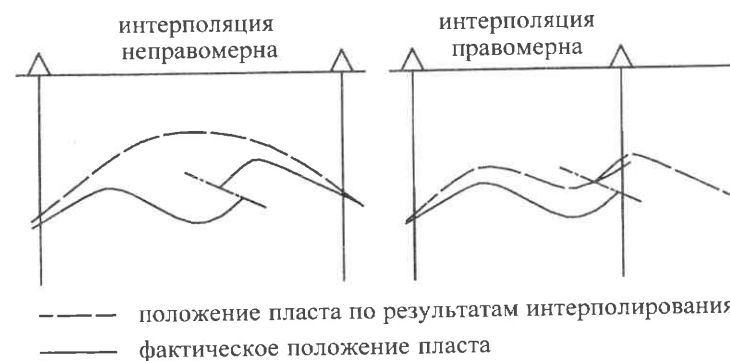


Рис. 2.24. Правомерность интерполяции отметок

Определение максимума модуля разности накопленных эмпирических и теоретических частот
(высотные отметки почвы пласта Рытвиного поля шахты «Карагайлинская» – сечение изогипс 50 м)

Интервал	По интервалу в целом				По левой части интервала				По правой части интервала			
	частота	накопленная частота	накопленная частота	накопленная частота	частота	накопленная частота	теоретическая накопленная частота	D	частота	накопленная частота	теоретическая накопленная частота	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
-100 ... -50	9	9	0,057	4	4	3,6	0,4	5	5	5,4	0,4	
-49,9 ... ±0	18	27	0,172	6	10	10,7	0,7	12	17	16,3	0,7	
0,1 - 50	20	47	0,299	10	20	18,6	1,4	10	27	28,4	1,4	
50,1 - 100	23	70	0,446	9	29	27,6	1,4	14	41	42,4	1,4	
100,1 - 150	18	88	0,561	6	35	34,8	0,2	12	53	53,3	0,3	
150,1 - 200	28	116	0,739	9	44	45,8	1,8	19	72	70,2	1,8	
200,1 - 250	32	148	0,943	12	56	58,4	2,4	20	92	89,6	2,4	
250,1 - 300	9	157	1,000	6	62	62,0	0,0	3	95	95,0	0,0	
Суммы	157			62				95				

Затем производится примерно двукратное разрежение исходной сети, вновь рассчитываются критерии разведанности, площади и определяются их средние значения (λ_2 и S_2). И наконец, сеть подвергается еще одному разрежению, с последующим вычислением по его результатам средних значений λ_3 и S_3 . Полученные точки наносятся на график и соединяются плавной линией – кривой разведанности. Естественно, что эта кривая теоретически должна иметь характер монотонно возрастающей функции (рис. 2.25), т. к. по мере снижения плотности сети точек наблюдений достоверность результатов горно-геометрического моделирования должна постоянно уменьшаться.

Использование именно данной методики построения кривой разведанности связано со следующим обстоятельством. Поскольку значение лямбда-критерия определяется не только плотностью сети наблюдений, но и сложностью геологического строения изучаемого объекта, то при построении функции $\lambda = f(S_{\text{пл}})$ необходимо нейтрализовать действие фактора сложности. Достичь этого можно только путем его фиксации, т. е. путем обеспечения постоянства сложности для всех точек графика. Так как равномерное разрежение сети наблюдений и последующее осреднение получаемых значений охватывают весь объект геометризации, то, по-видимому, средняя сложность объекта для каждой из точек графика должна автоматически быть постоянной.

Построение кривой разведанности без разрежений (т. е. путем простого построения зависимости значений лямбда-критериев от площадей четырехугольников, выделенных по исходной сети замеров) методически неверно и приводит, вне зависимости от степени соответствия густоты точек измерений и сложности геологического объекта, к возникновению не только размытой, но и противоестественной картины. Это связано с тем, что сложность строения изучаемого объекта практически всегда переменна. Зоны повышенной сложности имеют более низкую степень разведанности, чем простые, несмотря на то, что плотность разведочной сети по ним, как правило, выше. Более того, при идеально выполненных разведочных работах в пределах контуров одинакового назначения (например, контура первоочередного освоения) рассматриваемая функция должна иметь вид: $\lambda = f(S_{\text{пл}}) = \text{const}$, отражая тем самым идеально постоянный уровень достоверности запасов. Всякое частное отклонение от этого уровня должно квалифицироваться либо как переразведка, либо как недоизученность.

Экспериментально установлено, что встречаются три основных типа кривых разведанности (рис. 2.26).

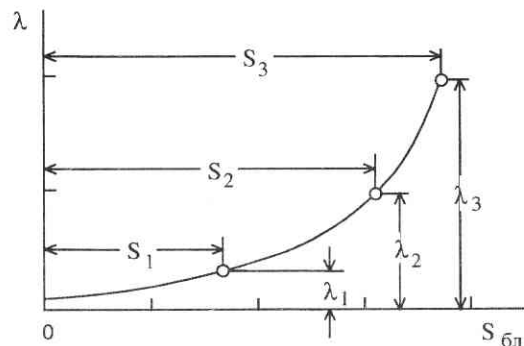


Рис. 2.25. Порядок построения кривой разведанности

К первому типу (рис. 2.26, а и б) относятся кривые, имеющие вид, соответствующий теоретически ожидаемому. Такие кривые характерны для хорошо изученных объектов, плотность разведочной сети по которым обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве.

Дополнительно по степени крутизны ветви графика функции $\lambda = f(S_{бл})$ можно судить о возможном росте общей степени разведанности объекта при дальнейшем повсеместном сгущении разведочной сети. Отметим также, что величина свободного члена функции (ожидаемое значение λ при $S_{бл} = 0$) теоретически должна быть равна удвоенной среднеквадратической погрешности определения координат Z пластоподсечений и является таким образом дополнительным параметром, контролирующим надежность построений.

Второй тип кривых разведанности (рис. 2.26, г) имеет вид, совершенно противоречащий теоретическому. Анализируя такие кривые, можно было бы сделать абсолютно абсурдный вывод о возможности снижения точности геометрической модели пласта при увеличении плотности разведочной сети. Понятно, что такое поведение кривой возможно лишь в случае, когда малейшее разрежение исходной сети повсеместно и постоянно приводит к полной потере информации об отдельных структурных элементах пласта. Причем нет никакой гарантии и того, что эта исходная сеть замеров действительно вскрыла все крупные структурные элементы. Поэтому такие кривые характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым не обеспечивает правомерности интерполяции отметок в межскважинном пространстве.

Третий, промежуточный, тип кривой (рис. 2.26, в) объединяет в себе оба предшествующих типа. Вначале, по мере роста площадей оценочных блоков, происходит рост неоднозначности построений (теоретически ожидаемая тенденция — кривая первого типа), а затем — ее снижение (кривая второго типа). Данный тип характерен для слаборазведанных объектов и вполне естественен. Исходная сеть наблюдений позволяет с той или иной погрешностью выявить основные структурные элементы пласта, но при ее значительном разрежении наступает такой момент, когда информация о них начинает теряться. Естественно, что к такому типу можно привести путем производства четвертого и последующих разрежений исходной сети замеров и кривые, приведенные на рис. 2.26, а и в. Поэтому для кривых данного типа следует сделать вывод об ограниченной правомерности интерполирования высотных отметок в межскважинном пространстве: для оценочных блоков с площадью меньшей критической ($S_{кр}$ — рис. 2.26, в) она существует, а для большей — отсутствует.

При получении кривой рассматриваемого типа среди реально выделенных оценочных блоков выделяются блоки с площадями менее $S_{кр}$, для которых правомерно осуществлять расчет лямбда-критериев. По остальным (закритическим) блокам сети такой расчет выполнять нецелесообразно в связи с его низкой надежностью. Такие закритические по площади блоки могут размещаться по площади участка либо концентрированно, либо хаотически. В первом случае участок как бы разделяется на две части, анализ материалов по одной из которых (с малыми площадями блоков) может производиться с помощью лямбда-критериев, а для другой они в принципе неприменимы. Во втором случае может возникнуть опасная ситуация, когда при значительном количестве закритических блоков (более 30 % от общего количества четырехугольников сети замеров) реально имеющая место погрешность в оценке значения $S_{кр}$ может привести к ошибочному представлению о якобы возможном интерполировании отметок пласта между точками измерений. Поэтому при значительной доле закритических блоков целесообразно вообще отказаться от расчета лямбда-критериев.

Выполнение разрежения исходной разведочной сети может выполняться либо интерактивно (путем непосредственного выделения оператором разреженных блоков на экране ЭВМ в программе «DRU»), либо автоматически (программой «PRNGEO»). Алгоритм автоматического разрежения сети состоит в следующем (рис. 2.27).

На рассматриваемый участок параллельно геодезическим осям координат X и Y накладывается квадратная сетка со сторонами, равными

среднему расстоянию между замерами G . Причем крайние верхняя и правая линии сетки должны совпадать с точками измерений, имеющими максимальные значения соответствующих координат. В этом случае каждый замер попадет в отдельный квадрат сетки. Столбцы и строки сетки нумеруются целыми числами (начиная с нуля) в направлении уменьшения значений координат. При первом разрежении сети (перед автоматическим ее квадратирурованием) исключаются измерения, попавшие в расположенные в шахматном порядке квадраты сетки (имеющие нечетные номера по оси Y при четных номерах по оси X и четные номера по оси Y при нечетных по оси X). А при втором разрежении дополнительно исключаются все замеры, попавшие в четные по оси Y квадраты. Естественно, что описанный алгоритм реализует только один из возможных вариантов разрежения сети наблюдений.

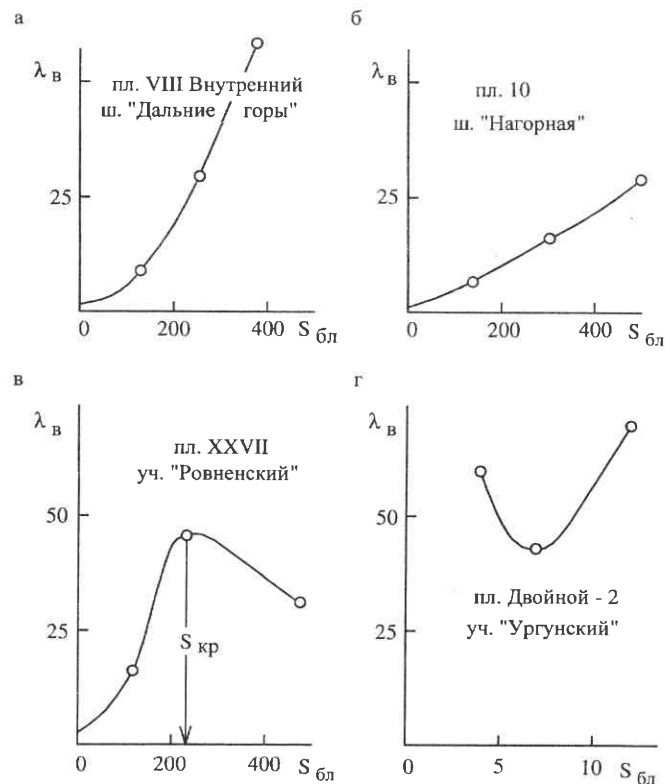


Рис. 2.26. Основные типы кривых разведанности

Практически при построении кривых разведанности выполняется несколько вариантов однократного и двукратного разрежений как на экране ЭВМ (в программе «DRU»), так и автоматически (в программе «PRNGEO» — путем принятия противоположного вышеописанному порядка выделения исключаемых квадратов сетки). Кривые, построенные по различным вариантам разрежения, должны давать одинаковые оценки правомерности интерполяции. Однако если получаемые результаты неоднозначны (хотя на практике, при построении почти ста кривых разведанности по различным пластам, такого явления ни разу не наблюдалось), то в качестве итогового решения должно приниматься наиболее неблагоприятное.

Таким образом, в результате проведения оценки правомерности интерполирования могут быть получены три различных вывода:

- интерполяция правомерна;
- интерполяция правомерна в оценочных блоках с площадью менее $S_{кр}$;
- интерполяция неправомерна.

Таблица решений, позволяющая производить их выбор, приведена в табл. 2.9. При пользовании таблицей следует обратить внимание на три следующих обстоятельства.

Во-первых, при получении второго решения не следует забывать о ранее указанной допустимой доле закритических оценочных блоков.

Во-вторых, в случае, если последующая точка графика имеет среднее значение лямбда-критерия меньше чем предыдущая, проверяется гипотеза о статистическом равенстве этих значений.

Гипотеза проверяется по известной методике [9]. Для этого определяются параметры:

$$\sigma_{\kappa-j} = \sqrt{\frac{n_{\kappa}\sigma_{\kappa}^2 + n_j\sigma_j^2}{n_{\kappa} + n_j - 2}}, \quad (2.20)$$

$$t_0 = \frac{|\lambda_{\kappa} - \lambda_j|}{\sigma_{\kappa-j} \sqrt{\frac{1}{n_{\kappa}} + \frac{1}{n_j}}}, \quad (2.21)$$

где σ_{κ} и σ_j — среднеквадратические отклонения значений лямбда-критериев от средних для κ -й и j -й точек кривой;

n_{κ} и n_j — число оценочных блоков, использованных при расчетах средних значений критериев в κ -й и j -й точках кривой;

λ_k и λ_j — средние значения лямбда-критериев для k -й и j -й точек кривой.

Таблица 2.9

Таблица решений по оценке правомерности интерполяции высотных отметок

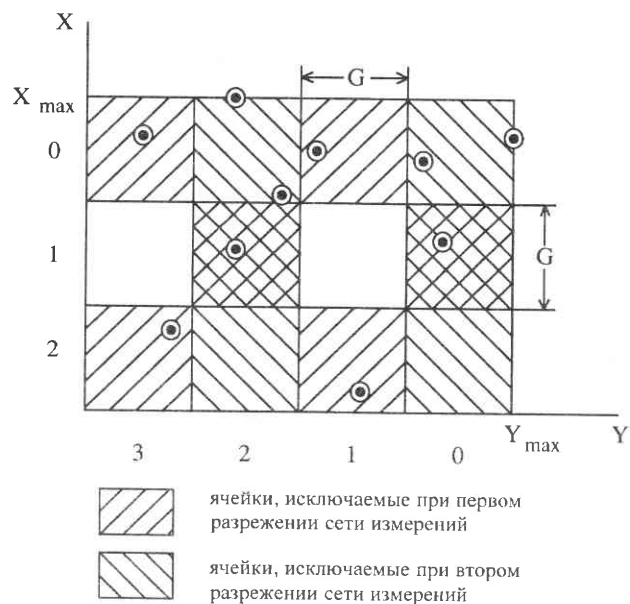


Рис. 2.27. Алгоритм автоматического разрежения разведочной сети

Если t_0 меньше, чем величина t , определенная по известной табл. 2.10, то делается вывод о равенстве рассматриваемых средних значений λ_k и λ_j .

Например, пусть по исходной сети замеров выделено 25 оценочных блоков со средним значением лямбда-критерия разведанности 12,3 м и его колебании $\pm 6,4$ м (т. е. $n_j = 25$: $\lambda_j = 12,3$ и $\sigma_j = 6,4$), а по сети первого разрежения — 16 четырехугольников со средним значением лямбда 10,7 м и среднеквадратическим колебанием $\pm 4,7$ м ($n_k = 16$: $\lambda_k = 10,7$ и $\sigma_k = 4,7$). Тогда: $\sigma_{k-j} = [(16 \cdot 4,7^2 + 25 \cdot 6,4^2) / (25 + 16 - 2)]^{0,5} = [(16 \cdot 22,09 + 25 \cdot 40,96) / 39]^{0,5} = [(353,44 + 1024,00) / 39]^{0,5} = [1377,44 / 39]^{0,5} = [35,32]^{0,5} = 5,9$ и $t_0 = |10,7 - 12,3| / \{5,9 [(1 / 25) + (1 / 16)]^{0,5}\} = 1,6 / \{5,9 (0,0400 + 0,0625)^{0,5}\} = 1,6 / \{5,9 (0,1025)^{0,5}\} = 1,6 / \{5,9 \cdot 0,32\} = 1,6 / 1,89 = 0,85$.

1. Интерполяция правомерна		
2. Интерполяция правомерна в оценочных блоках с площадями менее $S_{кр}$		
3. Интерполяция неправомерна		
Обозначения: статистически равные значения λ		

Из таблицы 2.10 при $n_j + n_k - 2 = 39$, следует, что значение $t = 1,68$. Поскольку $t_0 < t$, то необходимо сделать вывод о статистическом равенстве значений λ_k и λ_j .

В-третьих, условие 2,в из табл. 2.9 может возникнуть не только при ограниченной возможности интерполяции, но и при существенной

переразведке объекта, т. е. в условиях повсеместной правомерности интерполяции отметок (практически данная возможность реализуется чрезвычайно редко). Предварительно действие последнего обстоятельства может быть обнаружено по уровню значений лямбда-критериев. Если он не превышает 3–4 м для объектов I группы и 6–7 м для объектов II группы сложности геологического строения, то наиболее вероятно переразведка объекта. Для окончательного разрешения вопроса целесообразно дополнительно провести два дополнительных разрежения сети замеров и использовать для дальнейшего анализа полученную кривую разведанности.

Таблица 2.10

Таблица процентных точек t-распределения при уровне значимости 0,1

$n_j + n_k - 2$	t	$n_j + n_k - 2$	t
1	6,134	14	1,761
2	2,920	15	1,753
3	2,353	16	1,746
4	2,132	17	1,740
5	2,015	18	1,734
6	1,943	19	1,729
7	1,895	20	1,725
8	1,860	25	1,708
9	1,833	30	1,697
10	1,812	40	1,684
11	1,796	60	1,671
12	1,782	120	1,658
13	1,771	∞	1,645

Кривые разведанности, помимо их использования для оценки правомерности расчета лямбда-критериев, могут применяться и для сравнения геологической сложности объектов, находящихся на различных стадиях геологического изучения.

Например, при рассмотрении геологических материалов двух близрасположенных альтернативных участков для строительства шахты (шахта № 3 Менчерецкого угледобывающего комплекса и шахта «Восточная») первый из них выглядел в части выдержанности гипсометрии и степени дизъюнктивной нарушенности явно предпочтительнее второго.

Однако, поскольку геологоразведочные работы по первому участку находились лишь на стадии детальных поисков, а по второму — уже на стадии детальной разведки, данные которых обладают существенно различной степенью достоверности, простое сравнение их гипсометрических планов является явно некорректным. Для того чтобы учесть при принятии инвестиционного решения различие в степени геологической изученности участков, в единой системе координат были построены их кривые разведанности (рис. 2.28).

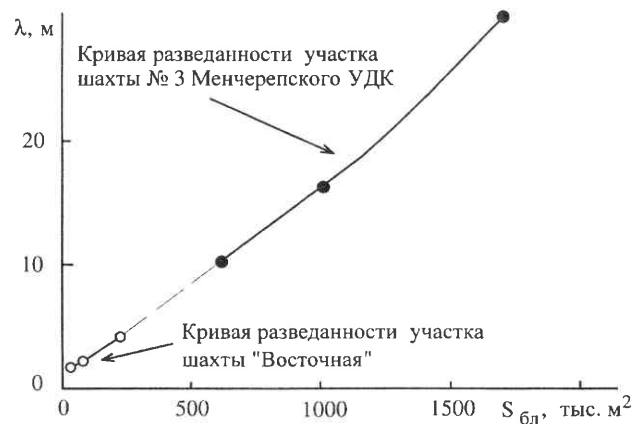


Рис. 2.28. Совмещенные кривые разведанности участков шахты «Восточная» и № 3 Менчерецкого УДК

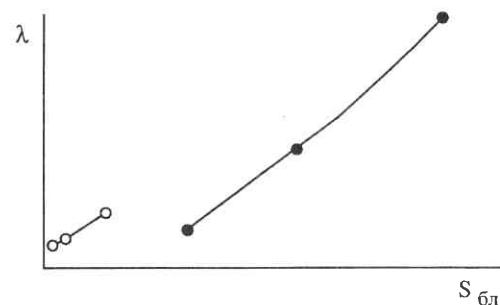


Рис. 2.29. Совмещенное положение кривых разведанности объектов различной сложности

Из анализа рис. 2.28 следует, что кривая разведанности для шахты «Восточная» является простым продолжением кривой для шахты № 3 и, следовательно, оба объекта в действительности обладают практически равной сложностью поведения гипсометрии.

Таким образом, наблюдаемая более высокая сложность строения поля ш. «Восточная» является мнимой и обусловлена не природными свойствами данного объекта, а лишь более высокой степенью их изучения.

Заметим, что если бы совмещенные кривые разведанности этих участков имели бы вид, приведенный на рис. 2.29, то следовало бы сделать вывод о действительно более низкой сложности строения менее разведанного объекта.

2.6. Требования к геометрической форме оценочного четырехугольника сети замеров

Квадриангулирование реальных сетей измерений может приводить к появлению четырехугольников различной геометрической формы. Априорно ясно, что не всякая форма четырехугольника может обеспечить получение объективной оценки степени неоднозначности (многовариантности) анализируемой модели. Поэтому возникает необходимость исследования вопроса о приемлемой форме четырехугольника сети измерений.

Исходя из того, что в пределах оценочного блока неоднозначность построений непостоянна и увеличивается по мере удаления места ее определения от точек измерений, то следует сразу оговорить, какой уровень неоднозначности необходимо определять. Таким уровнем, по видимому, должен являться максимальный в блоке, поскольку минимальный уровень определяется техническими погрешностями измерений (которые можно считать известными и относительно постоянными для объекта), а средний уровень обусловлен лишь диапазоном изменения неоднозначности в блоке.

Понимание задачи оценки формы блока в таком контексте ведет к вопросу: в какой именно точке разреза наиболее вероятно достижение максимальной погрешности интерполяции? Для ответа на него были собраны профили открытых горных работ, содержащие данные о фактическом положении угольных пластов по четырем разрезам Кузбасса: «Краснобродский», «Новосергеевский», «Киселевский» и «Бачатский». На этих профилях было выделено 302 участка (256 моноклиналичного и 46 замкового типа), по которым производилась сплайн-интерполяция

отметок пластов. Горизонтальные расстояния между узлами интерполирования изменялись от 13 до 125 м (что соответствовало плотности разведочной сети этих сложных объектов), а углы падения — от 0° до 90° .

Все расстояния между узлами делились на десять частей, и в каждой точке находились погрешности интерполяции. Положение точки с максимальной погрешностью характеризовалось ее удалением от левого узла интерполирования (в десятых долях расстояния между узлами). На рис. 2.30 приведены полигоны распределения частоты встречи максимальных погрешностей на различных расстояниях от узлов. Из рис. 2.30 видно, что, как и следовало ожидать, наиболее вероятно встреча максимальной погрешности на середине расстояния между узлами.

Однако нельзя считать, что эта вероятность кардинально отличается от вероятности появления этой погрешности вблизи середины (на удалении 0,3, 0,7 и т. д.). Поэтому был рассмотрен вопрос о возможном равномерном характере распределения расстояний появления максимальной погрешности (для отдельных интервалов изменения расстояний). Оценка степени равномерности производилась с помощью критерия А. Н. Колмогорова, т. к. параметры гипотетического распределения в данном случае известны. Результаты расчетов приведены в табл. 2.11. Из нее следует, что появление максимальной погрешности в точках, удаленных от узлов интерполяции на нормированные расстояния от 0,3 до 0,7, практически равновероятно. Вероятность же появления этой погрешности в интервалах длин от 0 до 0,2 и от 0,8 до 1 пренебрежительно мала.

Отсюда можно рекомендовать в качестве допустимых значений нормированных расстояний x и x' интервал от 0,3 до 0,7. Это ограничение регламентирует степень допустимой деформированности оценочного блока. Но принять его можно лишь в случае, если не существует значимой закономерности в изменении значений погрешностей вдоль линии разреза. Ведь если они существуют, то ограничения могут быть менее жесткими, т. к. в этом случае возникает возможность пересчета наблюдаемой степени неоднозначности в произвольной точке в максимальную. Для оценки возможности такого пересчета была предпринята попытка прогнозирования значения погрешности интерполяции в точке, находящейся на середине между замерами, путем линейной экстраполяции значений погрешностей в точке с нормированными координатами 0,1 (0,9); 0,2 (0,8); 0,3 (0,7) и 0,4 (0,6). Оценка точности такого прогнозирования, приведенная в табл. 2.12, свидетельствует о явной бесперспективности такого подхода.

Таблица 2.11

Оценка непротиворечивости распределения расстояний до точки
с максимальной погрешностью интерполирования равномерному закону

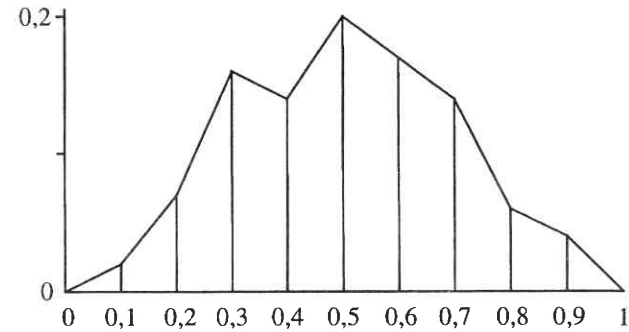
Интервал изменения нормированных расстояний	Значение критерия А. Н. Колмогорова	Вероятность непротиворечия равномерному закону
Моноклиналильные участки		
0,1–0,9	2,18	0,001
0,2–0,8	1,25	0,090
0,3–0,7	0,47	0,974
0,4–0,6	0,70	0,711
Замковые участки		
0,1–0,9	1,46	0,029
0,2–0,8	0,96	0,320
0,3–0,7	0,34	0,999
0,4–0,6	0,43	0,987

Таким образом, ранее сформулированные требования к нахождению параметров x и x' в пределах от 0,3 до 0,7 сохраняют свою силу.

Интересно отметить, что С. Г. Бишарян [3], исследуя точность оконтурирования Каджаранского медно-молибденового месторождения, установил, что наиболее вероятные значения введенной им величины P (отношение расстояния от промышленной скважины до границы балансовых запасов руд к расстоянию между промышленной и непромышленной скважинами — прямой аналог параметра x) находятся в пределах от 0,3 до 0,7. Причем в этом диапазоне распределение погрешностей равномерно. Такое совпадение с приведенными выше результатами вряд ли случайно и подтверждает их надежность.

При квадриангулировании реальных сетей разведочных скважин и замеров в горных выработках, представляющих в своей основе систему примерно параллельных разведочных линий различной протяженности и густоты, возникают перекрывающиеся друг друга оценочные блоки (например: 1-2-3-4 и 1'-2'-3-4 на рис. 2.31). Частично они имеют форму четырехугольника с достаточно острыми углами или ромбовидную форму при значительном расхождении в длинах диагоналей. Даже несмотря на нахождение характеризующих их параметров x и x' в допустимых пределах, возникает сомнение в возможности объективной оценки по ним степени неоднозначности геометрической модели. Для его разрешения необходимо найти допустимое изменение длин диагоналей в блоке, при котором не может произойти значимого изменения

а Моноклиналильные участки



б Замковые участки

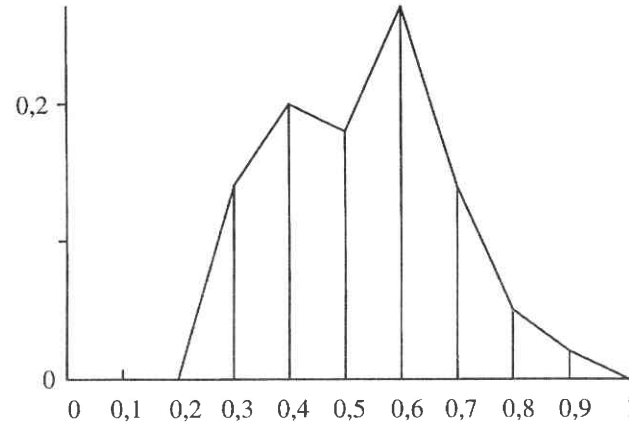


Рис. 2.30. Полигоны распределения расстояний, при которых имеет место максимальная погрешность интерполяции

максимальной погрешности интерполирования. Обозначим данное изменение через V , причем V всегда больше (или равно) единицы. Если найти V , то можно сразу оговорить предельное соотношение длин диагоналей (т. к. сложность геологического строения пласта по ним можно считать постоянной) и найти предельное значение внутреннего угла оценочного блока β (рис. 2.31).

Таблица 2.12

Точность прогнозирования значения погрешности
интерполирования в наиболее удаленной точке разреза

Нормированные координаты исходных точек прогноза	Относительная погрешность прогнозирования, %		
	максимальная	минимальная	средняя
Моноклиналильные участки			
0,1 – 0,9	5891	2	314
0,2 – 0,8	4992	1	243
0,3 – 0,7	4038	2	192
0,4 – 0,6	1998	1	101
Замковые участки			
0,1 – 0,9	2536	3	205
0,2 – 0,8	3925	4	191
0,3 – 0,7	1733	0	101
0,4 – 0,6	1395	1	88

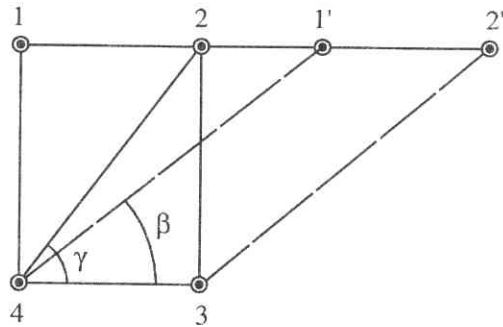


Рис. 2.31. Допустимая «остроугольность» оценочного блока

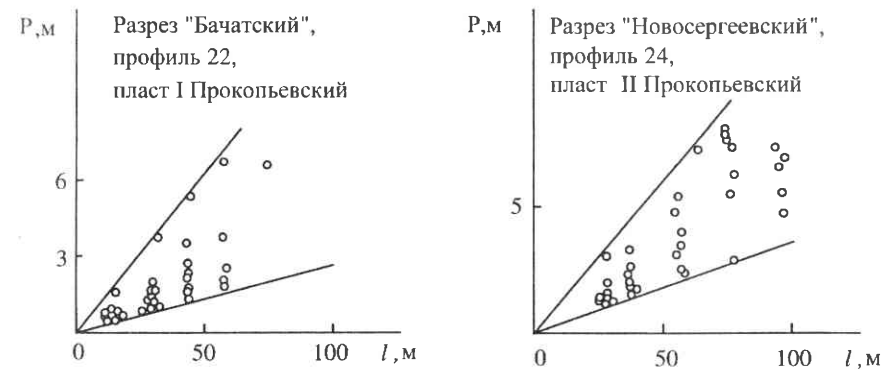
Несложно показать, что

$$\operatorname{ctg} \beta = \sqrt{\frac{V^2}{\sin^2 \gamma} - 1} - \operatorname{ctg} \gamma, \quad (2.22)$$

где $\operatorname{tg} \gamma$ — вычисляемая характеристика вытянутости оценочного блока.

Значение $\operatorname{tg} \gamma$ равно отношению среднего расстояния между разведочными линиями к среднему расстоянию между скважинами в линиях в пределах каждого блока.

Собственно значение V было установлено экспериментально на материалах указанных выше углерезов. По каждому профилю горных работ фиксировались высотные отметки пласта и углы его падения в серии точек, удаленных друг от друга на 5 м. Затем для каждого участка выполнялось несколько интерполяций при различном расстоянии между замерами и отыскивалась зависимость значения максимальной погрешности от расстояния между замерами. Общее число выполненных интерполяций составило 1106. На рис. 2.32 приведены два примера отыскиваемой зависимости. Во всех случаях графики демонстрировали рост дисперсии значений максимальных погрешностей по мере увеличения расстояний. На каждом графике были проведены прямые, ограничивающие максимальные ($P_6 = a \cdot l$) и минимальные ($P_m = b \cdot l$) погрешности. Таким образом, для одного и того же расстояния l максимальная погрешность может меняться в диапазоне от $a \cdot l$ до $b \cdot l$. Следовательно, при увеличении длины диагонали в b/a раз закономерного изменения погрешности произойти не может, а раз это так, то в качестве оценки V может быть принято именно это соотношение. В ходе расчетов отношение V изменялось от 2,6 до 8,9 раза (в среднем 4,0). Исходя из этого, в качестве лимитирующего значения V примем наименьшее — 2,6.

Рис. 2.32. Зависимость величины максимальной погрешности интерполирования P от расстояния между замерами l

Отсюда отношение длин диагоналей (большой к меньшей) не должно превышать 2,6. На рис. 2.33 приведена зависимость значения угла β от вытянутости блока $\text{tg} \gamma$ при $V = 2,6$. Как видно из графика, значимых изменений величины β по мере увеличения $\text{tg} \gamma$ не происходит, в силу чего допустимо принять в качестве лимитирующей постоянную величину β , равную 25° .

Три приведенные выше ограничения полностью обеспечивают выполнение контроля геометрической формы блока, так как по значениям выбранных лимитирующих параметров можно восстановить его форму.

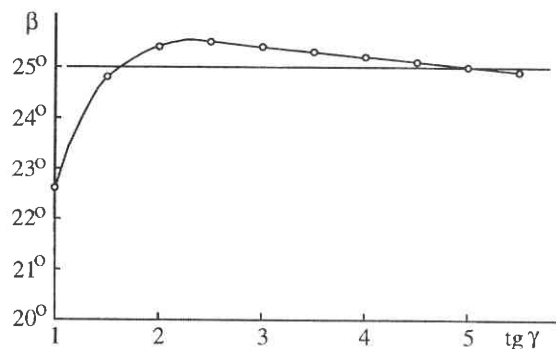


Рис. 2.33. Зависимость допустимого значения внутреннего угла оценочного блока β от степени его вытянутости $\text{tg} \gamma$ при $V = 2,6$

2.7. Особенности оценки неоднозначности модели гипсометрии в условиях угольных пластов крутого падения

В условиях месторождений с крутым залеганием пластов гипсометрический план выполняется в проекции на вертикальную плоскость. На нем, кроме линий земной поверхности, выхода пласта под наносы, точек пластоподсечений, разведочных линий и горизонтов (рис. 2.34) показываются границы подсчетных блоков (с указанием значений подсчетных параметров), тектонические нарушения, границы смены марочного состава и числовая информация по пластоподсечениям.

Нетрудно заметить, сколь мала информативность такого «плана» — каким бы ни была в действительности гипсометрия изучаемого пласта,

план 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. Основа плана несет крайне незначительный объем информации, пригодной для использования на стадиях проектирования и эксплуатации предприятий, и не дает возможности корректного выделения геологических подсчетных блоков по условию постоянства углов падения пласта в них, т. е. не гарантирует выполнения существующих требований к подсчету запасов. Пользуясь таким планом, невозможно оценить ожидаемые элементы залегания пласта в заданных его точках (что необходимо для расчета лямбда-критериев разведанности) и, более того, невозможно определить даже пространственные координаты самих этих точек.

Отсюда возникает необходимость проведения специальных построений, выполняемых перед началом собственно оценки неоднозначности. В их основе может лежать построение изолиний расстояний почвы пласта от заданной вертикальной плоскости проектирования. Общие принципы выполнения таких построений, практически реализуемые на некоторых рудных месторождениях, известны и были сформулированы в ряде работ П. А. Рыжова, Б. А. Ростовского и других.

Методика построений таких изолиний (которые впредь будем именовать изофронтальями) применительно к пластообразным угольным месторождениям сводится к следующему.

1. На карте выходов пластов под наносы (рис. 2.35), выполненной в проекции на горизонтальную плоскость, намечается положение вертикальной плоскости проектирования — прямая AB , примерно параллельная направлению преимущественного простираения пластов. Фиксируются точки E_1 , E_2 и т. д. ее пересечения с разведочными линиями и

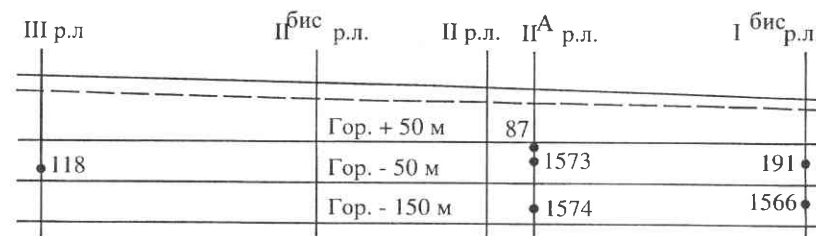


Рис. 2.34. Вертикальная проекция пласта Кемеровского (ш. «Ягуновская»), выполненная традиционным способом

измеряются острые углы α_1 , α_2 и т. д. между ней и направление разведочных линий. При проведении линии AB нет необходимости обращать внимание на то, по какую сторону от линии выхода пласта под наносы она будет находиться. Пересечение проекцией плоскости проектирования AB линии выхода пласта под наносы (рис. 2.35) приводит лишь к возможности появления изофронталей с нулевыми и отрицательными значениями расстояний.

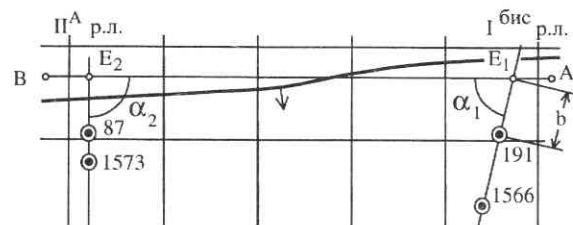


Рис. 2.35. Построение проекции вертикальной плоскости проектирования на карте выходов пластов под наносы

2. Точки E_1 , E_2 , ... переносятся на геологические разрезы, и через них проводятся следы их пересечения с плоскостью проектирования — вертикальные линии E_1T_1 , E_2T_2 и т. д. (рис. 2.36). В качестве опорных точек для переноса используются устья разведочных скважин, показываемых, как известно, одновременно на разрезах и на планах. Т. е. перенос осуществляется путем откладывания на разрезе от устья опорной скважины (например, от скважины номер 191 на разведочной линии $I^{бис}$ на рис. 2.36) расстояния (измеренного на карте выходов пластов под наносы) до точки пересечения плоскости проектирования и разведочной линии (расстояния b на рис. 2.35).

3. На разрезах отыскиваются принадлежащие почве пласта точки D_1 , D_2 , ..., удаленные от плоскости проекции на расстояние, равное значению отстраиваемой изофронталей F . Естественно, что данное расстояние должно определяться по направлению нормали к плоскости проектирования. Поэтому, поскольку фактически направления прямой AB и линий разрезов далеко не всегда ортогональны, точки D_i отыскиваются на разрезах как точки, удаленные от вертикальных линий E_iT_i на расстояния L_i , определяемые индивидуально для каждого i -го разреза по формуле:

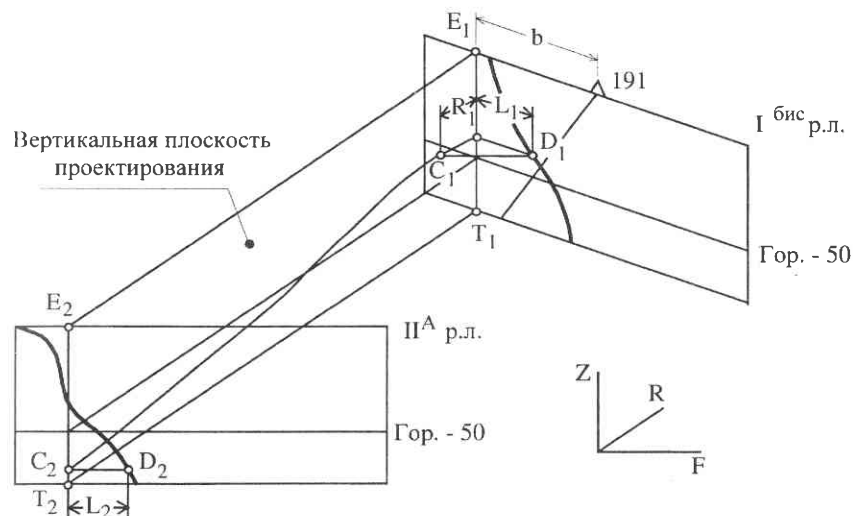


Рис. 2.36. Методика построения изофронталей пласта

$$L_i = \frac{F_i}{\sin \alpha_i}. \quad (2.23)$$

Естественно, что в случае если $\alpha_i = 90^\circ$, то $L_i = F_i$. Используя показанную на разрезах сетку высот, измеряются высотные отметки всех выделенных точек D_i .

4. На вертикальной плоскости проектирования показываются положения линий ее пересечения с плоскостями разрезов (E_iT_i) и наносятся горизонты в балтийской системе высот.

5. Точки D_i переносятся с разрезов на вертикальную плоскость проектирования в соответствующие им точки C_i . В случае если угол $\alpha_i = 90^\circ$, то точка D_i (например, точка D_2 на рис. 2.36) будет проектироваться в точку C_i (C_2 на рис. 2.36), 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. 2.36) соответствующие точки C_i , имея равную с D_i отметку, будут смещены относительно линии E_iT_i на расстояние R_i , вычисляемое по формуле:

$$R_i = F_i \operatorname{ctg} \alpha_i. \quad (2.24)$$

6. Через все полученные точки типа C_j в соответствии с приемами, применяемыми при построении изолиний методом ступенчатых отметок [17], проводится линия изофронталей.

Поскольку при разведке пластов крутого падения, помимо разрезов и подсчетных планов в проекции на вертикальную плоскость, геолого-разведочными организациями выполняется и построение планов отдельных горизонтов (см. рис. 2.37, выполненный в аксонометрической проекции), то на практике возникает дополнительная информация, не учитываемая в описанной выше общей методике построения изофронталей. Ее учет производится следующим образом (рис. 2.37).

1. Положение проекции вертикальной плоскости проектирования переносится на каждый из имеющихся погоризонтных планов (линии $AB, A'B'$). Перенос осуществляется обычно путем ее копирования с карты выходов пластов под наносы.

2. На погоризонтных планах отыскиваются точки типа D_j , удаленные от плоскости проектирования (по направлению нормали к ней) на расстояние F , равное значению отстраиваемой изофронталей. Эти точки проектируются на горизонтальный след (AB) плоскости проекции в

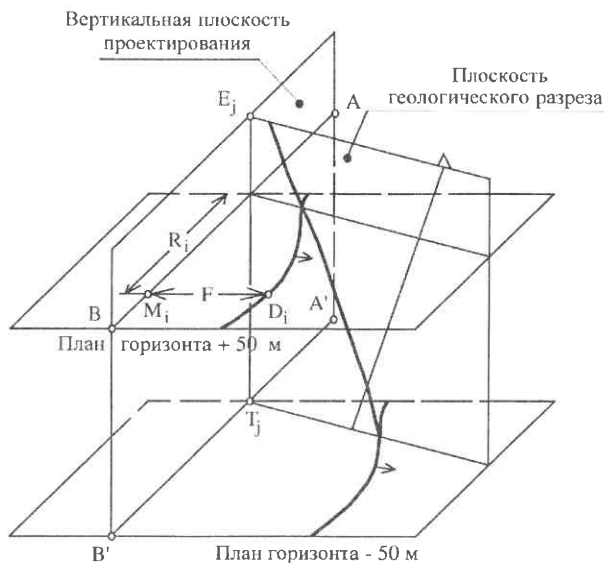


Рис. 2.37. Использование погоризонтных планов при построении изофронталей

точки M_i . Производится измерение расстояний R_i от точек M_i до линии пересечения плоскости проекции с ближайшим геологическим разрезом $E_j T_j$.

3. По значениям расстояний R_i и отметкам погоризонтных планов точки M_i переносятся на вертикальную плоскость проекции (рис. 2.38).

4. Через точки типа C_i (определенных в ходе применения ранее описанной общей методики построения фронтальной проекции) и точки типа M_i проводится соответствующая изофронталь.

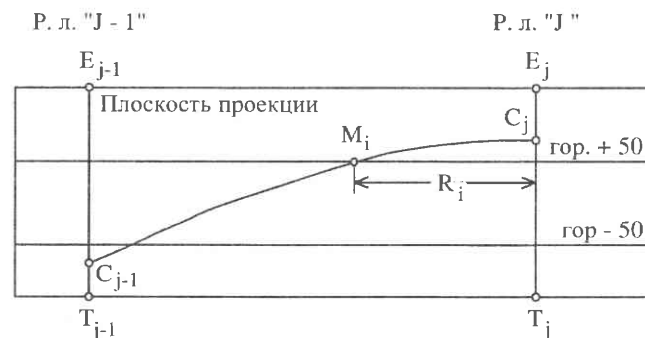


Рис. 2.38. Использование при построении изофронталей дополнительных точек, получаемых с помощью погоризонтных планов

В случае, когда залегание пласта осложнено складчатой структурой, точки типа M_i могут встречаться на плане горизонта несколько раз. Построение изофронталей в данном случае имеет некоторые особенности.

Пусть, например, на горизонте ± 0 м (рис. 2.39) 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. Для ее построения на горизонте ± 0 м выбирается дополнительная точка O , находящаяся между точками M и N и наиболее удаленная от плоскости проекции. На соседних горизонтах также отмечается положение дополнительных точек P и K , аналогичных по расположению точке O . Все выделенные точки переносятся на плоскость проекции (рис. 2.40). При этом рядом с точками выписываются величины их удаления от плоскости проекции, измеренные на погоризонтных планах. Затем проводят вспомогательные направления $K'O'$ и $P'O'$ и путем интерполяции на

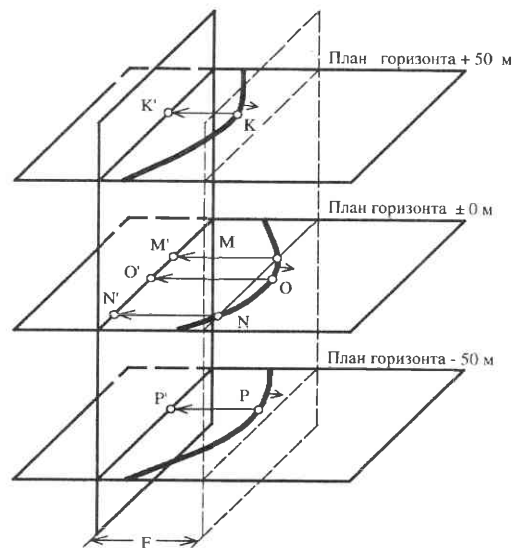


Рис. 2.39. Подготовка данных для построения замкнутой изофронталы

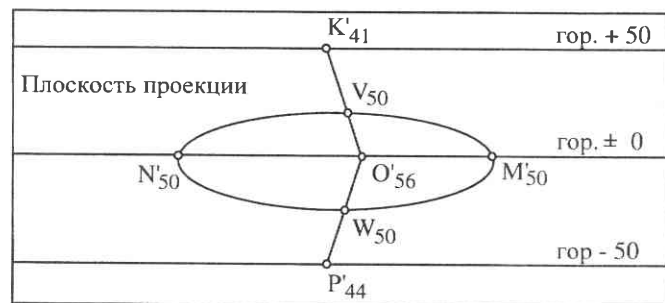


Рис. 2.40. Построение замкнутой изофронталы

них находятся точки V и W , имеющие ожидаемое удаление F (50 м в примере) от плоскости проекции. Положение изофронталы фиксируется кривой, плавно соединяющей точки M' , N' , V и W .

Естественно, что на практике в ходе построений могут отыскиваться несколько различных точек типа O' , K' и P' .

На рис. 2.41 приведены результаты применения описанной методики к ранее упомянутым (рис. 2.34) материалам разведки пласта Кемеровского.

С помощью модели предлагаемого вида можно не только легко определить угол падения пласта в любой точке и по любому направлению, но и представить и оценить форму залегания угольного пласта в недрах, ее изменчивость и путем несложных дополнительных построений определить пространственные координаты любой точки пласта. Из приведенных выше описаний ясно, что построение изофронталей является достаточно трудоемким процессом, не входящим к тому же в обязательный комплекс геологических камеральных работ. Однако он, как это следует из вышеизложенного алгоритма, достаточно просто поддается компьютеризации.

Выбор сечения изофронталей может быть надежно осуществлен лишь непосредственно в ходе их построений путем доведения их до плотности, когда изофронталы с половинным, относительно принятого, сечением будут проходить на середине расстояния между ранее построенными изолиниями (см. параграф 2.3). Исходное для последующего уменьшения сечение изофронталей h_ϕ может быть определено по формуле:

$$h_\phi = h / \operatorname{tg} \delta, \quad (2.25)$$

где h — рациональное сечение изогипс, установленное описанными в параграфе 2.3 математическими методами;

δ — среднее значение угла падения пласта по оцениваемому участку.

После завершения построения изофронталей приступают к подготовке исходных данных для расчета лямбда-критериев разведанности. Для этого создается условная система координат $X'OY'$ (координатная сетка системы показана линиями на рис. 2.42).

В принятых осях системы графически определяются координаты плаstopодсечений (например, для подсечения номер 191 $X' = 114$ мм и $Y' = 575$ мм). Третья, высотная координата Z' , равная расстоянию от подсечения до плоскости фронтальной проекции, определяется либо путем непосредственных измерений на геологических разрезах, либо с использованием построенных линий изофронталей (например, для подсечения 191 $Z' = 44$ м). Далее из точек плаstopодсечений перпендикулярно ближайшим изофронталам проводятся направления линий падения (линии со стрелками на рис. 2.42) и определяются их дирекции-

онные углы (используемые при расчете критериев на ЭВМ) или острые углы между ними и направлениями диагоналей выделенных оценочных блоков (используемые при ручном расчете критериев).

При использовании условной системы координат угол падения пласта в точке подсечения определяется путем построения разрезов вдоль линий падения (см. рис. 2.12). При высокой плотности изофронталей (к которой, безусловно, следует стремиться при их построении) возможно использование также линейки заложений.

Линейка заложений изготавливается на плотной основе следующим образом. На основу наносятся две горизонтальные линии, удаленные друг от друга (в масштабе изофронтальной проекции) на величину сечения изофронталей h_ϕ (рис. 2.43). Под нижней линией (AC) располагается, впоследствии отдельно выделяемая, собственно панель линейки (тонально выделенная на рисунке). Через точку A, произвольно

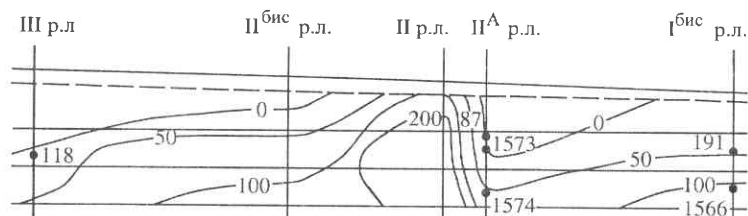


Рис. 2.41. Изофрантали почвы пласта Кемеровского

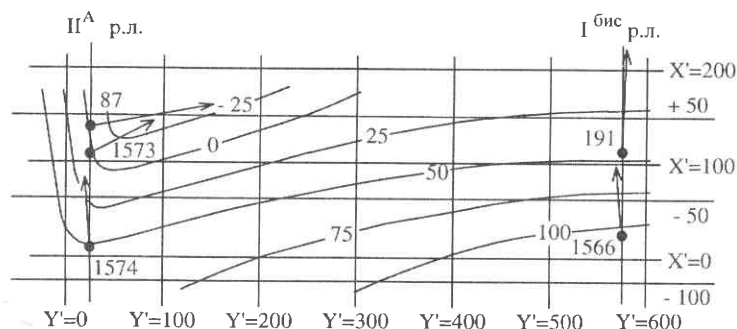


Рис. 2.42. Работа с изофронтальной проекцией по сбору данных для расчетов лямбда-критериев разведанности

помещаемую в начале панели линейки, проводится вертикальная линия, соответствующая углу падения 90° . Затем из точки A проводится под планируемыми к нанесению на панель линейки углами δ к AB серия наклонных прямых вида AB. Каждая из точек B проектируется на линейку в точки C, через которые проводятся и оцифровываются шкаловые линии.

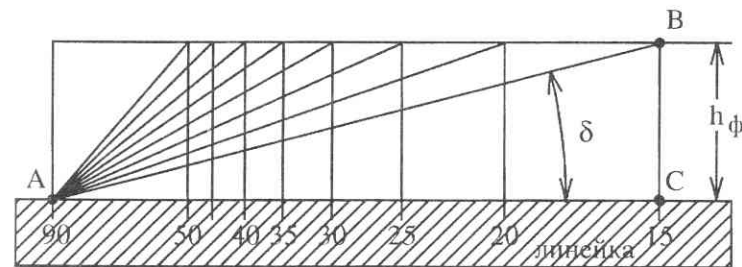


Рис. 2.43. Разметка линейки заложений

Измерение углов падения пласта в пространстве между изофронталами производится следующим образом (рис. 2.44).

Линейка располагается между изофронталами по направлению линии падения таким образом, чтобы шкаловая линия 90° (точка A) совпадала с одной из изофронталей. На линейке отыскивается положение точки B, совпадающей с другой изофранталю, и определяется соответствующей ей отсчет — искомый угол падения пласта в условной системе координат (на рис. 2.44 он равен 26°). При построении и использовании линейки следует иметь в виду неравномерный характер шкалы, в силу чего целесообразно выполнять шкалу с переменной величиной ее шага.

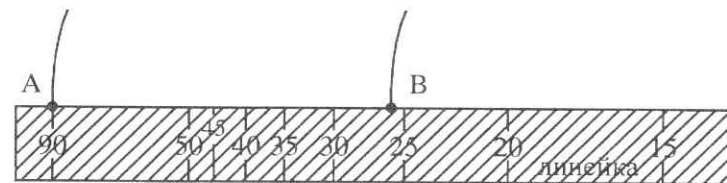


Рис. 2.44. Определение углов падения топоповерхности с помощью линейки заложений

По завершении сбора вышеперечисленных данных они обрабатываются по описанным выше схемам вручную или с помощью ЭВМ, в результате чего получают значения лямбда-критериев.

Следует заметить, что указываемые в бланках расчетов и выдачи результатов значения критериев в вертикальном направлении являются в действительности значениями критериев в горизонтальном направлении, ортогональном к плоскости фронтального проектирования. Получаемые в ходе расчетов критерии, обозначенные как измеренные в нормальном к пласту направлении, полностью соответствуют такому определению.

2.8. Проектирование сети дополнительных замеров, обеспечивающей заданную степень однозначности модели гипсометрии

Если в результате оценки делается вывод о недостаточном уровне достоверности модели гипсометрии геологического объекта, то это неизбежно приводит к возникновению вопроса о необходимой и достаточной плотности и конфигурации сети разведочных скважин. Естественным, что данный вопрос относится в большей степени к компетенции принимаемой для выполнения работ геологоразведочной организации. Однако в силу естественного существования у геологоразведчиков собственных интересов (например, стремления к увеличению объема заказа, объективных трудностей в установке буровых станков на площадях со сложным рельефом местности, повышенной аварийностью бурения через подработанную толщу горных пород и т. д.), недропользователю необходимо иметь собственное представление о необходимой плотности разведочной сети.

Так как решающим фактором при проектировании разведки в условиях большинства угольных бассейнов и месторождений является степень изученности гипсометрии пластов, то для практических целей вполне достаточно производить проектирование сети скважин только по данному фактору. Скважины узкоспециализированного назначения, уточняющие, например, положение выхода пласта под наносы, могут быть запроектированы отдельно, тем более что проведение таких скважин целесообразно осуществлять в основном уже после выполнения предварительных проектных работ по выбору мест заложения вскрывающих выработок. Кроме того, следует помнить и о совершенно обоснованной практике увеличения расчетного объема буровых работ на 10 % для решения непредвиденно возникающих проблем. В связи с

этим предприятию, финансирующему геологоразведку, целесообразно заранее юридически оговорить с исполнителем работ обязательное согласование с заказчиком необходимости проведения каждой скважины в счет резервного фонда. В противном случае неизбежно немотивированное его расходование, а ведь стоимость 1 м скважины в настоящее время 110–120 долларов.

Проектирование необходимой плотности и конфигурации сгущающей разведочной сети может быть осуществлено на основании установления для объекта эмпирической зависимости между снижением неоднозначности модели гипсометрии и увеличением плотности сети скважин.

На основании многочисленных экспериментальных работ установлено, что соотношение площадей двух «накладываемых» друг на друга оценочных блоков (S_M малого блока 1-2-5-4 и S_B большого блока 1-3-7-6 – рис. 2.45) и соотношение значений их лямбда-критериев (λ_M для малого блока и λ_B для большого блока) взаимосвязаны следующим образом [45]:

$$n = \frac{\lambda_B + K}{\lambda_M}, \quad (2.26)$$

где $n = S_B / S_M$ – отношение площадей проекций большого и малого блока, характеризующее отношение плотности разведочных сетей.

Числовой коэффициент K устанавливается для каждого объекта индивидуально и связан с геологической сложностью изучаемого объекта. Например, по результатам детальной разведки полей установлено, что для условий шахты «Нагорная» в Байдаевском районе Кузбасса (II группа сложности) $K = 1,7$ м, для участка Ровненского Кемеровского райо-

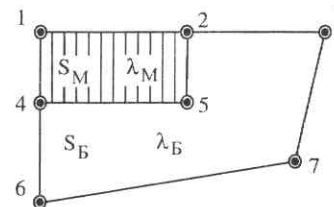


Рис. 2.45. Взаимосвязь площадей и лямбда-критериев «наложенных» друг на друга оценочных блоков

на Кузбасса (III группа сложности) $K = 4,5$ м и, наконец, для очень сложного поля углеразреза «Ургунский» Горловского месторождения Новосибирской области $K = 13,2$ м.

Кроме того, экспериментально установлено [45], что предрассчитать ожидаемую неоднозначность геометрической модели гипсометрии в результате более чем четырехкратного сгущения сети скважин невозможно. Таким образом, если для рассматриваемого контура будет определено (по формуле 2.26), что n должно превышать 4, то в его пределах целесообразно равномерно сгустить сеть скважин в четыре раза. После реализации такого равномерного сгущения необходимо выполнить соответствующие построения, произвести оценку их достоверности и при неудовлетворительной их надежности осуществить проектирование сети новых дополнительных скважин.

Приведенные выше результаты являются экспериментальным доказательством идеи стадийности геологоразведочных работ. В соответствии с современным законодательством официально сохранены лишь две стадии — поиска и разведки. Однако заказчика геологоразведочных работ такое укрупненное деление не должно удовлетворять, равно как и использование ранее действующего разделения (детальные поиски, предварительная разведка, детальная разведка и т. д.). Для обеспечения наиболее дешевой и качественной разведки целесообразно в современных условиях (при высокой стоимости бурения и низкой стоимости камеральных работ) дробить процесс геологического изучения на как можно более мелкие единицы и обновлять структурные построения практически после проведения каждой группы и даже каждой отдельной скважины. В реализации такого подхода, который был впервые сформулирован в 1927 г. [38], в аналогичных сегодняшним условиям огромную роль могут сыграть компьютерные, прежде всего геоинформационные, системы.

Методика расчета коэффициента K , используемого в предрасчетной формуле 2.26, сводится к следующему.

По имеющейся сети скважин, обязательно прошедшей проверку правомерности построения гипсометрического плана (рис. 2.46,а), выделяются «большие» блоки, превышающие по площади блоки, выделяемые в ходе практического расчета λ -критериев (блоки полной сети скважин: 1-2-5-4, 2-3-6-5, 4-5-8-7 и 5-6-9-8 на рис. 2.46,г), примерно в два (1-3-6-4 и 4-6-9-7 на рис. 2.46,в) — четыре (1-3-9-7 на рис. 2.46,б) раза. Определяются площадь каждого блока и значение лямбда-критерия в нем.

При выделении «больших» блоков следует стремиться к тому, чтобы по форме (прежде всего, по вытянутости, т. е. отношению коротких и длинных сторон четырехугольников) они напоминали блоки полной сети. После этого формируются группы соответствующих друг другу «малых» и «больших» блоков. Причем один и тот же блок может выполнять функции как «большого», так и «малого».

В табл. 2.13 приведен пример расчета коэффициента K по данным рис. 2.46. Строки колонки 7 заполняются только в случае, если для нее одновременно выполняются два условия: $S_B / S_M \leq 4$ и $\lambda_B > \lambda_M$, т. е. при ее заполнении возможно возникновение пустых строк. После заполнения таблицы находятся алгебраическая сумма чисел по колонке 8 (U) и количество заполненных строк этой колонки (r). Значение коэффициента K рассчитывается по формуле:

$$K = U / r. \quad (2.27)$$

Для практической реализации описанной методики используется программа «PRS» для ЭВМ, полностью совместимая по данным с упомянутой выше программой «DRU». Определение вида предрасчетной формулы 2.27 осуществляется в ней в специальном режиме «Зависимость». При работе в нем пользователь последовательно выделяет на экране «большие» («исходные») блоки (один из них выделен на рис. 2.47

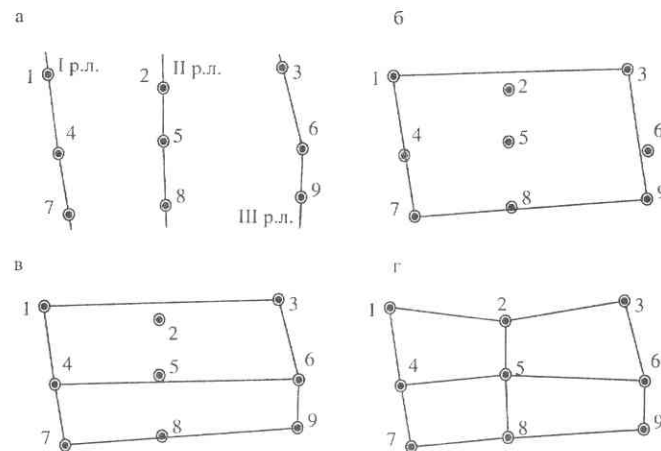


Рис. 2.46. Методика расчета коэффициента K

утолщенными линиями) с наложением на каждый из них «малых» («вторичных») блоков. По завершении формирования групп блоков происходит автоматический расчет коэффициента K .

Процесс проектирования сгущающей сети скважин реализуется программой «PRS» интерактивно.

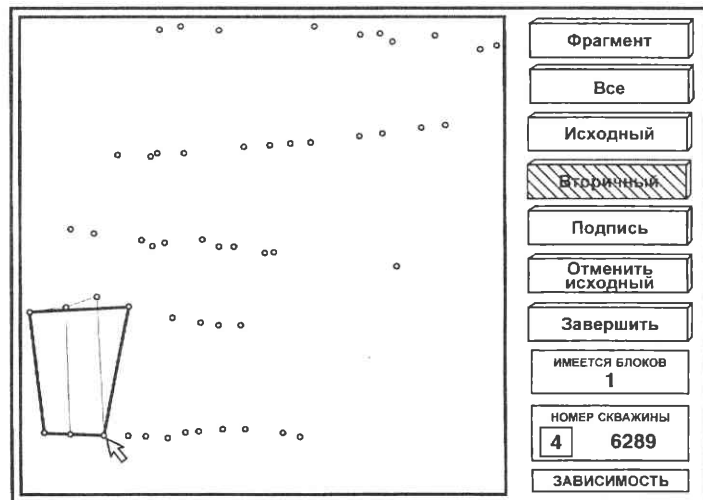


Рис. 2.47. Изображение на экране ЭВМ при работе в режиме формирования предрасчетной зависимости по программе «PRS»

Таблица 2.13

Расчет коэффициента K

Вершины «большого» блока	S_B	λ_B	Вершины «ма- лого» блока	S_M	λ_M	$\lambda_M(S_B/S_M) - \lambda_B$	№ пары блоков
1 – 3 – 9 – 7	S_1	λ_1	1 – 3 – 6 – 4	S_2	λ_2	$\lambda_2(S_1/S_2) - \lambda_1$	1
			4 – 6 – 9 – 7	S_3	λ_3	$\lambda_3(S_1/S_3) - \lambda_1$	2
			1 – 2 – 5 – 4	S_4	λ_4	$\lambda_4(S_1/S_4) - \lambda_1$	3
			2 – 3 – 6 – 5	S_5	λ_5	$\lambda_5(S_1/S_5) - \lambda_1$	4
			4 – 5 – 8 – 7	S_6	λ_6	$\lambda_6(S_1/S_6) - \lambda_1$	5
			5 – 6 – 9 – 8	S_7	λ_7	$\lambda_7(S_1/S_7) - \lambda_1$	6
1 – 3 – 6 – 4	S_2	λ_2	1 – 2 – 5 – 4	S_4	λ_4	$\lambda_4(S_2/S_4) - \lambda_2$	7
			2 – 3 – 6 – 5	S_5	λ_5	$\lambda_5(S_2/S_5) - \lambda_2$	8
4 – 6 – 9 – 7	S_3	λ_3	4 – 5 – 8 – 7	S_6	λ_6	$\lambda_6(S_3/S_6) - \lambda_3$	9
			5 – 6 – 9 – 8	S_7	λ_7	$\lambda_7(S_3/S_7) - \lambda_3$	10
Сумма						$U = S \{ \lambda_i (S_j / S_i) - \lambda_j \}$	r

Для этого пользователь указывает значение лямбда-критерия, которое необходимо достичь после завершения разведки участка. Затем последовательно выделяются оценочные блоки, охватывающие по возможности все существующие скважины разведочной сети (аналогично процессу квадриангулирования в программы «DRU»). После выделения каждого блока (показан на рис. 2.48 утолщенными линиями) автоматически анализируется состояние его разведанности и формируется один из трех выводов:

- в сгущении сети разведочных скважин нет необходимости;
- необходимо равномерное (четырехкратное) сгущение сети;
- необходимо производство сгущения сети.

В случае генерации двух последних выводов на экране возникает заштрихованный квадрат. Его площадь, равная площади ячейки сети (S_{mp}), обеспечивающей достижение требуемого значения лямбда-критерия (λ_{mp}), определяется по формуле:

$$S_{mp} = \frac{S_{исх} \cdot \lambda_{пр}}{\lambda_{исх} + K}, \quad (2.28)$$

где $\lambda_{исх}$ и $S_{исх}$ — значения лямбда-критерия в рассматриваемом оценочном блоке и его площадь.

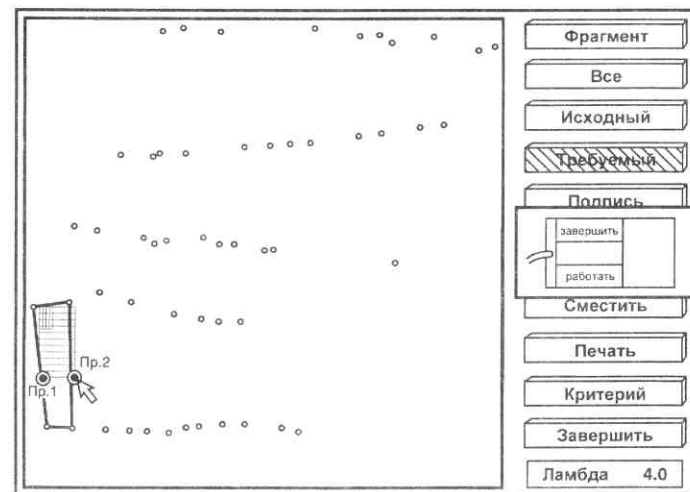


Рис. 2.48. Изображение на экране ЭВМ при работе в режиме проектирования сети разведочных скважин по программе «PRS»

Данный квадрат может перемещаться по экрану и трансформироваться в прямоугольники. Практически рекомендуется трансформировать квадрат в прямоугольник с вытянутостью, соответствующей вытянутости ячейки разведочной сети. Пользуясь прямоугольником как подсказкой, по конфигурации и площади ячейки проектной разведочной сети вручную намечается положение проектных скважин (например, скважин «Пр.1» и «Пр.2», показанных на рис. 2.48).

После завершения работ по определению положения дополнительных проектных точек пластоподсечений для всех оценочных блоков производится их общая корректировка и увязка. В ее ходе проектные скважины объединяются в самостоятельные разведочные линии, включаются в состав существующих (в том числе диагональных) линий, перемещаются с целью увязки разведочных сетей различных пластов, оптимизации их количества и т. д.

В некоторых случаях, особенно на начальных стадиях изучения сделанных предложений, инвестору достаточно иметь лишь приблизительную оценку требуемой плотности разведочной сети. Производство такой экспресс-оценки может быть осуществлено на основе использования описанной выше кривой разведанности и заданного уровня разведанности запасов участка. Данный уровень обычно определяется через требуемое соотношение запасов различной категории разведанности и рассчитывается по формуле:

$$\lambda_3 = 3D_A + 10D_B + 20D_{C_1}, \quad (2.29)$$

где D_A, D_B, D_{C_1} — планируемая доля запасов категорий A, B, C_1 .

Например, пусть в результате разведки площади первоочередной отработки пласта XXXI чрезвычайно простого в тектоническом отношении участка «Плотниковский» требуется обеспечить получение 60 % запасов категории A и 40 % запасов категории B . Тогда $\lambda_{тр}$ составит: $3 \cdot 0,60 + 10 \cdot 0,40 + 20 \cdot 0,00 = 5,8$ м. Затем на оси лямбда-критериев кривой разведанности пласта (рис. 2.49) откладывается значение $\lambda_{тр}$ и находится соответствующая ей точка кривой T . Необходимая площадь ячейки разведочной сети $S_{тр}$ определяется по оси площадей, по положению точки T (в данном примере эта площадь составляет 636 тыс. м²).

Общее потребное число ячеек на участке J определяется путем деления его общей площади (5,6 км² в примере) на среднюю площадь ячейки $S_{тр}$. В рассматриваемом случае $J = 5600 / 636 = 9$. Для быстрого перехода от числа ячеек J к необходимому числу скважин n можно использовать корреляционную зависимость, характеризующуюся среднеквадратической погрешностью в ± 2 скважины:

$$n = 4,8 + 1,22 \cdot J. \quad (2.30)$$

Для данного примера $n = 4,8 + 1,22 \cdot 9 = 16$. Дополнительный учет вероятной погрешности оценки (± 2) приводит к $n = 16 + 2 = 18$. Таким образом, для достижения заданной достоверности запасов участка необходимо иметь 18 скважин. Поскольку на момент выполнения экспресс-проектирования на участке уже было пройдено 7 скважин, то дополнительно требуется пробурить только 11. При их средней глубине в 110 м это соответствует объему бурения в 1210 м, а с учетом 10 % рекомендуемого резерва — 1330 м. Это при стоимости суммарных затрат на проведение 1 м скважины в 110 долларов позволяет оценить общие затраты на доразведку в 146 тысяч долларов.

При рассмотрении результатов экспресс-анализа следует учитывать то обстоятельство, что он ориентирован на достижение лишь средней заданной разведанности и не гарантирует выделения значительных по площади равноизученных контуров (за счет вероятной чересполосицы блоков с различной категорией запасов). Поэтому, хотя резервные скважины и в состоянии несколько сгладить этот недостаток, описанный экспресс-подход рекомендуется для предварительных и контрольных расчетов. Кроме того, он достаточно эффективен и при проектировании разведки новых участков, когда начальная разведочная сеть априори не рассматривается как окончательная. В этом случае для проектирования может быть использована кривая разведанности не рассматриваемого, а аналогичного ему участка.

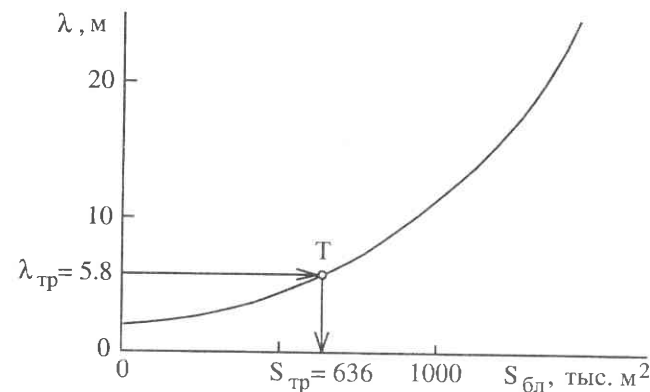
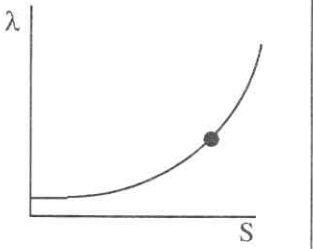
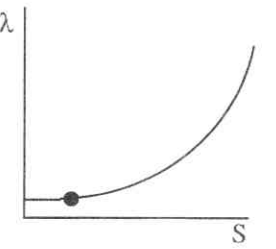


Рис. 2.49. Экспресс-метод определения требуемой плотности разведочной сети с помощью кривой разведанности

Однако кривую разведанности целесообразно использовать и в случае применения ранее описанного метода поскважинного проектирования углеразведки.

Таблица 2.14

Таблица решений по оценке целесообразности повсеместного сгущения разведочной сети по участку

Повсеместное сгущение	
А. Целесообразно	Б. Нецелесообразно
	
● - точка, соответствующая достигнутой разведанности	

Если в результате анализа выяснится, что точка этой кривой, соответствующая уже достигнутой средней разведанности, находится на начальном пологом ее участке (случай Б в табл. 2.14), то это свидетельствует о нецелесообразности повсеместного сгущения сети скважин. Отметим, что в этом случае традиционные (опирающиеся на ориентационные рекомендации ГКЗ и интуитивно-опытные подходы) методы проектирования оказываются не только малоэффективными, но и часто просто бессильными и серьезно проигрывают изложенным методам. В ситуации, противоположной рассмотренной (случай А в табл. 2.14), повсеместное сгущение сети является обоснованным и эффективным.

2.9. Значения лямбда-критериев разведанности для различных категорий разведанности запасов

Традиционной и официально принятой формой учета степени разведанности запасов полезных ископаемых является присваиваемая им категория. Как уже указывалось, эта ранговая оценка весьма субъектив-

на, учитывает несколько групп признаков и не имеет узаконенных количественных классификационных характеристик. Однако ясно, что каждая из четырех категорий должна обладать определенной точностью моделирования гипсометрии, убывающей по мере перехода от высшей категории А к низшей категории С₂. Поскольку категория запасов является искусственно введенным понятием, то соответствие между ней и характерным для нее же уровнем неоднозначности моделей гипсометрии можно установить только на основе обработки представительного объема официально утвержденных результатов категоризации.

Для определения значений лямбда-критериев разведанности, наиболее вероятных для различных категорий запасов, была собрана информация о 1170 оценочных блоках первых трех категорий, в установленном порядке утвержденных Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых. Объем выборки является явно избыточным для установления парной зависимости «значение лямбда-критерия — категория запасов». Выборка формировалась по материалам разведки девяти шахт Кузбасса: «Бирюлинская», им. Кирова, «Чертинская», «Дальние горы», им. Дзержинского, им. Шевякова, им. Ленина, «Зыряновская» и «Редаково», которые находятся на территории семи геолого-промышленных районов Кузбасса: Кемеровского, Ленинского, Беловского, Прокопьевско-Киселевского, Араличевского, Байдаевского и Томусинского. Разнообразие сложности геологического строения объектов и значительное количество авторов категоризации обеспечивают получение наиболее представительной оценки значений критериев для различных категорий запасов.

Для определения наиболее вероятных граничных величин лямбда-критериев построены гистограммы распределения их значений отдельно для каждой из трех категорий запасов (рис. 2.50, а, б, в). Визуальная плавность гистограмм, свидетельствующая о достаточном количестве использованных исходных данных, позволяет ограничиться только графическим выражением законов распределения лямбда-критериев.

В результате наложения полученных экспериментальных кривых распределений друг на друга (рис. 2.51) установлены наивероятнейшие диапазоны изменения лямбда-критериев для категорий А и В. К сожалению, в связи с незначительным количеством оконтуренных скважинами подсчетных блоков категории С₂, верхнюю границу для категории С₁ статистически установить невозможно. Поэтому она может быть установлена только экспертно. На основании опыта практической работы авторов можно рекомендовать в качестве верхней границы категории С₁ значение $\lambda = 50$ м.

Дополнительно, несмотря на положительные результаты визуального контроля гистограмм, при обработке материалов проверялась гипотеза об однородности средних значений лямбда-критериев для различных категорий запасов. Результаты расчетов (табл. 2.15) с высокой степенью вероятности свидетельствуют об их неоднородности, т. е. о неслучайном характере отличия от общего среднего.

Таблица 2.15

Проверка гипотезы об однородности средних значений лямбда-критериев для различных категорий запасов

Категория запасов	Среднее значение λ , м	Среднеквадратическое отклонение λ от среднего — σ , м	Вероятность неоднородности средних значений λ
A	8,20	8,02	0,999
B	9,61	7,58	0,999
C ₁	16,50	12,88	0,999
A + B + C ₁	11,23	10,90	

Таким образом, невероятнейшими границами между категориями запасов по фактору неоднозначности горно-геометрического моделирования гипсометрии являются: $0 \leq \lambda \leq 7$ м — для категории A; $7 < \lambda \leq 13$ м — для категории B и $13 < \lambda \leq 50$ м — для категории C₁.

Интересно совпадение установленных границ категорий с рекомендуемыми ВИОГЕМОм среднестатистическими погрешностями интерполяции отметок железорудных залежей [22]: для категории A — 4 м, B — 10 м и C₁ — 20 м.

По рассмотренным «угольным» данным, если интерпретировать лямбда-критерий в соответствии с результатами, приведенными ниже в параграфе 2.11, эти погрешности равны: для категории A — 4 м, B — 7 м и для C₁ — 29 м.

Полученные границы значений лямбда-критериев могут использоваться для оценки степени надежности утвержденной категоризации запасов по фактору гипсометрии. Экспресс-вариант этой оценки состоит в сравнении величины λ_z (рассчитанной по формуле 2.29 на основании указанных долей запасов различных категорий: D_A, D_B, D_{C_1}) с фактическим средним значением критерия λ_c .

Например, по результатам предварительной разведки контура марочных углей пологой части участка «Соколовский» 66 % запасов были отнесены ТКЗ к категории B и 34 % — к категории C₁. В соответствии с этим λ_z составляет: $2 \cdot 0,00 + 10 \cdot 0,66 + 20 \cdot 0,34 = 13,4$ м. Фактическое

же среднее значение критерия разведанности для участка составило всего 6,2 м. Налицо явное противоречие, требующее объяснения. Оно может состоять как в имеющей место недоизученности других факторов: мощности пласта, зольности и т.д. (что требует производства соответствующих исследований, методика проведения которых будет изложена ниже), так и с сознательным занижением разведанности объекта.

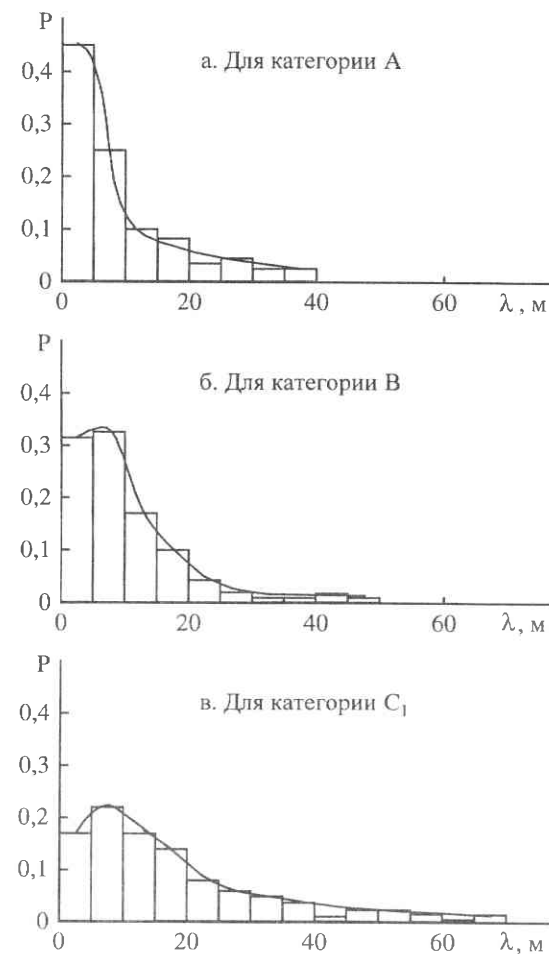


Рис. 2.50. Гистограммы распределения значений лямбда-критерия для различных категорий запасов

При более глубоком рассмотрении материалов разведки выяснилось, что авторы геологического отчета первоначально предлагали оценить 30 % запасов по категории *A*, 36 % — по категории *B* и 34 % — по категории *C₁* (следовательно, $\lambda_p = 3 \cdot 0,30 + 10 \cdot 0,36 + 20 \cdot 0,34 = 11,0$ м). Поэтому вероятно, что занижение разведанности в ходе рассмотрения материалов в ТКЗ было выполнено сознательно и связано с ведомственными интересами геологоразведочной отрасли. Такое действие позволило согласовать результаты разведки с ее стадией (поскольку предложенные авторами отчета соотношения запасов соответствуют стадии детальной, а не предварительной разведки) и обеспечить правомерность продолжения ведения на участке геологоразведочных работ.

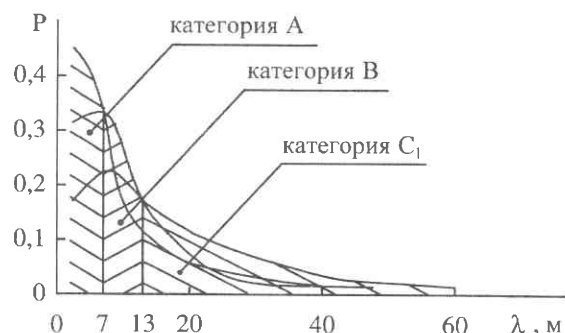


Рис. 2.51. Совмещенные кривые распределений значений лямбда-критериев разведанности для различных категорий запасов

Дальнейшее исследование достоверности материалов разведочных работ по участку позволило инвестору получить гарантию надежности геологоразведочной информации и отказаться от дорогостоящего доизучения участка, несмотря на то, что с юридических позиций участок мог быть принят в эксплуатацию только с учетом высокой степени горного риска и в порядке исключения (поскольку, относясь к I группе геологической сложности, он официально не располагал 20 % утвержденных запасов категории *A* и 30 % запасов категории *B*). В практике встречаются и противоположные случаи, когда формально хорошо разведанный участок фактически оказывается недоизученным.

Таким образом, сопоставление утвержденной и произведенной с помощью критериев разведанности категоризации запасов позволяет

получить важную дополнительную информацию, существенно влияющую на характер стратегических и тактических решений, принимаемых при освоении участков месторождений.

2.10. Влияние погрешностей измерений исходных данных на значения лямбда-критериев разведанности

Значения лямбда-критериев разведанности обусловлены действием трех основных факторов:

- техническими погрешностями измерений и определений данных по плаstopодсечениям;
- погрешностями применяемого метода интерполирования (метода построения горно-геометрической модели гипсометрии);
- погрешностями построений, связанными с наличием установленных или невыявленных тектонических нарушений.

Выявление уровня значений критериев разведанности, связанного только с влиянием технических погрешностей определений параметров, имеет важное значение при проведении анализа достоверности. Действительно, если в ходе исследований объекта будет установлено, что значения лямбда-критериев целиком обусловлены погрешностями измерений, то, несмотря на их значения, следует сделать вывод об его полной разведанности, т. е. об исчерпании информационных возможностей буровой разведки, проводимой с помощью определенного оборудования и методик.

Предрасчет значения лямбда-критерия, обусловленного только уровнем технических погрешностей исходных данных (λ_p), можно осуществить на основе известных методов теории погрешности измерений. Учитывая, что диагонали оценочных блоков пересекаются где-то в районе их середины, и предполагая равенство значений погрешностей однотипных характеристик по входящим в блок скважинам, можно записать:

$$\lambda_p = \sqrt{\Lambda_1^2 + \Lambda_2^2}, \quad (2.31)$$

где Λ_1 и Λ_2 — ожидаемые погрешности определения высотной отметки пласта в точке пересечения диагоналей четырехугольника соответственно по первой и второй его диагонали.

Расчет значения среднеквадратической погрешности Λ_p осуществляется по формулам:

$$\Lambda_j = FU_j^2 m_\delta^2 + FR_j m_R^2 + m_z^2, \quad (2.32)$$

$$FU_j = \frac{R_j}{458,4 \cos^2 \delta_j^{cp}}, \quad (2.33)$$

$$FR_j = [0,125 \operatorname{tg} \delta_j^{cp} + 3 \frac{\Delta Z_j}{R_j}]^2 + [0,625 \operatorname{tg} \delta_j^{cp} + 0,75 \frac{\Delta Z_j}{R_j}]^2, \quad (2.34)$$

где m_δ — среднеквадратическая погрешность определения угла падения пласта вдоль направления диагонали;

m_R — среднеквадратическая погрешность определения длины диагонали;

m_z — среднеквадратическая погрешность определения высотных отметок плаstopодсечений;

R_j — длина j -й диагонали;

ΔZ_j — разность высотных отметок замеров, формирующих j -ю диагональ;

δ_j^{cp} — среднее значение угла падения пласта по j -й диагонали.

Величина угла δ_j^{cp} рассчитывается исходя из значений углов падения пласта в начальной и конечной точках диагонали (δ_1 и δ_2):

$$\delta_j^{cp} = \arccos \frac{1,19 \cos \delta_1 \cos \delta_2}{\sqrt{\cos^4 \delta_1 + \cos^4 \delta_2}}. \quad (2.35)$$

Погрешность m_δ' , вычисляемого по формуле 2.7 значения угла падения пласта вдоль направления диагонали, обусловлена погрешностями значений угла падения (m_δ) и острого угла ΔA между направлением падения и направлением диагонали. Причем ясно, что последняя фактически равна погрешности определения направления падения пласта по подсчетному плану (m_α). Следовательно, в соответствии с теорией погрешностей наблюдений можно записать:

$$m_\delta' = \cos^2 \delta' \sqrt{\frac{\cos^2 \Delta A}{\cos^4 \delta} m_\delta^2 + \operatorname{tg}^2 \delta \cdot \sin^2 \Delta A \cdot m_\alpha^2}, \quad (2.36)$$

где δ' — угол падения пласта вдоль направления диагонали;

δ — угол падения пласта вдоль линии его падения.

Для оценки значения погрешности m_δ собран и проанализирован материал по сопоставлению углов падения, полученных по данным геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ. В качестве приме-

ра на рис. 2.52 приведена часть гистограмм распределения разностей упомянутых углов.

В результате статистической обработки данных установлено, что ожидаемая погрешность определения угла падения в отдельной точке пласта с помощью графической геологической документации изменяется от 2° до 7° и составляет в среднем $\pm 5^\circ$. Углы падения пластов, использованных при проведении сопоставлений, изменялись в пределах от 0° до 68° .

Погрешность графических измерений дирекционных углов направлений линий падения пласта m_α , определенная также путем сопоставления данных горных и разведочных работ, колеблется от 4° до 11° и в среднем равна $\pm 8^\circ$.

Учитывая полученные значения погрешностей, с приемлемой для практических целей точностью расчет m_δ' может выполняться по упрощенным формулам:

$$m_\delta' = 3,3 + 0,131 \cdot \delta - 0,005 \cdot \Delta A \text{ при } \Delta A \leq 30^\circ; \quad (2.37)$$

$$m_\delta' = 2,8 + 0,162 \cdot \delta - 0,021 \cdot \Delta A \text{ при } 30 < \Delta A \leq 60^\circ; \quad (2.38)$$

$$m_\delta' = 3,5 + 0,176 \cdot \delta - 0,045 \cdot \Delta A \text{ при } \Delta A > 60^\circ, \quad (2.39)$$

где δ и ΔA — значения углов в градусах.

Погрешность определения высотных отметок плаstopодсечений может быть установлена путем прямых сопоставлений данных горных и разведочных работ.

Для этого необходимо сравнить приведенные в геологическом каталоге координаты плаstopодсечений с их значениями, полученными в ходе инструментальной маркшейдерской съемки. Однако такой подход, в связи с реальным отсутствием подобных съемок, может быть реализован только в форме специально поставленных и значительных по длительности исполнения опытно-методических работ.

Результаты одного из наиболее глубоких исследований в данном направлении представлены в работе [17] и основаны на наблюдениях за 100 скважинами Донецко-Макеевского углепромышленного района. По приведенным в работе данным можно сделать вывод о том, что в интервале глубин 250–700 м плановая погрешность положения точки плаstopодсечения составляет около 0,032, а высотная — 0,004 от значения осевой глубины. По материалам иных исследований [14], общая ошибка планового положения точек относительно устья скважины изменяется (для типичных скважин Кузнецкого, Донецкого и Челябин-

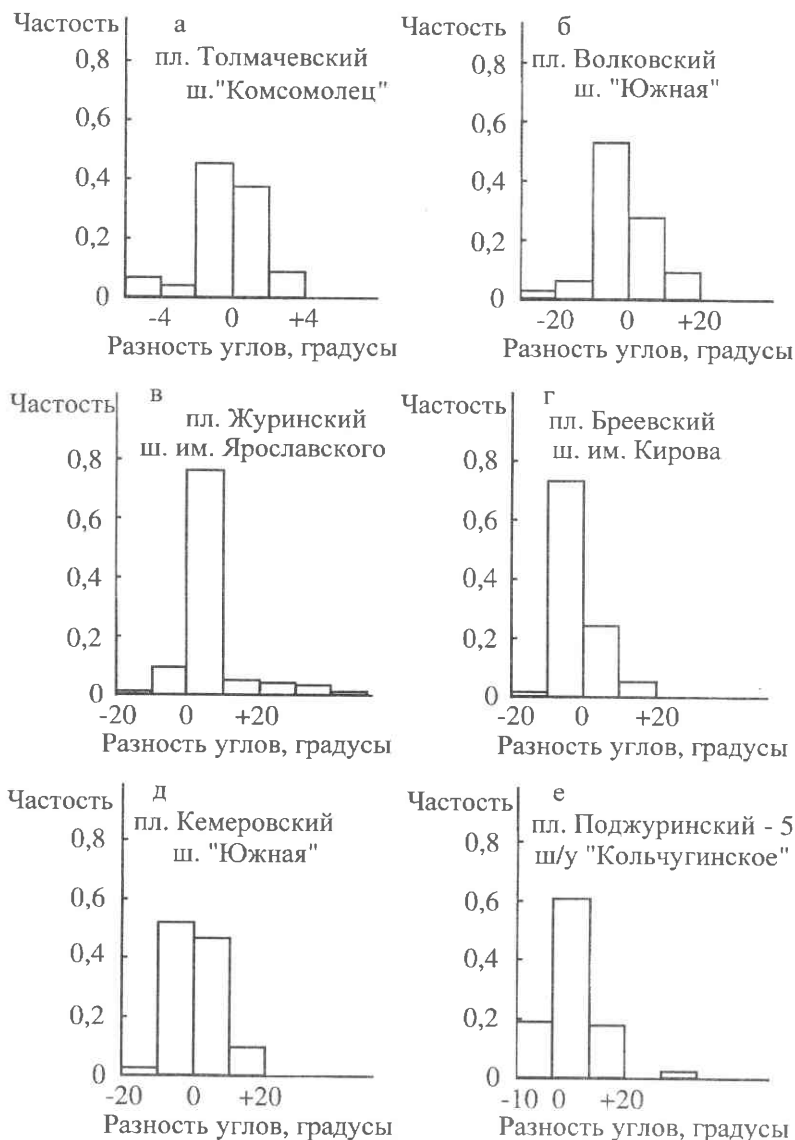


Рис. 2.52. Гистограмма распределения значений разностей углов падения по данным геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ

ского бассейнов) от 0,011 (для скважин малой кривизны) до 0,019 (для скважин большой кривизны) от их глубин.

В силу желательности установления значений упомянутых погрешностей для конкретных районов в короткие сроки и с незначительными затратами рассматриваемую задачу предлагается решать с помощью специального упрощенного способа [46], развивающего идеи, высказанные испанским военным геодезистом К.-А. Паладини применительно к топографическим съемкам земной поверхности [70].

Погрешности координат плаstopодсечений можно разделить на плановые (M_p) и высотные (M_z). Причем считается, что именно последнее в наибольшей степени сказывается в ходе структурных построений пластов. При этом, однако, не учитывается, что и плановая погрешность приводит к появлению дополнительной высотной ошибки, которую можно характеризовать как вторичную. Она возникает за счет приписывания измеренной в скважине (в точке А — рис. 2.53) высотной отметки пласта другой точке (В), удаленной от истинного положения плаstopодсечения на величину M_p , и равна:

$$M_{pz} = M_p \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (2.40)$$

где δ — угол падения пласта.

Ясно, что погрешность M_p является проекцией плановой ошибки M_s на линию падения пласта.

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

$$\Delta Z = M_p \cdot \operatorname{tg} \delta + M_z. \quad (2.41)$$

Линейный вид равенства 2.41 может быть заменен на квадратичный. Однако практика оценки ошибок измерений показывает, что такая замена в подобных случаях не ведет к росту точности описания процесса и только усложняет вычислительные процедуры. Для реальных диапазонов глубин разведки зависимость ошибок от глубины скважины с достаточной для практических целей точностью может быть представлена в линейном виде:

$$\Delta Z = H(m_p \cdot \operatorname{tg} \delta + m_z), \quad (2.42)$$

где H — глубина плаstopодсечения;

m_p , m_z — погрешности планового и высотного положения подсечения, приходящиеся на 1 метр глубины скважины.

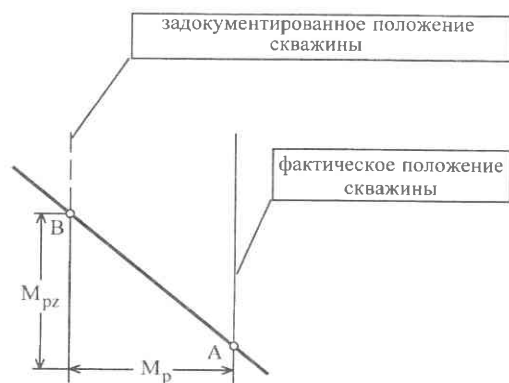


Рис. 2.53. Механизм возникновения вторичной высотной погрешности M_{pz} положения точки пластоподсечения

Имея ряд сопоставлений, можно сформировать систему из n уравнений вида 2.41, а решив ее с помощью метода наименьших квадратов, найти искомые погрешности m_p и m_z :

$$m_p = \frac{n \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i} \operatorname{tg} \delta_i - \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i}}{n \sum_{i=1}^n \operatorname{tg}^2 \delta_i - \left[\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i \right]^2}, \quad (2.43)$$

$$m_z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{H_i} - m_p \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \delta_i}{n}. \quad (2.44)$$

Собрать необходимый материал для оценки значений погрешностей координат пластоподсечений несложно. Для этого на плане горных работ (см. выкопировку с плана горных работ по пласту I поля шахты «Аларда» на рис. 2.54) находятся скважины, попадающие в отработанный контур. В окрестностях каждой такой скважины (например, 3184 на рис. 2.54) отыскиваются ближайшие к ней маркшейдерско-геологические замеры по оконтуривающим ее горным выработкам

(замеры C и D по вентиляционному и E и K по конвейерному штрекам № 23). Через точку пластоподсечения параллельно линии простирания пласта (т. е. параллельно его изогипсам) проводится линия $B-A$. Ближайшие друг к другу, но расположенные на различных штреках замеры (C , E и D , K) соединяются друг с другом. Находятся точки пересечения прямых $C-E$ и $D-K$ с $B-A$ — точки M и N . Поскольку точки M , N и само пластоподсечение находятся на одном горизонте пласта, то они должны иметь одинаковые высотные отметки. Их значения (Z_M и Z_N) рассчитываются с помощью линейной интерполяции между замерами, т. е. соответственно вдоль линий $C-D$ и $D-K$:

$$\begin{aligned} Z_M &= Z_C + CM \frac{Z_E - Z_C}{CE}; \\ Z_N &= Z_K + KN \frac{Z_D - Z_K}{KD}, \end{aligned} \quad (2.45)$$

где CM , CE , KN , KD — измеренные на плане без учета масштаба расстояния между соответствующими точками замеров;

Z_i — измеренные высотные отметки пласта в i -х точках.

Для рассматриваемого примера $CM = 23$ мм; $CE = 83$ мм; $KN = 65$ мм; $KD = 89$ мм и, следовательно, $Z_M = 195,1 + (151,5 - 195,1) \cdot 23/83 = 183,0$ м и $Z_N = 150,0 + (195,3 - 150,0) \cdot 65/89 = 183,1$ м.

Поскольку точка N расположена значительно ближе к скважине, чем точка M , то в качестве отметки по данным горных работ следует принять отметку Z_N . Тем не менее определение отметки точки M не является избыточным действием, так как с ее помощью можно оценить точность построения линии равных отметок $B-A$. Если бы отметки Z_M и Z_N разнились более чем на 2 % от истинной величины проекции расстояния между точками M и N (в примере оно равно 126 м), то следовало бы сделать вывод о недостаточно точном построении линии $B-A$ и откорректировать ее положение (в том числе и путем замены прямой на кривую, в большей степени параллельную криволинейным изогипсам пласта). В случае если расстояния от точек M и N до пластоподсечения были бы примерно равными (отличались друг от друга менее чем на 25 %), то в качестве отметки по данным горных работ необходимо было бы принять полусумму отметок Z_M и Z_N .

Отметка подсечения по данным разведочных работ выписывается с плана (на рис. 2.54 она равна 183,9 м). Однако не следует забывать, что геологоразведчики указывают высотные отметки только почвы, а эксплуатационники — или кровли (как правило), или почвы пласта. Если

отметка в точке замера относится к кровле, то условный знак, показывающий положение точки производства измерений, изображается треугольником с вершиной вверх (Δ – как на рисунке), а если к почве, то вниз (∇). В первом случае следует произвести пересчет отметки почвы пласта по данным разведки в отметку его кровли. Для этого используется указанное рядом со скважиной значение нормальной мощности пласта m (1,63 м на рис. 2.54) и приведенный на плане горных работ угол падения пласта δ (14° в примере):

$$Z_{\text{кровли}} = Z_{\text{почвы}} + m / \cos \delta. \quad (2.46)$$

Для рассматриваемых условий $Z_{\text{кровли}} = 183,9 + 1,63 / \cos 14^\circ = 185,6$ м.

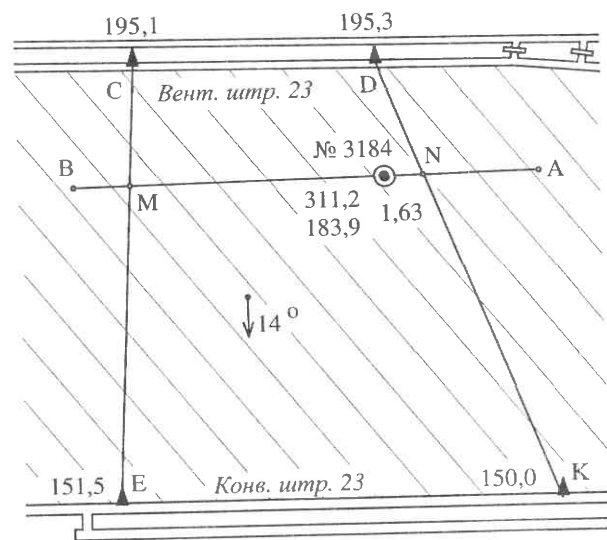


Рис. 2.54. Последовательность сбора исходных данных для производства оценки точности определения координат плаstopодсечений

Глубина положения плаstopодсечения вдоль оси скважины H определяется либо по разности отметок устья $Z_{\text{устья}}$ (311,2 м на рис. 2.54) и подсечения (для вертикальных скважин), либо путем непосредственных графических измерений на геологическом разрезе (для наклонных скважин). Так как скважина 3184 вертикальна, то $H = Z_{\text{устья}} - Z_{\text{кровли}} = 311,2 - 185,6 = 126,6$ м.

Таким образом, данные по скважине 3184, необходимые для оценки точности, равны: $\Delta Z = |183,1 - 185,6| = 2,5$ м; $H = 126,4$ м; $\delta = 14^\circ$.

При формировании массива сопоставлений следует иметь в виду два обстоятельства:

- используемая скважина обязательно должна находиться в контуре отработки, а не просто между двумя горными выработками, что исключает возможность влияния неизвестных разрывных нарушений на результаты оценки;

- скважины со значительными расхождениями между данными горных и разведочных работ (грубые ошибки, промахи) должны исключаться из выборки.

Последнее обстоятельство следует прокомментировать подробнее. Во-первых, наличие в выборке грубых ошибок, по определению не подчиняющихся законам теории ошибок измерений, превращает рассматриваемую методику в несостоятельную. Во-вторых, сама поставленная цель изучения погрешностей, состоящая, в конечном итоге, в определении влияния «шума» случайных ошибок на значения критериев разведанности, не допускает равнозначного рассмотрения грубых и случайных ошибок. Такой подход привел бы к пренебрежительному отношению к реакции критериев разведанности на грубые ошибки и промахи, т. е. к извращению самого смысла применения критериев.

Немедленной отбраковке подлежат сопоставления, для которых выполняется условие: $\Delta Z \geq 0,1 \cdot H$. Дальнейшая отбраковка грубых ошибок совмещается с процессом расчета погрешностей по формулам 2.43–2.44 и выполняется следующим образом. Производится определение искомых погрешностей путем обработки всего исходного массива сопоставлений. Затем из массива исключается сопоставление с наибольшей разностью ΔZ и расчеты повторяются. Последовательное исключение данных и расчеты повторяются до тех пор, пока при очередном исключении (которое признается уже излишним) значения искомых погрешностей изменятся в сравнении с ранее полученными менее чем на 20 %. Данный подход к отбраковке эквивалентен 20%-му методу исключения ураганных замеров И. Д. Когана. Компьютерным средством автоматизации процесса расчета погрешностей является программа «ОРР».

Для получения надежных результатов достаточно использовать 20–30 сопоставлений. Однако если диапазон изменения глубин плаstopодсечений в массиве данных превышает 300 м, необходимо его разделение на отдельные подмассивы по признаку глубины (что связано с

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

В табл. 2.16 приведены некоторые результаты оценки точности координат пластоподсечений по материалам горно-эксплуатационных работ в Кузбассе. Средние значения рассматриваемых погрешностей для Кузбасса в целом составляют: $m_p = 0,022$ м/м, $m_z = 0,010$ м/м.

Таблица 2.16

Результаты исследования точности координат пластоподсечений по некоторым объектам Кузбасса

Предприятие	m_p , м/м	m_z , м/м
р-з «Бачатский»	0,0076	0,006
ш. им. 7 Ноября	0,0178	0,008
ш. им. Ярославского	0,0228	0,024
ш. «Южная»	0,0255	0,026
ш. «Комсомолец»	0,0267	0,004
ш. «Аларда»	0,0405	0,003

Значения погрешностей координат пластоподсечений определяются не столько районом ведения работ, сколько устоявшимися подходами к производству измерений и камеральных работ в организациях, выполняющих разведку. Наибольшее различие в погрешностях наблюдается по объектам с небольшими глубинами залегания пластов (до 200–400 м), поскольку именно в этих условиях наиболее часто нарушается методика производства инклинометрической съемки.

Погрешность m_R определения длины диагонали обусловлена погрешностями в плановом положении пластоподсечений. В соответствии с теорией ошибок можно предположить, что

$$m_R = \sqrt{2} m_p. \quad (2.47)$$

2.11. Взаимосвязь лямбда-критериев разведанности и фактических погрешностей моделей гипсометрии пластов

При производстве оценки точности модели гипсометрии пласта важно иметь возможность рассчитывать ожидаемые расхождения между фактическими и прогнозируемыми (на основе геологоразведочных

материалов) значениями его высотных отметок в произвольных точках. В качестве геометрического места определения ожидаемых значений таких отклонений можно рекомендовать точку с их максимальной величиной, т. е. использовать точку пересечения диагоналей оценочного четырехугольного блока. По-видимому, теоретически возможно существование статистической связи между величинами указанных разностей (погрешностей) R_z в оценочных блоках и значениями их лямбда-критериев разведанности.

Для проверки правомерности таких представлений собран и обработан статистический материал по ряду разведанных и отработанных участков угольных пластов Кузбасса. В результате исследований установлено наличие корреляционной связи (см., например, рис. 2.55). Однако, как и следовало ожидать, теснота корреляционной связи признаков незначительна (коэффициент корреляции для различных объектов изменялся от 0,23 до 0,50). Поэтому применение зависимостей рассматриваемого типа для осуществления прогноза точности гипсометрических планов нецелесообразно. В этих целях предлагается применить подход, основанный на анализе законов распределения отношений t истинных погрешностей гипсометрического плана к значениям лямбда-критериев:

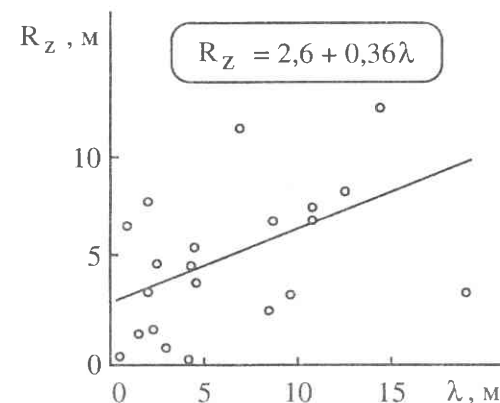


Рис. 2.55. Корреляционная зависимость фактических погрешностей гипсометрического плана (R_z) от значений лямбда-критериев (λ) для условий пласта Бреевского поля шахты им. Кирова

На основе фактических данных были построены эмпирические функции распределения (полигоны накопленных частостей) коэффициента t для различных объектов. С их помощью по заданному уровню вероятности легко устанавливается величина t , при которой погрешность гипсометрического плана не превысит значения

$$R_z = t \cdot \lambda. \quad (2.48)$$

$$t = R_z / \lambda. \quad (2.49)$$

Например, для условий рис. 2.56,а можно сделать вывод о том, что с вероятностью 0,67 (вероятность, стандартно принимаемая для оценки среднеквадратических погрешностей) максимальная погрешность гипсометрического плана в пределах оценочного блока не превысит $0,45 \cdot \lambda$, а с вероятностью 0,90 (принимаемой для крайне редко возникающих в практике моделирования особо ответственных работ) — $1,66 \cdot \lambda$.

На рис. 2.57 приведена общая для Кузбасса экспериментальная функция распределения коэффициента t , из которой вытекает следующее правило определения ожидаемых погрешностей гипсометрического плана:

$$\text{с вероятностью } 0,67: R_z \leq 0,6 \cdot \lambda; \quad (2.50)$$

$$\text{с вероятностью } 0,90: R_z \leq 1,9 \cdot \lambda.$$

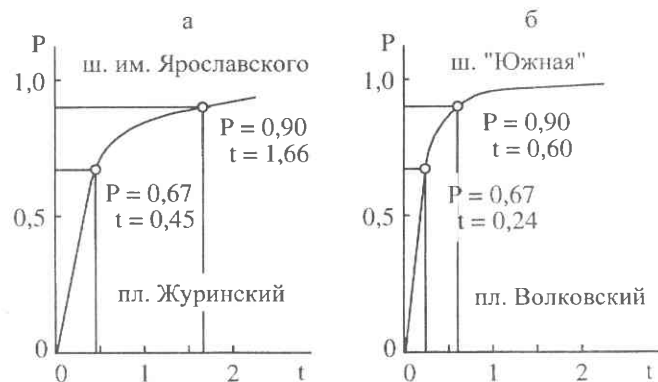


Рис. 2.56. Экспериментальные функции распределения коэффициента t отдельных объектов

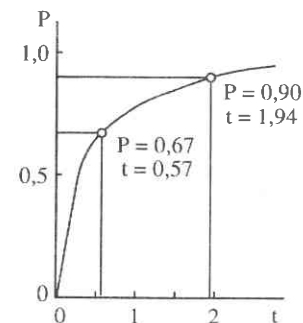


Рис. 2.57. Обобщенная экспериментальная функция распределения коэффициента t

Ответ на вопрос о степени влияния тех или иных погрешностей модели гипсометрии пласта на достоверность результатов технико-экономических расчетов относится к компетенции соответствующих служб горных предприятий и проектных институтов. Однако, так как такая информация в настоящее время не формализована и существует лишь в виде мнений отдельных специалистов, оценить уровень допустимых погрешностей геологоразведочных работ можно и методом экспертного опроса. Причем ведущими специалистами по данной проблеме следует признать работников добывающих предприятий, поскольку лишь они конкретно ощущают на себе нежелательные последствия технико-экономических решений, принятых на основе недостоверных геологических данных.

Исследование мнения работников шахт о требуемой точности изучения формы и дополнительно структуры угольного пласта производилось путем опроса главных маркшейдеров и геологов всех шахт Кузбасса [33]. В ходе опроса выяснялось их мнение о значениях допустимых, предельных и пренебрежительно малых расхождений между ожидаемым и фактическим положением почвы пласта, его полной нормальной мощностью и суммарной мощностью его породных прослоев в произвольной точке пласта. Выяснялись также желательная размерность оценки данных расхождений и направление, в котором следует оценивать расхождение в положении почвы пласта. Опрос проводился методом анкетирования. На анкеты ответило 40 % всех специалистов, что по существующим представлениям свидетельствует о чрезвычайно высокой активности экспертов. Результаты, полученные после обра-

ботки анкет по стандартным методикам отдельно для трех групп шахт, обобщены в таблице 2.17. Приведенные в ней допустимые погрешности можно рассматривать как ориентировочные требования угольной промышленности Кузбасса к качеству разведки и геометризации эксплуатируемых пластов и использовать при планировании производства разведочных, доразведочных и геоинформационных работ.

Таблица 2.17

Результаты экспертного опроса специалистов угольных шахт Кузбасса о допустимых погрешностях горно-геометрических моделей			
Допустимое расхождение для любой точки пласта между фактическим и ожидаемым значением	Падение пластов		
	крутое	пологое и наклонное	
		комплексно-механи- зированные шахты	немеханизиро- ванные шахты
положения почвы пласта (по направле- нию нормали к напластованию), м	4	4	4
нормальной мощности пласта, %	15	10	20
нормальной мощности породных про- слоев, %	20	20	30



Рис. 2.58. Картограмма достоверности изучения гипсометрии пласта 52 поля шахты «Котинская»

Интересно отметить, что полученные допустимые погрешности моделирования гипсометрии пласта совпадают с рекомендациями института ВНИГРИУголь [36] относительно необходимой степени разведанности месторождений 1-й группы геологической сложности, для которых «ошибка интерполяции гипсометрии» не должна превышать 4 м.

В результате использования лямбда-критериев и последующего перехода от них к погрешностям гипсометрических планов создается картограмма достоверности модели гипсометрии пласта, пример которой приведен на рис. 2.58.

Такая картограмма используется при подготовке заключения о степени достоверности геологических материалов и включается в качестве компонента геоинформационного обеспечения освоения месторождений и участков недр.

2.12. Оценка достоверности изучения дизъюнктивной нарушенности угольных пластов

Одним из существенных факторов, осложняющих условия эксплуатации угольных месторождений, является дизъюнктивная нарушенность пластов, интенсивность которой обычно оценивается с помощью коэффициента нарушенности А. С. Забродина [18]:

$$K_d = \frac{\sum l}{S}, \tag{2.51}$$

где $\sum l$ — суммарная протяженность нарушений, м;

S — площадь анализируемого участка, га.

По исследованиям ВНИМИ, рост значений коэффициента K_d приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы шахт (табл. 2.18).

Для удобства пользования данными таблицы 2.18 на рис. 2.59 представлена их графическая интерпретация.

Серым цветом на рисунке показаны установленные ВНИМИ возможные изменения значений показателей, связанные, по-видимому, с различным уровнем инженерной культуры и переменной ориентацией разрывных нарушений относительно линии очистного фронта для отдельных предприятий. Сплошными, пунктирными и штрих-пунктирными линиями на рисунке выделены соответственно оптимистические, пессимистические и средние оценки влияния степени нарушенности на значения показателей.

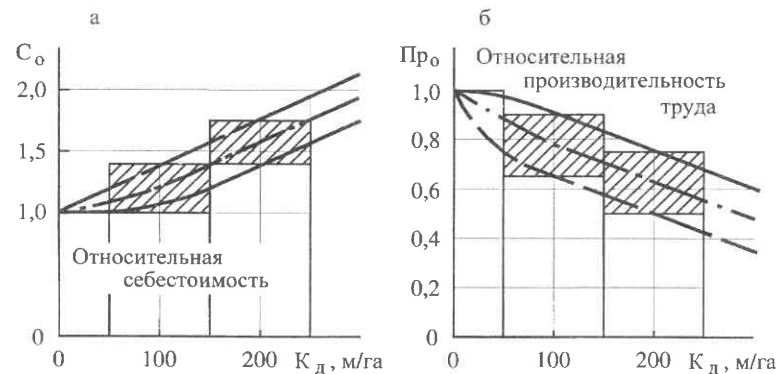


Рис. 2.59. Влияние степени дизъюнктивной нарушенности угольных пластов на технико-экономические показатели работы шахт (сплошная линия — оптимистическая оценка, пунктирная — пессимистическая оценка, штрих-пунктирная — средняя оценка)

Таблица 2.18

Влияние интенсивности дизъюнктивной нарушенности на технико-экономические показатели работы угольных шахт ([32], с. 185)

K_d , м/га	Относительные значения технико-экономических показателей		Возможный уровень механизации
	производительность труда рабочего	себестоимость добычи	
Менее 50	1	1	Повсеместное применение мехкомплексов
От 50 до 150	0,65–0,90	1,0–1,4	Ограниченное применение мехкомплексов
От 150 до 250	0,50–0,75	1,4–1,75	Применение мехкомплексов на отдельных наименее нарушенных участках
Более 250	Менее 0,50	Более 1,75	Применение мехкомплексов невозможно

Например (см. рис. 2.59,а), при отработке участка, характеризующегося интенсивностью нарушенности 150 м/га, можно ожидать, что за счет ее влияния производительность труда рабочего уменьшится в 1,2–1,6 раза (диапазон «оптимистическая — пессимистическая оценки»).

Оптимистические и пессимистические оценки могут определяться как графически, так и аналитически по аппроксимирующим зависимостям:

— для пессимистических оценок

$$C_0 = 1 + 0,00375 \cdot K_d; \quad (2.52)$$

$$Pr_0 = 1 - 0,00634 \cdot K_d + 0,000028 \cdot K_d^2 \text{ при } 0 \leq K_d \leq 100; \quad (2.53)$$

$$Pr_0 = 0,80 - 0,00150 \cdot K_d \text{ при } K_d \geq 100; \quad (2.54)$$

— для оптимистических оценок

$$C_0 = 1 - 0,000463 \cdot K_d + 0,000014 \cdot K_d^2 \text{ при } 0 \leq K_d \leq 150; \quad (2.55)$$

$$C_0 = 0,76 + 0,00320 \cdot K_d \text{ при } K_d \geq 150; \quad (2.56)$$

$$Pr_0 = 1 + 0,000067 \cdot K_d - 0,000011 \cdot K_d^2 \text{ при } 0 \leq K_d \leq 100; \quad (2.57)$$

$$Pr_0 = 1,05 - 0,00150 \cdot K_d \text{ при } K_d \geq 100; \quad (2.58)$$

— для средних оценок

$$C_0 = 1 + 0,00113 \cdot K_d + 0,000009 \cdot K_d^2; \quad (2.59)$$

$$Pr_0 = 1 - 0,00263 \cdot K_d + 0,000004 \cdot K_d^2. \quad (2.60)$$

К сожалению, на стадии геологоразведочных работ коэффициент K_d определяется с существенной систематической погрешностью, т. к. в их процессе выявляется лишь часть дизъюнктивных нарушений. Хотя обычно считается, что он занижается в 3,2 раза, понятно, что величина этого занижения непостоянна и должна зависеть для каждого конкретного объекта от плотности разведочной сети.

Для проверки данного обстоятельства были собраны (совместно с Т. Б. Роговой) и проанализированы материалы горных и геологоразведочных работ по нескольким пластам Анжерского, Кемеровского, Беловского и Ленинского геолого-промышленных районов Кузбасса, характеризующимся значениями K_d от 0 до 150 м/га. В результате статистической обработки установлено наличие тесной корреляционной связи (рис. 2.60) между отношением D коэффициентов нарушенности по данным горных ($K_d^{\text{горн.}}$) и разведочных работ ($K_d^{\text{разв.}}$):

$$D = K_d^{\text{горн.}} / K_d^{\text{разв.}} \quad (2.61)$$

и удельным значением лямбда-критерия

$$\lambda_{уд} = \lambda/S, \quad (2.62)$$

где S — площадь оценочного блока, сотни тысяч м².

Естественно, что применение зависимости, равно как и самих коэффициентов нарушенности, правомерно не для отдельных оценочных блоков, а для относительно крупных участков шахтных полей (площадью более 0,25 км²).

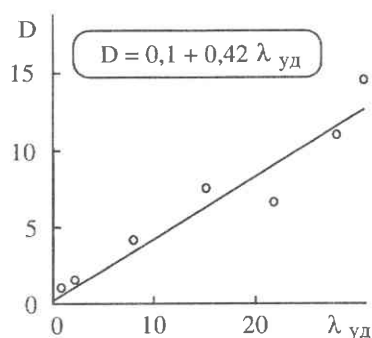


Рис. 2.60. Эмпирическая зависимость между отношением коэффициентов нарушенности D и удельным значением критерия разведанности $\lambda_{уд}$

Используя указанную зависимость и результаты исследований ВНИМИ, можно уточнить ожидаемую нарушенность участка и технико-экономические последствия ее влияния. В зависимости от позиции инвестора расчеты могут выполняться, исходя из оптимистических, средних и, что наиболее вероятно, пессимистических оценок.

Например, в результате разведки пласта по полю перспективной шахты «В-ная» (проектом которой предусматривалось достижение производительности труда рабочих 450 т) установлена интенсивность дизъюнктивной нарушенности 15 м/га.

Среднее значение критериев по оценочным блокам составило всего 1,4 м при средней их площади в 33 тыс. м². Обработка данных выполняется в следующей последовательности:

1. По формуле 2.62 рассчитывается удельное значение критерия: $\lambda_{уд} = 1,4 / 0,33 = 4,2$ м.

2. По корреляционной зависимости (см. рис. 2.59) устанавливаются отношение $D = 0,1 + 0,42 \cdot 4,2 = 1,76$ и ожидаемая фактическая нарушенность участка: $15 \cdot D = 15 \cdot 1,76 = 26$ м/га.

3. Определяется относительная производительность труда, соответствующая наблюдаемой нарушенности участка в 15 м/га (по формуле 2.53 — пессимистическая оценка для условия $0 \leq K_d \leq 100$ м/га): $P_{po} = 1 - 0,00634 \cdot 15 + 0,000028 \cdot 15^2 = 0,91$ и на ее основе устанавливается абсолютная производительность труда, которая могла бы быть достигнута при полном отсутствии нарушенности: $450 / 0,91 = 495$ т.

4. Вычисляются пессимистическая оценка величины P_{po} для ожидаемой интенсивности нарушений 26 м/га: $P_{po} = 1 - 0,00634 \cdot 26 + 0,000028 \cdot 26^2 = 0,85$ и ожидаемая абсолютная производительность: $495 \cdot 0,85 = 420$ т.

Следовательно, за счет неизвестных на момент проектирования разрывных нарушений производительность труда рабочих может снизиться с расчетных 450 т до 420 т.

Поэтому инвестор должен либо согласиться со снижением производительности труда по данному объекту (что, соответственно, приведет к изменению сроков возврата вложений), либо потребовать разработки нового проекта шахты, ориентированного уже на достижение производительности труда в 480 т ($450 \cdot 0,91 / 0,85$).

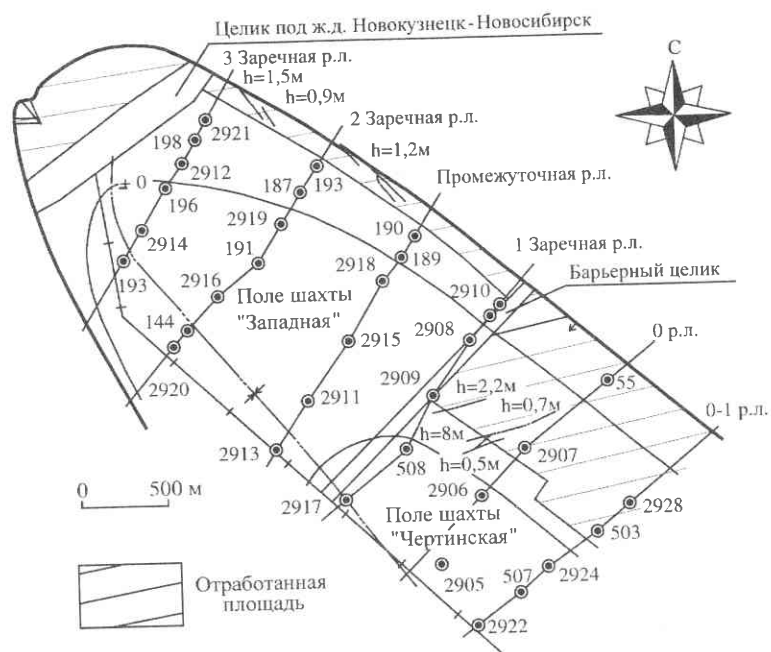
На практике, хотя и редко, возникают ситуации, когда по данным геологоразведочных работ на оцениваемом участке полностью отсутствуют разрывные нарушения. Такая ситуация возникает, как правило, на объектах, пораженных незначительным количеством малоамплитудных нарушений. Поскольку пересчет наблюдаемой интенсивности нарушенности в ожидаемую в данном случае произвести невозможно, ее оценку рекомендуется выполнять с помощью метода количественно обоснованной аналогии.

Например, при рассмотрении вопроса о передаче части запасов пластов 4 и 5 закрываемой шахты «Западная» действующей шахте «Чертинская» возникла необходимость оценки дизъюнктивной нарушенности передаваемых участков пластов. Причем геологоразведочными работами, выполненными на полях обеих шахт, не было выявлено ни одного дизъюнктивного нарушения, тогда как горными работами были вскрыты разрывные нарушения малых амплитуд (рис. 2.61).

В связи с принадлежностью всех рассматриваемых пластов к единой крупной пликативной структуре (Чертинской брахисинклинали), можно предположить, что между интенсивностью развития дизъюнктивной тектоники и характеристикой сложности условий залегания пластов должна существовать статистическая зависимость. Для проверки данного предположения по пяти отработанным участкам пластов были собраны данные, приведенные в табл. 2.19.

Удельные значения ламбда-критериев и показатели нарушенности
отработанных участков пластов

Шахта, пласт	Удельное значение ламбда-критерия, $\lambda_{\text{уд}}$, м/100 тыс. м ²	Показатель нарушенности А. С. Забродина, K_D м/га
«Западная», 3	2,6	18
«Чертинская», 3	4,0	32
«Чертинская», 4	1,9	12
«Чертинская», 5	1,8	8
«Западная», 5	2,9	28

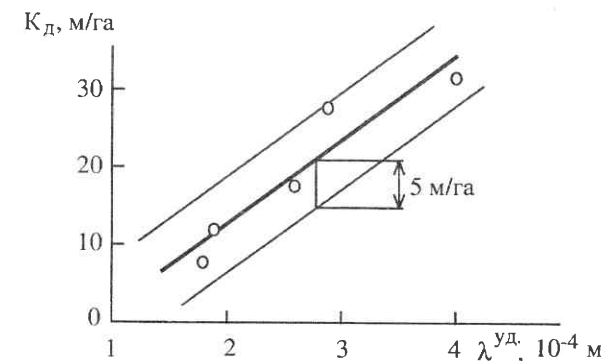
Рис. 2.61. Оценка нарушенности участка пласта 4
поля шахты «Западная»

Результаты статистического анализа материалов показывают, что в условиях рассматриваемых участков между значениями показателя нарушенности А. С. Забродина K_D и удельными значениями ламбда-критериев существует тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции – 0,92 – рис. 2.62) вида:

$$K_D = 10,9\lambda_{\text{уд}} - 9,1 \text{ м/га.} \quad (2.63)$$

Вероятная, графически представленная на рис. 2.62, погрешность модели составляет ± 5 м/га.

Учитывая установленную зависимость 2.63 и удельные значения ламбда-критериев по передаваемым участкам пластов 4 и 5 (2,0 м/100 тыс. м²), следует ожидать, что интенсивность развития разрывных нарушений по ним составит от 13 (ожидаемая оценка) до 18 м/га (пессимистическая оценка – с учетом погрешности модели – 2.63).

Рис. 2.62. Корреляционная зависимость между показателем
нарушенности пластов (K_D) и удельным значением ламбда-критериев ($\lambda_{\text{уд}}$)
в условиях Чертинского месторождения

При данной интенсивности развития нарушенности, за счет неизвестных в настоящее время разрывных нарушений пластов 4 и 5, расчетные технико-экономические показатели могут измениться:

- себестоимость угля может возрасти на 11 % (пессимистическая оценка);
- производительность труда может уменьшиться на 16 % (пессимистическая оценка).

2.13. Оценка неоднозначности модели мощности и показателей качества угольного пласта (дельта-критерий разведанности)

На технико-экономические показатели работы горного предприятия существенное влияние оказывают мощность и строение разрабатываемого пласта. Важное значение имеют и показатели качества угля, знание закономерностей размещения которых необходимо для обеспечения управления качеством углепродукции, а следовательно, и ее ценой.

Поскольку построение геометрических моделей мощности пласта, породных прослоев и основных показателей качества угля выполняется одинаковыми методами, а информация о результатах их измерений и определений имеет сходный характер (значения признаков в точках плаstopодсечений), то оценка достоверности изучения их размещения в пространстве недр может выполняться на основании единого подхода.

Исходя из того, что геологоразведочные организации производят геометризацию рассматриваемых признаков в крайне усеченном виде (ограничиваясь лишь построением изолиний кондиционных значений признака и границ смены марочного состава), процедура оценки достоверности должна учитывать два следующих обстоятельства.

Во-первых, система оценки достоверности информации по данным признакам должна включать в себя процедуру оценки погрешности планового положения изолиний.

Во-вторых, в отличие от процедуры оценки достоверности гипсометрии, выполнение которой осуществляется уже после построения ее модели, оценка достоверности изучения упомянутых признаков предшествует их геометризации, которая выполняется лишь на стадии проектных или даже горно-эксплуатационных работ.

В соответствии с предлагаемыми принципами определения неоднозначности горно-геометрической модели, выраженными формулой 2.1, оценка ее неоднозначности может выполняться с помощью абсолютно-го дельта-критерия разведанности, аналогичного ламбда-критерию, но основанного на применении линейной интерполяции между замерами:

$$\Delta = (P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2, \quad (2.64)$$

где $x = L / R$; $x' = L' / R'$;

R, R' — горизонтальные длины диагоналей 1-3 и 2-4 четырехугольника сети замеров (рис. 2.6);

L, L' — горизонтальные расстояния от замеров 1 и 2 до точки пересечения диагоналей K ;

P_j — значение изучаемого признака (мощность пласта, зольность, выход летучих и т. д.) в точке производства j -го замера.

В связи с тем, что для большинства оцениваемых параметров имеет значение не столько абсолютная величина неоднозначности модели, сколько ее относительное (в процентах) значение (см., например, таблицу 2.17, содержащую требования к качеству изучения мощности пластов и породных прослоев), то помимо абсолютного дельта-критерия используется относительный дельта-критерий:

$$\delta = 100\Delta / P_{cp}, \%, \quad (2.65)$$

где $P_{cp} = 0,5 \cdot \{(P_3 - P_1)x + P_1 + (P_4 - P_2)x' + P_2\}$ — среднее значение признака в точке пересечения диагоналей.

При оценке достоверности геометрических моделей мощностей пластов и породных прослоев, показателей качества угля и т. д. должна использоваться информация только по тем замерам и пробам, которые будут использоваться при их построении. Поэтому в данном случае, в отличие от процесса анализа разведанности гипсометрии, требуется предварительная отбраковка исходных данных. Ее сущность должна состоять в выделении и исключении из обработки замеров, выполненных с грубыми ошибками.

Результаты опробования качества угля в горных выработках обладают высокой точностью и представительностью. С замерами мощностей пластов дело обстоит несколько иначе. Дело в том, что мощность пласта, находящегося в зоне опорного давления, уменьшается на 4—10 %. Поэтому при производстве измерений в шахтах необходимо отмечать, производился ли замер мощности в такой зоне. Если производился, то его использование при геометризации возможно лишь в случае, если известна и введена поправка за конвергенцию кровли и почвы в результате действия опорного давления. Поправку за величину конвергенции имеет смысл вводить лишь тогда, когда она по своей величине превышает 5 см.

Однако основным носителем информации являются геологический отчет и графические приложения к нему. Из графических приложений наибольший интерес представляет подсчетный (структурный) план пласта. С его помощью можно собрать всю необходимую информацию о мощностях пласта и частично о показателях качества угля. Рядом с каждым плаstopодсечением выписывается не только номер скважины и отметка почвы пласта, но и его нормальная мощность и зольность при 100%-м засорении породными прослоями, а также нормальная

мощность чистых угольных пачек и их зольность (рис. 2.7). Данные о мощности пласта приводятся также на нормальных стопках пластов (см. ниже) и на геологических разрезах (с указанием мощностей всех угольных пачек и породных прослоев). Например, рядом со скважиной 3094, напротив пласта Кумпановского (рис. 2.10), приведена надпись: «0,23(0,54)0,42». Она означает, что верхняя пачка пласта имеет нормальную мощность 0,23 м, за ней следует породный прослой мощностью 0,54 м (мощность которого указывается в скобках) и нижняя пачка угля мощностью 0,42 м. Таким образом, общая мощность пласта составляет: $0,23 + 0,54 + 0,42 = 1,19$ м, а мощность чистых угольных пачек: $0,23 + 0,42 = 0,65$ м. Помимо графических материалов, мощности пластов приводятся также и в таблицах расчета подсчетных (средних) мощностей пластов по геологическим блокам.

Данные об основных показателях качества угля помещаются под нормальными стопками пластов и в полном объеме в таблицах теханализов текстовых приложений к геологическому отчету. Очевидно, что значения одних и тех же признаков, указанные в различных источниках информации, должны совпадать. К сожалению, на практике это условие не всегда выполняется. Поэтому контроль его соблюдения является необходимым элементом процесса сбора исходных данных.

Естественно, что замеры и определения, выполненные с грубыми ошибками, не должны использоваться как при моделировании, так и при оценке ее точности.

Часть произведенных замеров признаков отбраковывается еще в ходе камеральной обработки материалов разведки. Факт отбраковки того или иного замера зольности или мощности пласта отображается на подсчетном плане. У них отсутствует специальная рамочка, обводящая приведенные числовые характеристики (см. рис. 2.7), однако следует помнить, что у отдельных плаstopодсечений эти рамочки иногда просто забывают провести. Забракованные значения показателей качества угля помечаются в таблицах теханализов и на графических материалах звездочками (*).

Геологическая отбраковка ведется с позиции использования данных при подсчете запасов и мотивируется двумя обстоятельствами. Первое состоит в том, что, хотя исключаемый замер вполне надежен, пласт имеет данную мощность, зольность и др. лишь на весьма ограниченной площади. Явная принадлежность замера к данному типу не всегда очевидна (исключение составляют лишь замеры, попавшие в зоны разрывных нарушений, окисленных углей, размывов и т. д.). Второе обстоятельство состоит в том, что сам результат измерения подвер-

гается сомнению как произведенный с грубыми ошибками. Причем, как правило, первоначально выделяется первая группа замеров, и только из их числа — вторая группа. Это связано с тем, что высокий выход керна сам по себе не является безусловным признаком качественного измерения мощности по бурению и даже показателей качества угля.

Однако при подготовке данных для оценки достоверности результатов геометризации необходимо четкое знание причин, побудивших авторов геологического отчета исключить тот или иной замер из подсчета запасов. К сожалению, такие данные (указываемые в примечаниях к таблицам расчета подсчетных мощностей по геологическим блокам) в отчетах приводятся, как правило, в недостаточном объеме.

При выяснении причин отбраковки большую помощь могут оказать нормальные стопки по пластам. Эти стопки помещаются непосредственно на подсчетном плане или на отдельных листах (рис. 2.63).

На стопке 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.

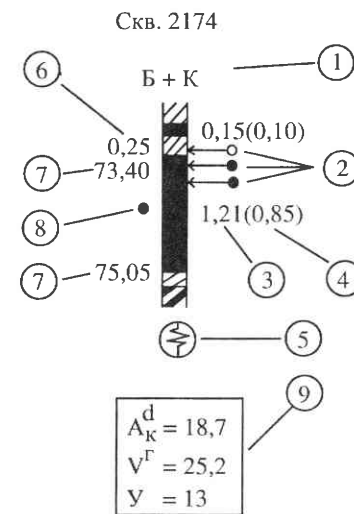


Рис. 2.63. Нормальная стопка пласта: 1 — данные, по которым построена стопка; 2 — прострелы БСГ; 3 — мощность угольной пачки; 4 — длина керна; 5 — признак производства детализации при каротаже; 6 — мощность породного прослоя; 7 — осевая глубина встречи кровли и почвы пласта; 8 — признак принятия пачки в подсчет запасов; 9 — основные показатели качества угля

Слева от стопки указываются нормальные мощности прослоев (0,25 м на рис. 2.63) и осевые глубины скважины, на которых она встретила кровлю (73,40 м) и почву (75,05 м на рис. 2.63) пласта. Справа от стопки приводятся нормальные мощности пачек угля (0,15 и 1,21 м) и рядом с ними, в скобках, — нормальные мощности керна угля (0,10 и 0,85 м на рис. 2.63). Понимать эти цифры следует так: например, при пересечении пачки нормальной мощностью 1,21 м на поверхность было поднято 0,85 м керна, что соответствует линейному выходу керна в 70 % ($100 \% \cdot 0,85 / 1,21$). Если при изучении пласта применялись боковые стреляющие грунтоносы (БСГ), то справа от стопки схематически показываются точки прострелов. Справа от пачек угля точками отмечаются те из них, которые приняты при подсчете запасов, т. е. те, которые входят в состав пласта.

Снизу под стопкой, в случае детализации пласта при каротаже (обеспечивающей повышенную точность определения мощности), ставится соответствующий знак, а справа от нее, вверху и внизу, очень часто приводится процентный выход керна по породам непосредственной кровли и почвы. В рамке под стопкой указываются значения основных показателей качества угля.

Приведенные на рис. 2.63 обозначения характерны для Кузбасса, но в других бассейнах могут иметь несколько иной вид.

Пользуясь стопками, можно довольно надежно выделить замеры, отбракованные в связи с подозрением на грубые ошибки измерений. Их признаками являются: принятие стопки по бурению при низком выходе керна, отсутствие детализации пласта по каротажу, низкий выход керна.

Используя выполненное в геологоразведочных организациях разделение замеров на аномальные (из числа которых и выделяется большинство некачественных замеров) и нормальные, необходимо иметь в виду их высокую субъективность. Результаты отбраковки зависят от уровня профессиональной подготовки геолога и даже от ориентировки участка относительно стран света. Дело в том, что представление о том, какая мощность «естественна», а какая нет, психологически формируется на первых рассматриваемых разведочных линиях (обычно верхних на плане) и распространяется на все остальные. Выбор иной начальной линии приводит к выделению других нехарактерных замеров. Автором на материалах одного из месторождений Кемеровского района был проведен специальный эксперимент по оценке однозначности экспертной отбраковки данных. Для его проведения было подготовлено два варианта подсчетного плана — стандартный и развернутый на 180°,

то есть верхняя (самая северная) разведочная линия первого варианта плана на втором варианте была расположена в его нижней части, и наоборот. Причем при рассмотрении данных по скважинам северной линии участка визуально бросалось в глаза уменьшение мощностей пласта вблизи осей складок, а по южной линии, наоборот, — увеличение. В ходе работы эксперты производили отбраковку измерений на основе двух упомянутых вариантов плана. В результате те из них, которые работали со стандартным планом, отбраковали все повышенные мощности вблизи осей складок. Работавшие с «перевернутым» планом отбраковали значительно меньшее количество замеров (поскольку исключение заниженных мощностей производится осторожнее, чем завышенных), квалифицировав все повышенные мощности вблизи осей как нормальные.

Следует еще раз подчеркнуть то обстоятельство, что 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 и явно выделяемой зоне повышенных значений мощностей, будут квалифицироваться геологами как аномальные.

Поэтому аномальность того или иного замера может быть реально подтверждена или отвергнута лишь в ходе геометризации (к которой, как было отмечено выше, на момент выполнения оценки достоверности рассматриваемых признаков еще даже не приступают).

Для разрешения этого противоречия, в процессе подготовки материалов для проведения экспертизы достоверности, целесообразно выполнить фрагментарную геометризацию изучаемого признака в окрестностях потенциально аномальных замеров. Причем сечение изолиний признаков должно быть рациональным (т. е. определено в соответствии с подходами, изложенными в параграфе 2.3). По результатам геометрического моделирования аномальным замером следует считать [52] тот, вокруг которого замыкаются две и более изолинии значений признака, имеющих рациональное сечение. Если изолинии замыкаются вокруг группы замеров, то ни о какой аномальности не может идти речи (хотя при подсчете запасов методом геологических блоков они могут быть признаны аномальными — все зависит от положения границ блоков). Например, для условий на рис. 2.64,а аномальным должен быть признан замер 1,27 м, тогда как замеры 2,74 и 2,81 м на рис. 2.64,б не подлежат отбраковке.

Недостатком данного подхода является высокая трудоемкость, связанная со значительным числом аномальных замеров. Обычно геоло-

гораздочными организациями бракуется 10–15 % измерений мощностей, хотя по отдельным объектам их доля может возрастать до 40–60 %. Фактически это приводит к отказу от фрагментарной геометризаци и ее замене на полномасштабные работы. Выделение нехарактерных замеров с меньшими трудозатратами может быть эффективно произведено с помощью метода уравнивания геологоразведочных измерений (который будет подробно рассмотрен в следующей главе).

По завершении выделения тем или иным способом аномальных замеров каждый из них должен быть проанализирован на предмет причин его непредставительности. Для этого используются упомянутые структурные колонки, табличные и текстовые материалы геологических отчетов, геологические журналы. Замеры, признанные произведенными с грубыми ошибками, должны исключаться из исходных данных и не могут участвовать в последующей обработке.

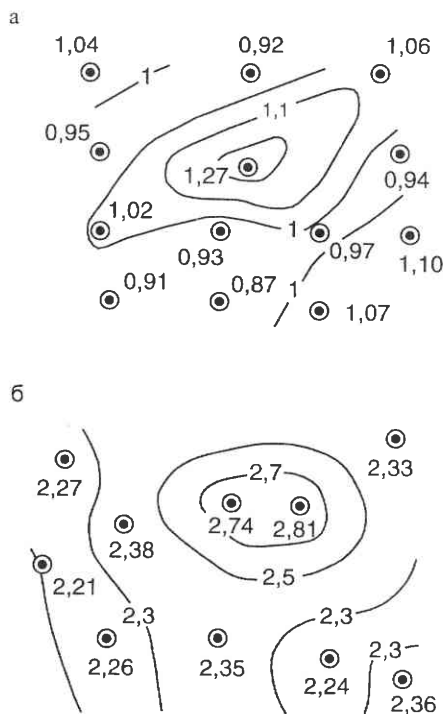


Рис. 2.64. Выделение аномальных замеров мощностей при геометризации

Таким образом, расчет дельта-критериев складывается из следующих операций:

- сбор исходных геологических данных;
- выделение и исключение ошибочных замеров;
- квадриангулирование сети измерений (без учета замеров, выполненных с грубыми ошибками);
- расчет дельта-критериев разведанности по оценочным блокам.

При производстве расчетов вручную по выделенному на подсчетном плане оценочному блоку измеряются длины диагоналей 1–3 и 2–4 (R и R') и расстояния от начальных подсечений диагоналей (1 и 2) до точки их пересечения K (L и L' – рис. 2.65). Эти расстояния, как и значения признаков в точках измерений (в примере – мощности пласта), заносятся в ячейки 1, 2, 4, 5 и 9, 10, 12, 13 табл. 2.20, являющейся аналогом табл. 2.2.

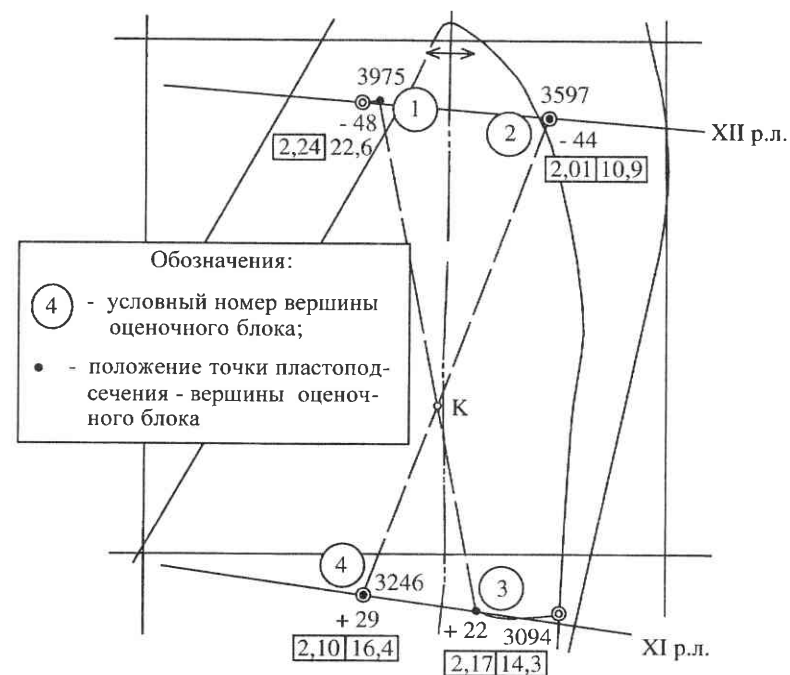


Рис. 2.65. Сбор исходных данных для ручного расчета дельта-критериев

Последовательность вычислительных действий при заполнении таблицы соответствует номерам ячеек. В результате расчетов в ячейках 8 и 16 записываются значения признака в точке *K* по данным каждой из диагоналей. Абсолютная разность между ними равна абсолютному дельта-критерию разведанности (ячейка 17), а полусумма (ячейка 18) — среднему значению признака в точке пересечения диагоналей. Относительное значение дельта-критерия записывается в ячейку 19. При выполнении расчетов по таблице 2.20 длины линий могут измеряться и без учета масштаба, т. е. не в метрах, а непосредственно в миллиметрах плана, поскольку в вычислениях используются только их отношения.

Средством автоматизации процесса вычислений является упомянутая компьютерная программа «DRU». Исходные данные к ней формируются в соответствии с таблицей 2.5 (колонки 8–10). Отдельные строки этих колонок таблицы могут оставаться незаполненными. В результате работы программы на дисплей, принтер или в файл выдаются абсолютные и относительные значения дельта-критериев разведанности.

Таблица 2.20

Расчет дельта-критериев разведанности

Наименование признака: нормальная мощность пласта
Номера скважин: 1 — 3975; 2 — 3597; 3 — 3094; 4 — 3246.

№	Формула	Число	№	Формула	Число
Диагональ 1 — 3			Диагональ 2 — 4		
1	R — расстояние 1 — 3	502	9	R' — расстояние 2 — 4	497
2	L — расстояние 1 — K	303	10	L' — расстояние 2 — K	305
3	$x = L/R$	0,603	11	$x' = L'/R'$	0,614
4	P_3	2,17	12	P_4	2,10
5	P_1	2,24	13	P_2	2,01
6	$P_3 - P_1$	−0,07	14	$P_4 - P_2$	0,09
7	$(P_3 - P_1) \cdot x$	−0,04	15	$(P_4 - P_2) \cdot x'$	0,06
8	$P_1 + (P_3 - P_1) \cdot x$	2,20	16	$P_2 + (P_4 - P_2) \cdot x'$	2,17
17	$\Delta = (8) - (16) $	0,03 м			
18	$P_{cp} = [(8) + (16)] / 2$	2,19			
19	$\delta = 100 \cdot \Delta / P_{cp}$	1 %			

2.14. Взаимосвязь дельта-критериев разведанности и фактических погрешностей моделей мощности и показателей качества угля

В ходе производства оценки точности геометрических моделей мощностей пласта и показателей качества угля важно иметь возможность рассчитывать ожидаемые расхождения R_p между фактическими и прогнозируемыми значениями признаков в заданных точках. Как уже отмечалось (параграф 2.10), в качестве геометрического места определения значений таких отклонений можно рекомендовать точку пересечения диагоналей оценочного блока.

Разработка процедуры оценки погрешностей R_p выполнялась по материалам сопоставлений геологоразведочных и горно-эксплуатационных данных о мощностях пластов и породных прослоев ряда геологических образований Кузбасса. Анализируемые объекты обладали различной степенью изменчивости признаков: коэффициенты вариации мощностей пластов изменялись от 10 до 41 %, а коэффициенты вариации мощностей породных прослоев — от 80 до 236 %.

Как и для оценки точности гипсометрических моделей, корреляционная связь между значениями погрешностей и критериями разведанности оказалась незначимой (коэффициент корреляции для различных объектов изменялся от 0,06 до 0,43 для мощностей пластов и от 0,11 до 0,31 — для породных прослоев). Поэтому для осуществления прогноза точности моделей изомощностей применен подход, основанный на анализе законов распределения отношений t истинных погрешностей плана изолиний признаков и значений дельта-критериев:

$$t = R_p / \Delta. \quad (2.66)$$

В результате на основе фактических данных были построены эмпирические функции распределения коэффициента t для рассматриваемых признаков в целом по Кузбассу (рис. 2.66). Установлено, что вид кумуляты не зависит от степени изменчивости признака.

С их помощью по заданному уровню вероятности легко устанавливается величина t , при которой погрешность топографического плана не превысит значения

$$R_p = t \cdot \Delta. \quad (2.67)$$

Характер экспериментальных кумулят в целом сохраняется и для показателей качества углей. Например, на рис. 2.67 показаны экспери-

ментальные функции распределения коэффициента t для основных показателей качества пласта III поля углеразреза «Междуреченский»: зольности (коэффициент вариации $V = 16\%$), выхода летучих ($V = 8\%$), пластометрических показателей Y ($V = 29\%$) и X ($V = 13\%$).

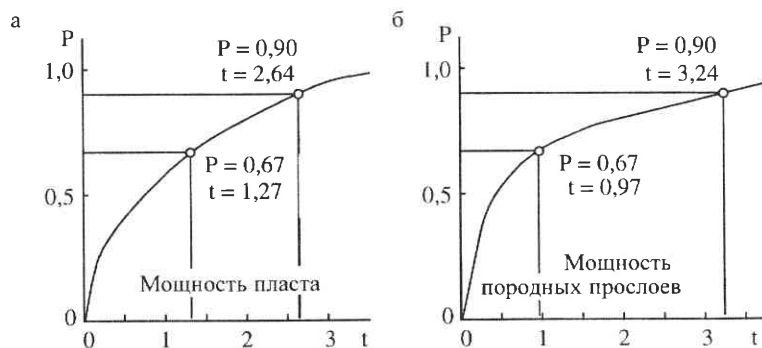


Рис. 2.66. Обобщенная экспериментальная функция распределения коэффициента t для мощностей угольного пласта и суммарной мощности породных прослоев

В целом, при анализе разведанности мощностей пластов и качественных свойств углей Кузбасса можно рекомендовать следующее правило определения ожидаемых погрешностей модели:

$$\begin{aligned} &\text{с вероятностью } 0,67: R_p \leq 1,3 \cdot \Delta; \\ &\text{с вероятностью } 0,90: R_p \leq 2,6 \cdot \Delta. \end{aligned} \quad (2.68)$$

Из формул следует, что переходные множители при величинах критериев разведанности рассматриваемых показателей имеют существенно более высокие значения, чем аналогичные множители, применяемые при оценке точности гипсометрических планов (см. формулу 2.50). Это вполне естественно и объясняется более высокой изменчивостью данных признаков.

Как и для лямбда-критериев, наиболее вероятные значения относительных дельта-критериев мощности пласта для различных категорий запасов установлены на основании обработки статистических данных по 1170 утвержденным ГКЗ подсчетным блокам. В качестве условия определения границ (Γ) значений дельта между категориями запасов принято:

$$\sum_{i=1}^n (\delta_i - \Gamma_{ij})^2 + \sum_{j=1}^k (\delta_j - \Gamma_{ij})^2 = \min, \quad (2.69)$$

т. е.

$$\Gamma_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i + \sum_{j=1}^k \delta_j}{n+k},$$

где δ_i и δ_j — значения дельта-критериев разведанности мощности категорий i и j .

В результате расчетов установлено, что для категории А — $0\% \leq \delta \leq 6\%$, для категории В — $6\% < \delta \leq 15\%$ и для С₁ — $15\% \leq \delta$.

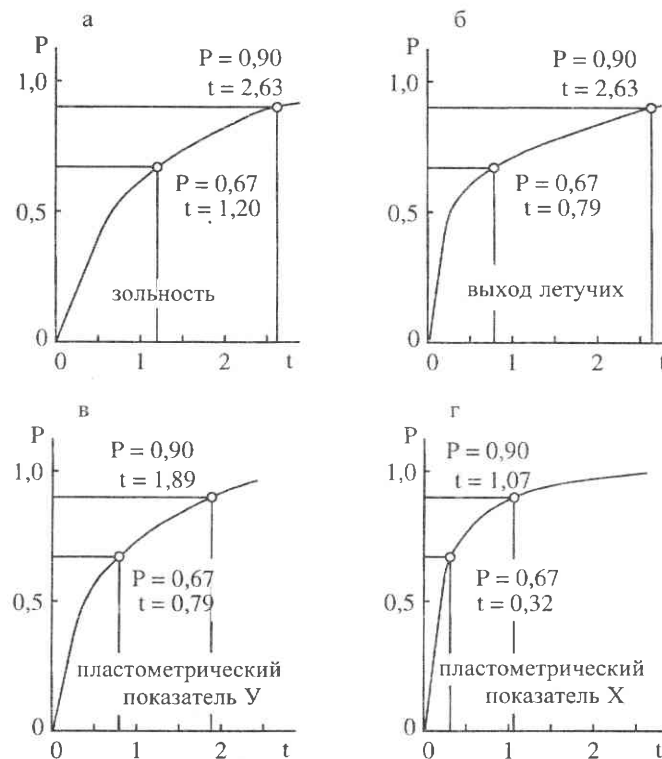


Рис. 2.67. Экспериментальные функции распределения коэффициента t для показателей качества угля разреза «Междуреченский»

Корректность полученных результатов подтверждается результатами проверки гипотезы об однородности средних значений дельта-критериев мощности различных категорий запасов относительно их общего среднего значения (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Проверки гипотезы об однородности средних значений дельта-критериев разведанности мощности

Категория	Среднее значение δ	Среднеквадратическое отклонение δ	Вероятность неоднородности средних значений δ
A	3,54	4,75	0,999
B	7,83	8,28	0,957
C ₁	13,44	15,03	0,999
A+B+C ₁	7,93	10,01	

При использовании критериев разведанности для выполнения государственной экспертизы запасов, в ходе которой подсчитанным запасам присваиваются категории разведанности A, B, C₁ и C₂, для каждого оценочного четырехугольного блока независимо рассчитываются ламбда- и дельта-критерии, по каждому из которых оценивается категория разведанности, соответственно, по фактору изученности гипсометрии и мощности. В качестве итоговой категории присваивается низшая категория из двух полученных.

Проверка эффективности применения критериев разведанности при категоризации запасов, выполненная на материалах 40 отработанных контуров шахты «Распадская» (пласты 6-6а и 7-7а), показала, что погрешность назначения категорий запасов традиционным экспертным методом составляет 83,4 %, а с помощью критериев разведанности — 22,5 %. Аналогичная проверка, проведенная на материалах списания запасов шахт «Инская», им. Димитрова, им. Ленина и им. 7 Ноября, выполненная по условию неправомерности списания запасов категории A, показала 60%-ю погрешность экспертных методов и 12%-ю погрешность категоризации с помощью критериев разведанности.

2.15. Оценка точности планового положения изолиний и правомерности интерполирования между точками измерений мощностей и показателей качества угля

Построенные в ходе геометризации изолинии выполняют две основные функции:

- обеспечивают прогнозирование значения признака в произвольной точке пласта в процессе использования моделей;
- являются границей зоны заданного диапазона изменения значений признака.

Если геологоразведочные организации используют изолинии признаков только с целью выделения кондиционных запасов и границ смены марочного состава, то маркшейдерско-геологические службы угольных предприятий решают с их помощью значительно более широкий круг задач.

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, то погрешности в их положении могут приводить к принятию ошибочных инженерных решений. Знание погрешности положения изолиний позволяет производить технико-экономические расчеты по нескольким 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 положения изолинии, является необходимым элементом оценки достоверности моделей угольных месторождений [63]. В качестве числовой характеристики степени несовпадения фактического и ожидаемого по материалам геометризации положения изолинии можно использовать среднее значение T расстояний между ними T_i (рис. 2.68).

При производстве сравнений материалов горных и разведочных работ величина T может быть определена по формуле:

$$T = S_0 / L_{\text{гео}}, \quad (2.70)$$

где S_0 — площадь ошибочных оценок значения признаков, границами которой являются контур участка оценки и изолинии по данным горных и разведочных работ (рис. 2.68);

L_{geo} — длина изолинии, построенной по материалам геологоразведочных работ.

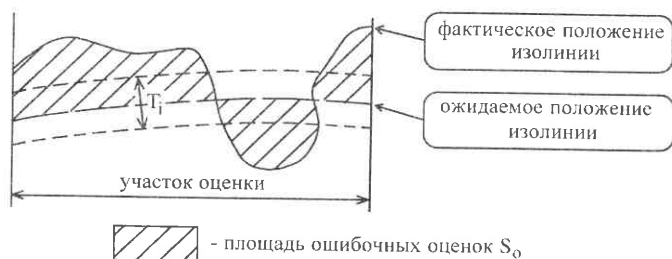


Рис. 2.68. Характеристика точности положения изолиний

Естественно, что погрешность T должна быть связана с расстоянием между точками измерений, точностью прогноза значения признака с помощью модели и сложностью топофункции его размещения.

Изучение закономерностей в значениях погрешностей положения изолиний осуществлялось на материалах отработки девяти угольных пластов Кузбасса [53], имеющих мощность от 0,7 до 3,8 м (пласт 1 поля АО «Аларда» — Кондомский район, пласт 3 поля шахты «Новая», пласт 2 поля шахты «Западная», пласты 4 и 5 поля шахты «Чертинская» — Беловский район, пласты Кумпановский и Конгломератовый поля шахты «Бутовская», пласт Кемеровский поля шахты «Ягуновская» и пласт XXVI поля шахты «Бирюлинская» — Кемеровский район). В ходе работы производилось сравнение положений изолиний мощности, отстроенных по материалам только разведочных и только эксплуатационных работ (рис. 2.69). Погрешность положения изолиний (T) оценивалась по формуле 2.70.

Фактические значения погрешностей T по отдельным пластам колебались от 305 до 47 м.

В результате статистической обработки материалов удалось выявить наличие тесной корреляционной связи (коэффициент корреляции равен 0,9) погрешности T с параметром F (рис. 2.70):

$$T = 0,41 \cdot F, \quad (2.71)$$

где

$$F = L_{cp} \cdot \Delta_{cp} / \sigma, \quad (2.72)$$

где L_{cp} — среднее арифметическое расстояние между геологическими замерами, используемыми при интерполировании в ходе построения изолинии;

Δ_{cp} — среднее арифметическое значение дельта-критериев разведанности, характеризующих случайную (негеометризируемую) составляющую изменчивости признака;

σ — стандартное среднеквадратическое отклонение значений признаков от их среднего значения, характеризующее общую изменчивость признака.

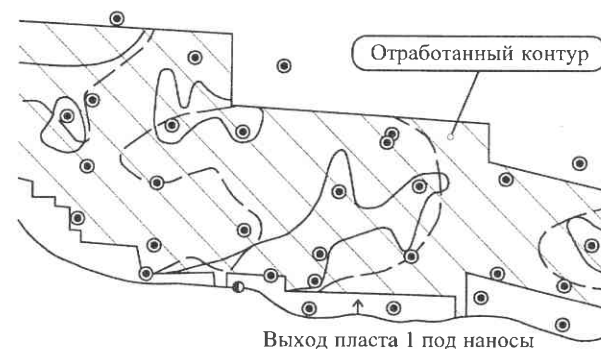


Рис. 2.69. Сравнение положения изомощности «1,8 м», построенной по геологоразведочным (пунктирная линия) и эксплуатационным данным (сплошная линия) по пласту 1 поля АО «Аларда»

Стандартное отклонение σ определяется по известной формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{cp})^2}{n}}, \quad (2.73)$$

где P_i — значение признака по i -й точке измерений;
 P_{cp} — среднеарифметическое значение признака;
 n — общее число измерений признака.

Однако если число наблюдений n не превышает 30, то в значение σ должна вводиться поправка Миллера – Кона, т. е. вместо σ в формуле 2.73 необходимо использовать величину σ_M :

$$\sigma_M = \left(1 + \frac{1}{1+n}\right) \sqrt{\frac{n}{n-3}} \quad (2.74)$$

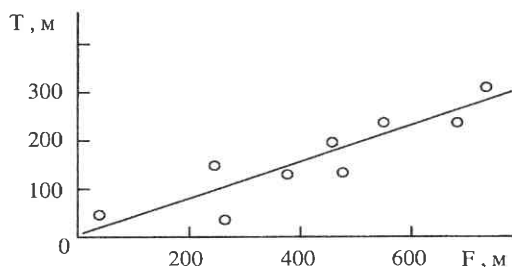


Рис. 2.70. Корреляционная зависимость величины погрешности положения изолинии (T) от значения параметра F

С помощью формулы 2.71 можно осуществлять решение как прямых, так и обратных задач, т. е. предусчитывать ожидаемую погрешность положения изолиний (с последующим ее использованием при построении возможных вариантов состояния горно-геологической обстановки).

Представляется, что в условиях относительного равенства среднеквадратических отклонений σ и средних дельта-критериев разведанности Δ_{cp} построение изолиний по результатам непосредственно произведенных измерений вообще неправомерно и представление о характере изменения признака в пространстве недр может быть получено только методами сглаживания или блочного моделирования. Это связано с тем, что отношение Δ_{cp} / σ практически характеризует отношение негеометризируемой (случайной) составляющей изменчивости признака к его общей суммарной изменчивости. Понятно, что построение изолиний правомерно лишь в случае, когда доля закономерной составляющей превышает 50 % (т. е. характеристика общей изменчивости должна превышать характеристику случайной изменчивости признака не менее

чем в два раза). Поскольку величины Δ_{cp} и σ разнородны, то необходим переход от показателя неоднозначности Δ_{cp} к случайной составляющей изменчивости, который может быть произведен по формуле 2.68. Поэтому с вероятностью 0,67 можно характеризовать допустимое для выполнения построения изолиний соотношение упомянутых изменчивостей как: $(1,6 \cdot \Delta_{cp}) / (2 \cdot \sigma) = 0,8$ и сформулировать следующее важное условие: построение изолиний правомерно, если

$$\Delta_{cp} / \sigma \leq 0,8. \quad (2.75)$$

Проверка выполнения условия 2.75 является необходимым элементом проведения исследований. В случае его невыполнения расчет и тем более интерпретация значений дельта-критериев разведанности неправомерны. Данное условие выполняет при геометризации мощности пласта и показателей качества угля те же функции, что и кривая разведанности для гипсометрии. Использование для оценки правомерности рассматриваемых параметров метода разрежения разведочной сети (кривых разведанности) некорректно в связи с их высокой изменчивостью, приводящей, как правило, к потере правомерности интерполяции уже после первого разрежения.

Поскольку методика исследований опирается на характер геометрических, а не геологических закономерностей, то это дает основание для ее применения при оценке точности моделирования не только мощности, но и других аналогично геометризуемых признаков. Проверка данного обстоятельства производилась на материалах сравнения фактических и прогнозных размещений основных показателей качества углей разреза «Междуреченский». Сравнение фактических и расчетных (определенных по формуле 2.71) погрешностей положений изолиний зольности (фактическая погрешность – 64 м, ожидаемая – 71 м) и пластометрического показателя $У$ (фактическая погрешность – 114 м, ожидаемая – 91 м) подтверждает выдвинутое предположение об универсальности предложенного подхода.

Средством автоматизации расчетов по формулам 2.71 и 2.75 служит компьютерная программа «РРРР», использующая данные, генерируемые ранее описанной программой «ДРУ». Результатом работы программы является стандартный текст заключения на магнитном или бумажном носителе, имеющем два основных варианта.

Например:

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ
ВЕРОЯТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПЛАНОВОГО
ПОЛОЖЕНИЯ ИЗОЛИНИЙ ЗОЛЬНОСТИ

Участок К-й
Пласт IV

Количество измерений:	116
Среднее значение дельта-критерия:	3,0
Среднеквадратическое отклонение признака от среднего значения:	4,5

В результате расчетов, выполненных на персональной ЭВМ с помощью программы «РРРІ», установлено, что ожидаемое отклонение прогнозного положения изолинии от ее фактического положения составит в плане:

- для изолинии «6,0 %» — 107 м;
- для изолинии «10,0 %» — 73 м;
- для изолинии «14,0 %» — 71 м;
- ...»

или

«...»

В результате расчетов, выполненных на персональной ЭВМ с помощью программы «РРРІ», установлено, что построение изолиний признака по участку не правомерно, поскольку существующая разведочная сеть не обеспечивает вскрытия существующих закономерностей в размещении показателя.

...».

Практическое применение предлагаемой методики достаточно разнообразно и широко: от точности установления границ кондиционных и высокотехнологичных значений признаков до точности выделения границ присечки боковых пород и границ зон окисленных углей. Оценка точности выделения последних границ имеет важное значение как в условиях ведения открытых, так и подземных горных работ. Поэтому в качестве примера применения методики рассмотрим оценку точности положения границы зоны окисленного угля по запланированному к строительству разрезу «Н-й», ориентированного на отработку одной пачки пласта.

Непосредственно определенная по подсечениям высшая теплота сгорания угля... пачки пласта... изменяется в пределах от 7130 до 7450 ккал/кг. В соответствии с ГОСТ 10020-88 для марки Д данного месторождения границей между марочными и окисленными углями первой группы является высшая теплота сгорания в 7280 ккал/кг. Исследованиями, выполненными с помощью программы «РРРІ», установлено, что погрешность в определении положения изолинии-границы перехода марочных углей в окисленные (изолинии $Q_s^{daf} = 7280$ ккал/кг) составляет 20 м в плане. С учетом углов падения пласта (11°) это соответствует возможной погрешности определения глубины зоны распространения окисленных углей в 4 м. Данная погрешность может привести к увеличению запасов окисленных углей на 460 тыс. т (на 40 % от их общего количества) и, соответственно, к уменьшению на 5 % запасов марочных углей, что влечет за собой следующее вероятное снижение денежной ценности полезного ископаемого по годам добычи:

- 2006 г. — ... млн руб.;
- 2007 г. — ... млн руб.;...

Кроме того, при проектировании горных работ подошву последнего добычного уступа «окисленных» углей следует разместить на 4 м ниже официально указанной границы.

2.16. Влияние погрешностей измерений исходных данных на значения дельта-критериев разведанности

Значения дельта-критериев разведанности обусловлены действием двух основных факторов:

- техническими погрешностями измерений и определений данных по плаstopодсечениям;
- погрешностями применяемого метода интерполирования (метода построения геометрической модели).

Выявление уровня значений дельта-критериев разведанности, связанного только с влиянием технических погрешностей определений параметров, имеет важное значение. Если в ходе исследований объекта будет установлено, что значения критериев целиком обусловлены погрешностями измерений, то, несмотря на их значения, следует сделать вывод об его полной разведанности, т. е. об исчерпании информационных возможностей буровой разведки, проводимой с помощью определенного оборудования и методик.

Предрасчет значения дельта-критерия, обусловленного только уровнем технических погрешностей исходных данных (Δ_p), можно осуществить на основе известных методов теории погрешностей измерений. Учитывая, что диагонали оценочных блоков пересекаются где-то в районе их середины и предполагая равенство значений погрешностей однотипных характеристик по входящим в блок скважинам, можно записать:

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \quad (2.76)$$

где Δ_1 и Δ_2 — ожидаемые погрешности определения значения признака в точке пересечения диагоналей четырехугольника, соответственно, по первой и второй его диагонали.

Расчет значения среднеквадратической погрешности Δ_j осуществляется по формуле:

$$\Delta_j^2 = m_p^2 + 2 \cdot (0,75 \frac{\Delta P_j}{R_j})^2 \cdot m_R^2, \quad (2.77)$$

где m_p — среднеквадратическая погрешность непосредственного определения значения изучаемого признака P (мощности пласта, зольности, теплоты сгорания и т. д.);

m_R — среднеквадратическая погрешность определения длины диагонали;

R_j — длина j -й диагонали;

ΔP_j — разность значений признака между замерами, формирующими j -ю диагональ.

Значение погрешности m_R определяется в соответствии с рекомендациями, изложенными в параграфе 2.10.

Погрешности измерения значений признаков могут быть установлены по материалам ведения горных работ, и даже для мощности пласта, только по материалам разведки.

Как известно, все измерения производятся с погрешностями. Не составляет исключения и процесс измерения мощностей пластов и показателей качества углей в скважинах и горных выработках. Однако измерения, выполняемые на стадии горно-эксплуатационных работ, с точки зрения геометризации могут считаться безошибочными. Это следует из того, что погрешности малы (например, по мнению И. Н. Ушакова, погрешность измерения мощности составляет не более 2–3 %) и являются малозначимыми для горного производства.

Иное дело погрешности скважинных измерений, которые могут достигать значительных величин (например, значения мощностей пластов, измеренные в скважинах, могут содержать погрешности, достигающие 20–40 см).

Методика оценки точности скважинных измерений в условиях уже действующих предприятий вполне очевидна: сравнить данные геологоразведки с данными горных работ, принимая последние за безошибочные. Однако здесь присутствует одно «но». В шахтных условиях практически нет возможности осуществить измерения признаков именно в тех точках, где скважина встретила пласт, хотя к этому и следует стремиться. Кроме того, точки таких замеров находятся, как правило, в зоне опорного давления. Поэтому реально сопоставляются не совпадающие в пространстве замеры в скважинах и в шахте, удаленные друг от друга на расстояние l . Вполне понятно, что такие разнесенные в пространстве сопоставления не вполне достоверны, так как разности «данные геологоразведки — данные горных работ» содержат в себе не только составляющие, обусловленные погрешностями измерений, но и составляющие, связанные с природным, реально существующим, изменением значений признака в пространстве недр. Отсюда сразу встает задача об учете величины l и установлении ее предельного значения.

В соответствии с хорошо подтвердившимися на практике представлениями изменение значений признаков имеет сложный волнообразный характер, осложняющий закономерное прямолинейное изменение признака (рис. 2.71). Исходя из этого, следует, по крайней мере, два вывода. Во-первых, существует некоторое расстояние l_2 , при превышении которого сопоставления осуществлять неправомерно, и, во-вторых, в интервале удалений от 0 до l_2 отсутствует прямая зависимость между степенью надежности сопоставлений и расстояниями. Например, сопоставление результата измерения в скважине с замером, удаленным от нее на l_1 , даст менее точные результаты, чем сопоставление с замером, удаленным на расстояние l_2 , несмотря на то, что l_1 значительно меньше, чем l_2 (рис. 2.71).

При решении задачи оценки точности измерений следует иметь в виду следующее обстоятельство. Поскольку истинный характер изменения признака неизвестен (сведения о длине «волн» отсутствуют), то при любой методике обработки сопоставлений в оцененной величине погрешности измерений будет присутствовать составляющая, связанная с изменчивостью признака, и весь вопрос состоит в том, насколько опасна эта составляющая, насколько она может деформировать генерируемые выводы. Характер влияния случайной составляющей изменения признака на точность модели совершенно аналогичен влиянию



Рис. 2.71. Характер изменения признака Р и его влияние на результаты оценки точности скважинных измерений

на нее погрешности измерений. Поэтому с точки зрения геометризации разделять эти два элемента изменчивости вовсе нет необходимости. Влияние же закономерной составляющей изменчивости, связанной с расстоянием между точками сопоставления, должно быть исключено в максимальной степени.

Исходя из вышесказанного, в основу методики сопоставлений может быть положено следующее представление [27; 28]:

$$R_p^2 = m_p^2 + a^2 \cdot l^2, \quad (2.78)$$

где R_p — свободная от систематической составляющей разность между значениями признака (мощности, зольности и т. д.) по данным горных и геологоразведочных работ;

l — расстояние между точкой замера признака в горной выработке и скважиной;

m_p — среднеквадратическая погрешность измерения значения признака в скважине;

a — коэффициент влияния закономерной составляющей изменчивости на результаты сопоставлений.

Таким образом, различие между данными горных и геологоразведочных работ складывается из погрешности измерений и зависящий от расстояния между точками замера закономерной составляющей изменчивости.

Имея ряд сопоставлений (не менее 20), можно записать систему уравнений вида 2.78, решить ее по методу наименьших квадратов и найти параметры a и m_p .

Нахождение свободных от систематических составляющих разностей осуществляется по формуле

$$R_{pi} = P_{ci} - P_{gi} - c, \quad (2.79)$$

где P_{ci} — значение измеренного в скважине признака в i -м сопоставлении;
 P_{gi} — значение измеренного в горной выработке признака в i -м сопоставлении;

c — систематическая составляющая.

Составляющая c рассчитывается для всего массива сопоставлений следующим образом:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ci} - \sum_{i=1}^n P_{gi}}{n}, \quad (2.80)$$

где n — число сопоставлений.

Определение и учет погрешности c необходимо производить лишь в случае, когда она имеет статистически значимый характер. Оценку ее значимости достаточно просто можно установить с помощью несложного метода [43].

Его сущность состоит в следующем.

Пусть имеется совокупность сопоставлений значений признаков по данным горных (P_g) и разведочных работ (P_c) — таблица 2.22.

Если рассматриваемые источники данных имеют систематические расхождения в результатах измерений, то должна наблюдаться определенная закономерность в соотношении их значений. Например, первый метод определения (данные эксплуатации), может иметь в основном более высокие значения признака и т. д. Причем это явление должно наблюдаться вне зависимости от того, какой характер имеют систематические погрешности: постоянный или связанный со значением измеряемого признака. Для вскрытия и анализа значимости этих расхождений непосредственные измерения переводятся в ряд натуральных чисел путем их ранжирования. Для этого максимальному значению признака в сопоставлении присваивается ранг $b_{ji} = 1$, а минимальному — $b_{ji} = 2$. Если значения признаков равны, то обоим присваивается одинаковый ранг 1,5. В соответствии с описанными правилами, после проведения ранжирования данных, табл. 2.22 примет вид табл. 2.23.

Ясно, что наличие систематических погрешностей должно приводить к появлению закономерностей в распределении ранжированных значений измерений по сопоставлениям, т. е. к статистически значи-

мой «похожести», находящихся в колонках последовательностей рангов. Данное обстоятельство легко оценивается с помощью коэффициента конкордации W . Для расчета W находятся суммы записанных в строках таблицы чисел

$$U_r = \sum_{i=1}^n b_{ri}; \quad U_c = \sum_{i=1}^n b_{ci} \quad (2.81)$$

и параметр

$$S = (U_r - 1,5 \cdot n)^2 + (U_c - 1,5 \cdot n)^2, \quad (2.82)$$

где n — число выполненных сопоставлений.

Таблица 2.22

Результаты сопоставлений								
По данным:	Значения признаков по сопоставлению, номер							
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n
эксплуатации	10,5	12,3	9,5	...	P_{pi}	...	21,1	7,9
разведки	8,3	13,7	9,5	...	P_{ci}	...	22,4	5,2

Таблица 2.23

Ранжированные результаты сопоставлений									
По данным:	Значения признаков по сопоставлению, номер								Сумма по строкам
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n	
эксплуатации	1	2	1,5	...	b_{pi}	...	2	1	U_r
разведки	2	1	1,5	...	b_{ci}	...	1	2	U_c

Собственно коэффициент конкордации W рассчитывается по формуле:

$$W = 2 \cdot S / n^2. \quad (2.83)$$

Значение коэффициента 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 2.79 и ее последующий учет целесообразно проводить только при $W \geq 0,6$.

Решение системы уравнений вида 2.79 по методу наименьших квадратов приводит к расчетным формулам 2.84 и 2.85.

Знак при a^2 может быть как положительным, так и отрицательным и зависит от положения точек замера относительно «гребней» и «впадин» реального закона изменения признака. Знак при m_p^2 , напротив, всегда должен быть положительным. Отрицательное значение m_p^2 свидетельствует о наличии в массиве сопоставлений разностей, обусловленных не случайными, а грубыми ошибками и указывает на необходимость производства отбраковки данных. При расчете сумм, используемых в формулах 2.84 и 2.85, чисто из вычислительных соображений рекомендуется измерять l в сотнях метров.

$$a^2 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n R_{p_i}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n l_i^2 R_{p_i}^2}{\sum_{i=1}^n l_i^2}}{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n l_i^4}{\sum_{i=1}^n l_i^2}}; \quad (2.84)$$

$$m_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_{p_i}^2 - a^2 \sum_{i=1}^n l_i^2}{n}. \quad (2.85)$$

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

$$m_p \geq 3 \cdot |a \cdot l_{cp}|, \quad (2.86)$$

где l_{cp} — среднеарифметическое расстояние между замерами и скважинами.

Оценку точности целесообразно проводить в три этапа. Первый из них состоит в расчете a и m_p по заданному массиву сопоставлений. На втором этапе осуществляется выявление абсолютно ненадежных сопоставлений на основе построения графика зависимости квадратов фак-

тических разностей значений показателя (R_{pi}^2) от квадратов расстояний сопоставлений (l_i^2) — рис. 2.72. На этот же график наносится и теоретическая прямая $R_p^2 = m_p^2 + a^2 \cdot l^2$. Корреляционное облако может иметь одну из форм. Наиболее часто форма облака соответствует рисунку 2.72, а и не имеет каких-либо закономерностей.

Для выявления ненадежных сопоставлений находится среднеквадратическое отклонение квадратов теоретических и фактических значений по формуле

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{pi}^2 - m_p^2 - a^2 \cdot l_i^2)^2}{n}}. \quad (2.87)$$

Ненадежным в этом случае полагается сопоставление, для которого модуль разности $R_p^2 - m_p^2 + a^2 \cdot l^2$ превышает $1,5\sigma_R$.

Иногда, когда направления линий, соединяющих сопоставляемые замеры в горных выработках и в скважинах, близки между собой, корреляционное облако зависимости имеет волнообразную форму (рис. 2.72, б). «Гребни» и «впадины» волн облака соответствуют «гребням» и «впадинам» волн, собственно изменения. Сопоставления, попавшие в них, нельзя считать надежными. В этом случае вдоль границ корреляционного облака проводятся линии (пунктиры — на рис. 2.72, б), как бы отсекающие «гребни» и «волны». Все сопоставления, попавшие выше и ниже этой пары линий, признаются ненадежными.

Третьим этапом обработки является окончательный расчет параметров a и m_p только по надежным замерам. Полученное на этом этапе значение систематической погрешности целиком относится к скважинным измерениям. Однако ее не следует интерпретировать как реально существующую погрешность, если она меньше, чем половина погрешности m_p . При оценке точности измерений мощностей не следует забывать, что величина c может быть вызвана неучтенным действием опорного давления.

При выполнении сопоставлений необходимо обеспечить постоянство методики выполнения скважинных измерений, что достигается в ходе формирования массивов исходных данных. Наиболее просто это достигается путем включения в массив сопоставлений скважин только одной стадии разведки. Выделить их на подсчетном плане или на плане горных работ очень просто по номерам скважин, первые цифры кото-

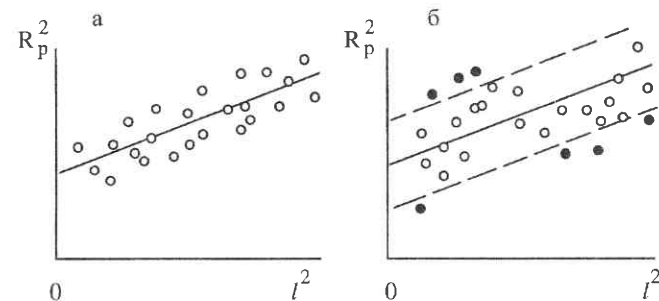


Рис. 2.72. Выявление ненадежных пар сопоставлений

рых, как правило, постоянны для каждой стадии. Недопустимо использовать при сопоставлениях результаты измерений, не принятые в подсчет запасов. При сопоставлениях мощности следует иметь также в виду, что в пределах массива сопоставлений мощность по скважине должна быть принята по одним и тем же данным (например, по каротажу). Дело в том, что измерения, выполненные по каротажу, не содержат, а буровые измерения содержат систематические погрешности. Таким образом, в ходе оценки точности могут возникнуть несколько массивов сопоставлений, обрабатываемых независимо друг от друга.

При выборе пар сопоставлений вполне допустимо производить сравнение данных по одной скважине с несколькими замерами. Однако число таких сопоставлений должно быть примерно постоянным для каждой скважины, так как в противном случае произойдет смещение оценки в сторону конкретной погрешности, имеющей место в скважине с большим числом сопоставлений. В этом случае результаты оценки точности не будут представительными, а следовательно, и надежными.

В качестве поясняющего примера рассмотрим процесс сопоставления данных горных и разведочных работ по зольности одного из пластов разреза «Междуреченский» (рис. 2.73). В целях сокращения объема расчетов пример сознательно выполнен по некорректно малому числу сопоставлений.

При выполнении сбора исходных данных на плане горных работ намечаются пары сопоставлений «скважина — замер» (которые соединены на рис. 2.73 прямыми линиями). Измеренные длины этих линий l и значения зольности заносятся в таблицу исходных данных (табл. 2.24).

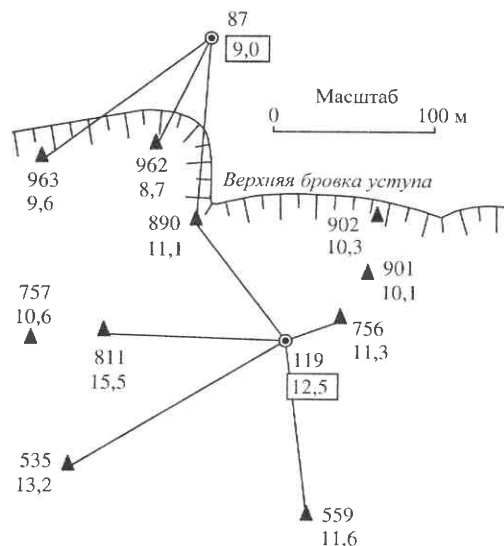


Рис. 2.73. Фрагмент плана горных работ разреза «Междуреченский»

Таблица 2.24

Результаты сопоставлений								
Данные	Значения признаков по сопоставлению, номер							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер скважины	87	87	87	119	119	119	119	119
Зольность по скважине	9,0	9,0	9,0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Номер замера	963	962	890	890	756	559	535	757
Зольность по замеру	9,6	8,7	11,1	11,1	11,3	11,6	13,2	15,5
Расстояние, сотни м	0,92	0,54	0,82	0,65	0,26	0,80	1,10	1,12

Для сопоставлений выбираются те замеры по горным работам, которые находятся как можно ближе к скважинам, но не «экранируют» друг друга.

Поэтому, например, в сопоставлениях не используется замер 901, «экранируемый» относительно скважины 119 замером 756 (несмотря на то, что он более близок к данной скважине, чем используемые замеры 559, 535 и 811).

В случае, если по участку отстроены изолинии значений признака по данным горно-эксплуатационных работ, в качестве наиболее предпочтительных направлений сопоставлений желательно принимать направления, совпадающие с направлением изолиний (т. к. вдоль них природная изменчивость признака минимальна).

На первом этапе оценки точности оценивается значимость систематической составляющей, для чего создается таблица рангов результатов измерений (табл. 2.25).

По результатам расчетов сумм U_r и U_c по формуле 2.82 получаем: $S = (12 - 1,5 \cdot 8)^2 + (12 - 1,5 \cdot 8)^2 = 0$ и по формуле 2.83 $W = 0$. На основании этого можно сделать вывод о полном отсутствии систематической составляющей в результатах сопоставлений. Поэтому не возникает необходимости в использовании формул 2.79 и 2.80 для установления и учета систематических погрешностей.

Таблица 2.25

Ранжированные результаты сопоставлений									
По данным:	Значения признаков по сопоставлению, номер								Сумма по строкам
	1	2	3	4	5	6	7	8	
эксплуатации	1	2	1	2	2	2	1	1	$U_r = 12$
разведки	2	1	2	1	1	1	2	2	$U_c = 12$

Затем производится предварительный расчет значений погрешностей a и m_p . Для определения необходимых для этого сумм значений признаков формируется специальная таблица 2.26.

Таблица 2.26

Предварительный расчет погрешности скважинных измерений зольности пласта									
Скважина	Замер	Зольность по		R_p , %	R_p^2	l , сотни м	P	PR_p^2	P^2
		скважине	замеру						
87	963	9,0	9,6	-0,6	0,36	0,92	0,846	0,305	0,716
87	962	9,0	8,7	+0,3	0,09	0,54	0,292	0,026	0,085
87	890	9,0	11,1	-2,1	4,41	0,82	0,672	2,965	0,452
119	890	12,5	11,1	+1,4	1,96	0,65	0,423	0,828	0,179
119	756	12,5	11,3	+1,2	1,44	0,26	0,068	0,097	0,005
119	559	12,5	11,6	+0,9	0,81	0,80	0,640	0,518	0,410
119	535	12,5	13,2	-0,7	0,49	1,10	1,210	0,593	1,464
119	811	12,5	15,5	-3,0	9,00	1,12	1,254	11,290	1,574
Суммы		89,5	92,1		18,56		5,405	16,622	4,885

В соответствии с формулами 2.84 и 2.85 погрешности равны:

$$a^2 = \frac{\frac{18,56}{8} - \frac{16,622 \cdot 5,405}{4,885}}{\frac{8}{8} - \frac{5,405}{5,405}} = 3,31; \quad m_p^2 = \frac{16,56 - 3,31 \cdot 5,405}{8} = 0,08$$

и $a = 1,82$; $m_p = 0,3 \%$.

Для установления вида корреляционного облака и выделения и исключения очень грубых сопоставлений строится график зависимости значений R_p^2 от l^2 (рис. 2.74). Рассчитанное по формуле 2.87 среднеквадратическое отклонение σ_R равно 2,25. На рисунке, параллельно аппроксимирующей прямой, на удалении по вертикали от нее $\pm 1,5\sigma_R$ проводятся две линии (пунктиры на рис. 2.74), отсекающие точки, соответствующие грубым сопоставлениям. Как видно из рисунка, к ним можно отнести только сопоставление № 8 (между скважиной 119 и замером 811). Данное сопоставление исключается из исходной таблицы 2.26, и все вычисления повторяются вновь (табл. 2.27).

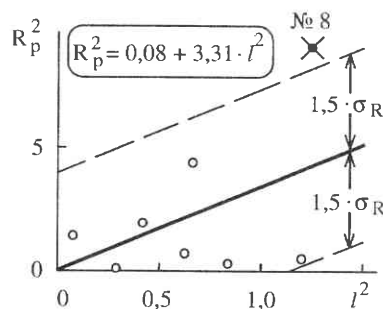


Рис. 2.74. Выявление ненадежных пар сопоставлений зольности пласта

После вычислений по формулам 2.83 и 2.84 получаем: $a^2 = -0,395$; $m_p^2 = 1,13$, т. е. $a = 0,628$; $m_p = 1,06 \%$.

Результаты расчетов проверяются на надежность по условию формулы 2.85: $1,06 \geq 3 \cdot 0,395 \cdot 0,79$ или после вычислений: $1,06 \geq 0,94$. Поскольку оно выполняется, то дальнейшая отбраковка данных не требуется (если бы оно не выполнялось, то следовало бы продолжить отбраковку данных). Таким образом, ожидаемая техническая погреш-

ность определения зольности пласта III в условиях углераза «Междуреченский» составляет $\pm 1,1 \%$. Еще раз напомним, что рассмотренный пример выполнен по чрезмерно усеченному массиву сопоставлений (по полному массиву данных, состоящему из 72 сопоставлений, была получена погрешность определения зольности $\pm 1,3 \%$).

Таблица 2.27

Окончательный расчет погрешности скважинных измерений зольности пласта

Скважина	Замер	Зольность по		$R_p, \%$	R_p^2	l , сотни м	l^2	$l R_p^2$	l^4
		скважине	замеру						
87	963	9,0	9,6	-0,6	0,36	0,92	0,846	0,305	0,716
87	962	9,0	8,7	+0,3	0,09	0,54	0,292	0,026	0,085
87	890	9,0	11,1	-2,1	4,41	0,82	0,672	2,965	0,452
119	890	12,5	11,1	+1,4	1,96	0,65	0,423	0,828	0,179
119	756	12,5	11,3	+1,2	1,44	0,26	0,068	0,097	0,005
119	559	12,5	11,6	+0,9	0,81	0,80	0,640	0,518	0,410
119	535	12,5	13,2	-0,7	0,49	1,10	1,210	0,593	1,464
Суммы		77,0	76,6		9,56	5,09	4,151	5,332	3,311

Существует еще один достаточно простой способ оценки точности скважинных измерений. Он состоит в том, что предварительно, по материалам горных работ, отстраиваются изолинии фактического поведения признака на участке сопоставления. Используя эту модель (которая очень близка к реальности), находят значения признака в точках, где пласт встречен скважиной (P_{pi}). Затем по формуле 2.80 рассчитывается систематическая составляющая, а по формуле 2.79 — свободные от нее разности R_{pi} .

Погрешность скважинных измерений при этом равна

$$m_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{pi}^2}{n}}. \quad (2.88)$$

Однако, несмотря на простоту математической обработки, метод сложен в сборе данных, так как на практике сеть замеров в горных выработках не ориентирована на построение моделей и, следовательно, метод требует специальных долгосрочных наблюдений в шахтных условиях.

По результатам специальных исследований, проведенных с использованием разработанного метода и материалов горных работ шахт и разрезов Кузбасса, средние случайные погрешности скважинных определений составляют для:

- мощности пласта (по данным каротажа) – 15 см;
- пластовой зольности – 3 %
- зольности чистых угольных пачек – 2 %;
- влаги – 2 %;
- выхода летучих – 2 %;
- пластометрического показателя X – 4 мм;
- пластометрического показателя Y – 2 мм;
- теплоты сгорания – 50 ккал/кг.

Исследования также показывают, что погрешность определения зольности практически не зависит от линейного выхода керна при диапазоне его изменения от 30 до 90 % [28]. Хотя считается, что его выход существенно влияет на представительность керновых проб, прежде всего при оценке зольности. Таким образом, ни высокая (выход керна более 70 %), ни средняя (от 50 до 70 %), ни даже низкая (от 30 до 50 %) представительность проб не является достаточным основанием для их отбраковки.

Оценка точности скважинных измерений мощности может выполняться и без привлечения данных горных работ, только по геологоразведочным данным.

В настоящее время мощность пласта определяется дважды: по каротажу (m_k) и по бурению (m_b). Разность R_m между получаемыми результатами измерений целиком обусловлена их погрешностями и, следовательно, несет информацию о них. Ее расшифровка возможна только на основе соответствующих гипотез о характере влияния ошибок.

В результате анализа литературных источников (работы А. А. Бойченко, В. А. Букринского, К. В. Гаврилина, В. И. Докиенко, Д. П. Жижина, Ю. М. Игнатова, В. С. Огаркова, Л. М. Печенкиной, С. Ф. Трофимова, Л. А. Шпеталенко) можно предположить, что случайные ошибки бурения зависят от величины пересекаемой мощности, а случайные ошибки каротажа не зависят от нее. Кроме того, для бурения характерна систематическая погрешность измерений, практически отсутствующая у каротажа. Специальные исследования, проведенные по методике А. И. Орлова [29], показали, что в пределах сопоставлений по отдельному пласту отсутствует статистически надежная связь между зна-

чениями систематических ошибок и величинами мощностей пласта. Данное обстоятельство имеет достаточно ясную физическую природу, рассмотренную в работах Г. М. Костоманова [23] и Ю. В. Буцика [6]. Поэтому, имея набор из n сопоставлений данных буровых и каротажных измерений, можно определять систематическую погрешность бурения c по формуле:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n m_{bi} - \sum_{i=1}^n m_{ki}}{n}, \quad (2.89)$$

где m_{bi} и m_{ki} – мощность пласта по данным бурения и каротажа для i -го пластоподсечения.

В ходе экспериментальных работ было установлено также, что линейная зависимость погрешности бурения от мощности пересекаемого пласта правомерна далеко не во всех случаях, на что впервые обратил внимание В. И. Докиенко [15]. Данное явление хорошо иллюстрируется рис. 2.75,а, на котором приведена экспериментальная зависимость между разностями R_m и мощностями пласта. Поэтому в теоретическую модель разности данных бурения и каротажа был введен специальный дополнительный коэффициент A .

Исходя из принятых гипотез и теории ошибок измерений, можно записать:

$$R_{mi}^2 = k^2 + b^2 \cdot (m_{ui}^2 - A^2), \quad (2.90)$$

где $R_{mi} = m_{ki} - m_{bi} + c$ (необходимость определения и учета систематической погрешности c устанавливается с помощью вышеописанной методики, использующей коэффициент конкордации);

k – случайная погрешность определения мощности по данным каротажа;

b – случайная относительная погрешность определения мощности по данным бурения;

m_{ui} – «истинная» мощность пласта.

Поскольку значение m_{ui} неизвестно, то с достаточной для практических целей точностью можно положить ее равной мощности по каротажу m_{ki} .

Таким образом, имея n сопоставлений, можно записать систему уравнений:

$$\begin{aligned}
R_{m_1}^2 - k^2 + b^2 \cdot (m_{\kappa_1}^2 - A^2) &= 0 \\
R_{m_2}^2 - k^2 + b^2 \cdot (m_{\kappa_2}^2 - A^2) &= 0 \\
&\dots\dots\dots \\
R_{m_n}^2 - k^2 + b^2 \cdot (m_{\kappa_n}^2 - A^2) &= 0.
\end{aligned}
\tag{2.91}$$

Непосредственное решение этой системы методом наименьших квадратов, в связи с формой участия в ней неизвестного коэффициента A , невозможно. Однако устанавливается, что:

$$b^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 \cdot \sum_{i=1}^n (m_{\kappa_i}^2 - A^2) - n \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 \cdot (m_{\kappa_i}^2 - A^2)}{\left[\sum_{i=1}^n (m_{\kappa_i}^2 - A^2) \right]^2 - n \sum_{i=1}^n (m_{\kappa_i}^2 - A^2)^2}, \tag{2.92}$$

$$k^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 - b^2 \cdot \sum_{i=1}^n (m_{\kappa_i}^2 - A^2)}{n}. \tag{2.93}$$

Процесс решения системы 2.91 заключается в том, чтобы путем перебора возможных величин A найти среди них такое, которое при вычислении погрешностей b и k по формулам 2.92 и 2.93 обеспечит минимальное значение суммы $[\epsilon\epsilon]$ (что отвечает принципу аппроксимации по минимуму наименьших квадратов):

$$[\epsilon\epsilon] = \sum_{i=1}^n \{k^2 + b^2(m_{\kappa_i}^2 - A^2) - R_{m_i}^2\}^2 = \min \tag{2.94}$$

Наиболее просто данный подход реализуется на ЭВМ (перебор A начинается с $A = 0$ и завершается после нахождения первого минимума зависимости $[\epsilon\epsilon] = f(A)$ — рис. 2.75,б).

При ручном варианте нахождения погрешностей целесообразно производить построение параболической зависимости, связывающей квадраты $R_{m_i}^2$ (функция) и мощности пласта m_{κ_i} (аргумент) и имеющей экстремум при текущей мощности, равной A . Поэтому определение коэффициента A может быть осуществлено по формуле 2.95.

На рис. 2.75 приведены построенные по материалам шахты «Чертинская», совмещенные графики зависимости $R_{m_i}^2$ от мощности пласта m_{κ_i} (рис. 2.75,а) и $[\epsilon\epsilon]$ от задаваемого значения A (рис. 2.75,б). Из рисунка следует полное совпадение значений A , независимо полученных двумя рассмотренными методами.

$$A = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^2 \\ \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i} & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 m_{\kappa_i} & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^3 \\ \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^2 & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 m_{\kappa_i}^2 & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i} & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 \\ \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i} & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^2 & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 m_{\kappa_i} \\ \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^2 & \sum_{i=1}^n m_{\kappa_i}^3 & \sum_{i=1}^n R_{m_i}^2 m_{\kappa_i}^2 \end{vmatrix}} \tag{2.95}$$

Проверка данного обстоятельства по 17 различным массивам сопоставлений подтвердила полученный результат: максимальное расхождение в значениях коэффициентов A составило всего 1 см.

Отметим, что в случае если в массиве сопоставлений преобладают мощности ниже A , то при квадрате погрешности бурения появляется знак «минус», т. е. погрешность мнимая. Это вполне естественно, т. к. случайная абсолютная погрешность бурения в этом случае положительна:

$$\sqrt{-b^2 \cdot \sum_{i=1}^n (m_{\kappa_i}^2 - A^2)} = i \cdot b \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (A^2 - m_{\kappa_i}^2)}, \tag{2.96}$$

где i — мнимая единица.

Исследование точности метода произведено на основе сравнения значений погрешностей, полученных с его помощью и на основе сравнения данных разведки и эксплуатации (таблица 2.28).

Поскольку в настоящее время мощности пластов принимаются практически только по данным каротажа, то в таблице приведено только сравнение погрешностей данного метода измерений (сравнение погрешностей бурения полностью приведено в работе [41]).

Как следует из таблицы 2.28, метод, основанный только на сравнении данных каротажа и бурения, дает достаточно надежные оценки погрешностей даже при незначительном количестве сопоставлений.

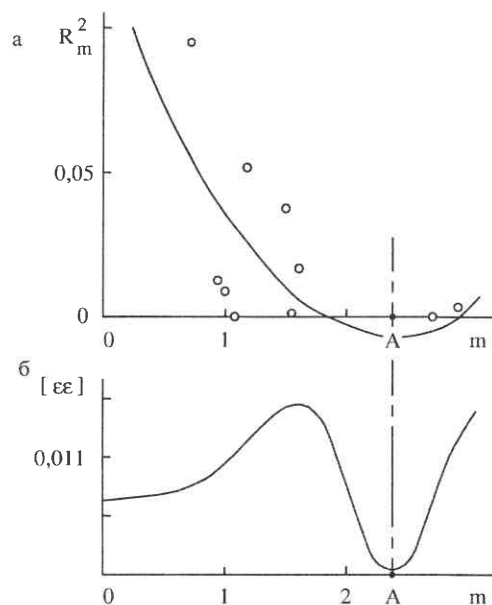


Рис. 2.75. Два метода определения значения коэффициента A

Таблица 2.28

Погрешности измерений мощности пласта каротажем				
Объект	Число сопоставлений	Погрешность каротажа из сопоставлений (см)		Средняя мощность пласта, м
		«каротаж-бурение»	«разведка-разработка»	
Кузбасс				
ш. «Чертинская»	10	10	11	1,5
ш. «Карагайлинская»	32	34	25	2,9
ш. «Северная»	5	32	27	3,9
ш. «Шушталепская»	28	29	30	2,9
ш. «Таежная»	24	13	19	1,6

Объект	Число сопоставлений	Погрешность каротажа из сопоставлений (см)		Средняя мощность пласта, м
		«каротаж-бурение»	«разведка-разработка»	
уч. «Низовский»	11	9	17	1,4
уч. «Андреевский»	8	15	14	1,1
ш. им. Ленина	11	12	7	2,3
уч. «Ровненский»	8	19	16	1,3
уч. «Конюхтинский»	8	13	12	1,2
ш. «Байдаевская»	7	14	12	1,2
ш. им. Кирова	5	18	12	2,0
<i>Донбасс</i>				
ш. «Рассвет»	8	10	12	0,8
ш. «Житомирская»	7	7	5	0,8
ш. «Давыдовская-Сев.»	6	8	11	0,9
ш. им. Поченкова	16	15	20	1,6
ш. «Краснолиманская»	12	23	21	2,2

2.17. Оценка погрешности определения количества балансовых запасов по подсчетным геологическим блокам

Поскольку погрешность подсчета запасов угля определяется точностью определения подсчетных параметров, то должна в принципе существовать взаимосвязь между нею и значениями критериев разведанности.

Для установления характера такой зависимости был собран статистический материал по 291 отработанному геологическому подсчетному блоку месторождений Ленинского, Кемеровского и Беловского районов Кузбасса. Из общего числа блоков 36 % были квалифицированы ГКЗ по категории A , 48 % – по категории B и 16 % – по C_1 .

В процессе обработки данных запасы каждого блока были разделены на три группы:

- списанные как нецелесообразные к отработке по технико-экономическим причинам;
- списанные в связи с неподтверждением подсчетных параметров;
- действительные запасы, представляющие собой сумму объемов добычи и потерь, определенные по данным маркшейдерских замеров.

Сведения об общих характеристиках, используемых при анализе подсчетных блоков, приведены в табл. 2.29.

Анализ собранных материалов проводился методами корреляции и распознавания образов.

Таблица 2.29

Характеристики отработанных подсчетных геологических блоков			
Показатель	Значения		
	максимальное	среднее	минимальное
Утвержденные запасы, тыс. т	6171	1348	48
Подсчетная мощность пласта, м	5,72	2,75	1,83
Угол падения, град	2	10	28
Доля запасов, нецелесообразных к разработке (D_c), %	72,7	16,4	0,0
Доля неподтвердившихся запасов ($D_{\text{н}}$), %	13,2	1,4	0,0
Доля действительно существующих запасов ($D_{\text{ф}}$), %	100,0	82,4	26,8
Среднее значение лямбда-критерия по блоку (λ^c), м	0,2	5,9	18,2
Среднее значение удельного лямбда-критерия по блоку ($\lambda_{\text{уд}}^c$), 10-5,1/м (см. формулу 2.62)	15,3	3,61	0,05
Среднее значение относительного дельта-критерия мощности пласта (δ^c), %	45,0	8,3	0,0
Фактическая дизъюнктивная нарушенность ($K_{\text{ф}}$), м/га	44	4	0
Дизъюнктивная нарушенность по данным разведки ($K_{\text{р}}$), м/га	27	2	0

Полученные парные корреляционные зависимости долей запасов, нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам, неподтвердившихся и действительных запасов от значений критериев разведанности, а также их уравнения, значения коэффициентов корреляции (r) и среднеквадратических отклонений фактических и расчетных значений долей рассматриваемых запасов (σ_D) приведены на рис. 2.76, 2.77 и 2.78.

Статистически незначимая связь между степенью разведанности мощности пласта и объемами списаний запасов, нецелесообразных к

отработке по технико-экономическим причинам, вполне естественно, поскольку их появление связано в наибольшей степени с повышенной сложностью тектонического строения и инженерно-геологических условий на отдельных участках.

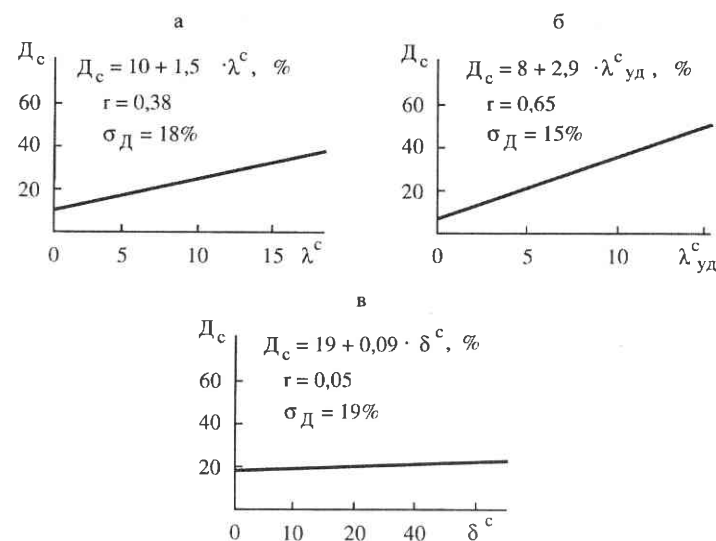


Рис. 2.76. Парные корреляционные зависимости доли списания запасов, нецелесообразных к разработке по технико-экономическим причинам (D_c , %) и средних значений критериев разведанности в подсчетном блоке (а — лямбда-критериев, б — удельных лямбда-критериев, в — дельта-критериев)

Незначимость зависимости размера списаний неподтвердившихся запасов от степени изученности гипсометрии также закономерна, поскольку последние обусловлены в основном неподтверждениями значений подсчетных мощностей. Таким образом, отсутствие статистических связей между отдельными признаками является дополнительным свидетельством правильности выбранного подхода к оценке погрешности количества запасов.

Обработка результатов сопоставлений методом множественной корреляции позволила построить следующую модель:

$$D_{\text{ф}} = 97 - 2,8 \cdot \lambda_{\text{уд}}^c - 0,3 \cdot \delta^c \quad (2.97)$$

(коэффициент множественной корреляции 0,71, среднеквадратическая погрешность модели 16 %).

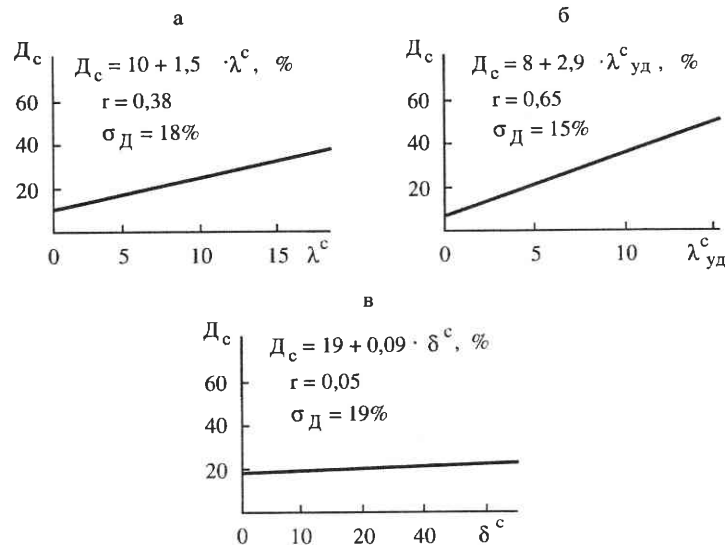


Рис. 2.77. Парные корреляционные зависимости доли неподтвердившихся запасов (D_c , %) и средних значений критериев разведанности в подсчетном блоке (а — лямбда-критериев, б — удельных лямбда-критериев, в — дельта-критериев)

Характеризующие подсчетный блок величины λ^c , $\lambda^c_{уд}$ и δ^c определяются путем вычисления среднеарифметических значений критериев разведанности по входящим в него оценочным четырехугольникам. К ним относятся четырехугольники, шестьдесят и более процентов площади которых расположено внутри контура подсчетного блока. Так, средние критерии по изображенному на рис. 2.79 блоку рассчитываются как среднеарифметические из критериев, вычисленных по четырехугольникам 2, 3, 4 и 5. Причем относительные площади перекрытий достаточно оценивать лишь визуально.

Рассмотрим порядок использования полученных закономерностей на конкретном примере. На намеченном к отработке подземным способом участке, вскрываемом со стороны борта угольного разреза, выделены два геологических блока с запасами 594 и 637 тыс. т. Причем в выемочный контур блоки входят не полностью: по первому блоку должно быть отработано 73 %, а по второму — 86 % их площади и, соответственно, запасов.

Сеть разведочных скважин по первому блоку квадриангулируется

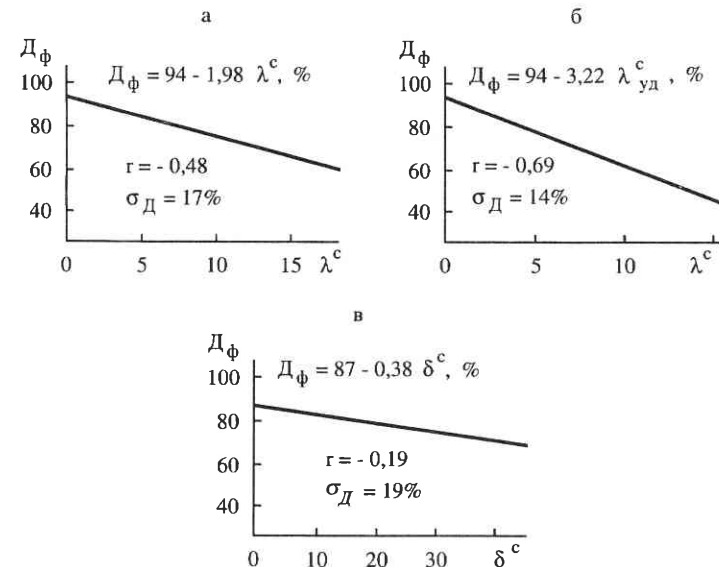


Рис. 2.78. Парные корреляционные зависимости доли действительно существующих запасов (D_ϕ , %) и средних значений критериев разведанности в подсчетном блоке (а — лямбда-критериев, б — удельных лямбда-критериев, в — дельта-критериев)

на четыре оценочных блока, второго — на три. Среднеарифметическое значение лямбда-критерия по первому блоку составляет 3,4 м, среднеарифметическое удельное значение — 1,6, а по второму, соответственно, 4,9 и 2,4 м. Средние значения дельта-критериев для блоков составляют 12 и 15 %.

Тогда в соответствии с формулой 2.97 доля действительно существующих запасов по первому блоку составляет: $D_\phi = 97 - 2,8 \cdot 1,6 - 0,3 \cdot 12 = 89\%$, а для второго $D_\phi = 97 - 2,8 \cdot 2,4 - 0,3 \cdot 15 = 86\%$. Следовательно, действительно существующие запасы по блокам составляют: по первому блоку $594 \cdot 0,89 = 529$ тыс. т, по второму — $637 \cdot 0,86 = 548$ тыс. т. Учитывая частичную отработку блоков, утвержденные запасы по ним составляют: $594 \cdot 0,73 = 434$ тыс. т, по второму — $637 \cdot 0,86 = 548$ тыс. т (суммарно 982 тыс. т), а действительно существующие — $529 \cdot 0,73 = 386$ тыс. т и $548 \cdot 0,86 = 471$ тыс. т. Таким образом, общее ожидаемое количество запасов по участку составляет 857 тыс. т, или 87 % ($100\% \cdot 857 / 982$) от утвержденных.

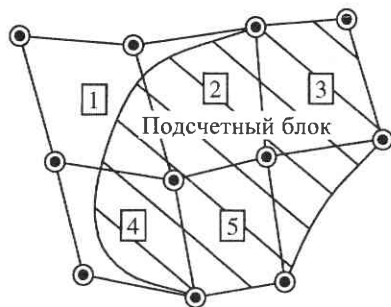


Рис. 2.79. К расчету средних значений критериев разведанности по подсчетному блоку

Решение задачи об оценке погрешности запасов можно производить и методами распознавания образов. Для этого весь массив исходных данных был разделен на три образа:

A — с долей действительно существующих запасов от 90 до 100 %;

B — с долей действительно существующих запасов от 75 до 89 %;

C — с долей действительно существующих запасов менее 75 %.

В целом точность определения количества запасов соответствует сложившимся представлениям о погрешности запасов, оцененных по категориям A , B и C .

Распознавание принадлежности конкретного объекта (геологического подсчетного блока, характеризуемого средними значениями критериев разведанности $\lambda_{y\theta}^c$ и δ^c) к одному из образов может выполняться по его взвешенному расстоянию от центров образов. Последовательность действий по распознаванию сводится к следующему:

— определяется средневзвешенное расстояние R_k от классифицируемого объекта до центра каждого k -го образа:

$$R_k = \sqrt{(\lambda_{y\theta}^A - C_k^A)^2 + 0,3(\delta^c - C_k^S)^2}, \quad (2.98)$$

где C_k^A , C_k^S — соответствующие координаты центров k -х образов (значения координат — см. табл. 2.30);

— устанавливается принадлежность объекта к определенному образу по признаку минимума расстояния R_k ;

— устанавливается пессимистическое, ожидаемое и оптимистическое количество действительно существующих запасов по формуле:

$$Q_D = D'_\phi \cdot Q_\phi, \quad (2.99)$$

где D'_ϕ — доля фактически существующих запасов для образа (см. табл. 2.31);

Q_ϕ — утвержденные балансовые запасы.

Отнесение подсчетного блока к одному из трех выделенных образов производится с помощью описанного алгоритма с вероятностью 0,70.

Погрешности классификации блоков бывают двух видов:

— погрешность первого рода, составляющая 17 % и состоящая в том, что подсчетный блок будет ошибочно отнесен к образу, имеющему меньшую долю действительных запасов, чем фактически;

— погрешность второго рода, составляющая 13 % и состоящая в том, что подсчетный блок будет ошибочно отнесен к образу, имеющему большую долю действительных запасов, чем фактически.

Таблица 2.30

Координаты центров образов по осям удельных
лямбда- и дельта-критериев

Координата	Образ A	Образ B	Образ C
C_k^A	2	5	8
C_k^S	6	18	30

Естественно, что появление погрешности первого рода значительно предпочтительнее, чем второго.

Таблица 2.31

Доля действительно существующих запасов D'_ϕ для отдельных образов

Оценка	Образ A	Образ B	Образ C
Ожидаемая	0,90	0,80	0,65
Пессимистическая	0,85	0,75	0,55
Оптимистическая	0,95	0,85	0,75

Таким образом, вероятность того, что оцененные с помощью распознавания образов действительно существующие запасы угля окажутся равными или меньшими, чем по результатам эксплуатации (т. е. с учетом влияния погрешностей первого рода), составляет 0,87.

В случае использования в качестве признака распознавания только утвержденной категории запасов блока (A , B или C) вероятность получения правильных оценок снижается в два раза — до 36 %. Хотя, ко-

нечно, следует заметить, что категория запасов характеризует не только погрешность определения общего количества запасов, но и степень изученности показателей качества, инженерно-геологических условий и др. Именно поэтому интегральность оценки является сдерживающим элементом при попытках практического использования категориальности запасов в ходе проектирования и эксплуатации горнодобывающих предприятий.

Таблица 2.32

Координаты центров образов по осям лямбда- и дельта-критериев			
Координата	Образ А	Образ В	Образ С
C_k^{λ}	4	8	15

Рассмотрим порядок применения алгоритма распознавания образов на материалах приведенного выше примера.

На первом этапе определяется принадлежность к одной из групп (А, В или С) достоверности запасов (табл. 2.33).

В таблицу заносятся данные по блокам (графы 7, 10) и в соответствии с табл. 2.29 группам достоверности (графы 1–2 и 4–6). В результате проводимых расчетов в графах 15, 22 и 29 будут получены значения трех расстояний от объектов-блоков до центров трех образов – R_k . Порядок вычислений соответствует номерам граф таблицы, а они сами описываются либо формулами, либо указанием на действия с графами (например, содержащееся в графе 14 указание «[9] + [13]» означает, что в нее должен быть занесен результат сложения чисел, находящихся в графах 9 и 13). После определения R_k они сравниваются между собой и устанавливается образ, для которого R_k минимально (для первого блока это образ А, которому соответствует $R_A = 3,31$, а для второго – В с $R_B = 3,08$). Наименование образа каждого блока записывается в итоговую графу 30.

Таблица 2.33

Таблица определения группы достоверности запасов подсчетных блоков							
№	Показатель	Блок 1	Блок 2	№	Показатель	Блок 1	Блок 2
1	C_A^{λ}	2		4	C_A^{δ}	6	
2	C_B^{λ}	5		5	C_B^{δ}	18	
3	C_C^{λ}	8		6	C_C^{δ}	30	
7	$\lambda_{\text{уд}}^c$	1,6	2,4	10	δ	12	15
8	$\lambda_{\text{уд}}^c - C_A^{\lambda}$	–0,4	0,4	11	$\delta - C_A^{\delta}$	6	9
9	$(\lambda_{\text{уд}}^c - C_A^{\lambda})^2$	0,16	0,16	12	$(\delta - C_A^{\delta})^2$	36	81

№	Показатель	Блок 1	Блок 2	№	Показатель	Блок 1	Блок 2
14	[9] + [13]	10,96	24,46	13	$0,3 \cdot (\delta - C_A^{\delta})^2$	10,8	24,3
15	$R_A = ([14])^{0,5}$	3,31	4,95	Расстояние до центра образа А			
16	$\lambda_{\text{уд}}^c - C_B^{\lambda}$	–3,4	–2,6	18	$\delta - C_B^{\delta}$	–6	–3
17	$(\lambda_{\text{уд}}^c - C_B^{\lambda})^2$	11,56	6,76	19	$(\delta - C_B^{\delta})^2$	36	9
21	[17] + [20]	22,36	9,46	20	$0,3 \cdot (\delta - C_B^{\delta})^2$	10,8	2,7
22	$R_B = ([21])^{0,5}$	4,73	3,08	Расстояние до центра образа В			
23	$\lambda_{\text{уд}}^c - C_C^{\lambda}$	–6,4	–5,6	25	$\delta - C_C^{\delta}$	18	15
24	$(\lambda_{\text{уд}}^c - C_C^{\lambda})^2$	40,96	31,36	26	$(\delta - C_C^{\delta})^2$	324	225
28	[24] + [27]	138,16	106,36	27	$0,3 \cdot (\delta - C_C^{\delta})^2$	97,2	75,0
29	$R_C = ([28])^{0,5}$	11,75	10,31	Расстояние до центра образа С			
30	Образ	А	В				

На втором этапе расчетов вычисляются собственно оценки количества запасов (табл. 2.34). В строку 1 таблицы заносятся образы блоков (из табл. 2.32) в строку 2 – утвержденные балансовые запасы по ним (определенные с учетом неполной отработки блоков). Затем по формуле 2.99 при значениях D'_{ϕ} , определяемых по табл. 2.31, вычисляются оптимистические, пессимистические и ожидаемые оценки запасов, записываемые в графы 3, 4 и 5. Ожидаемая доля действительно существующих запасов всего участка оценивается по методу распознавания образов в 84 % и хорошо согласуется с данными, ранее полученными по корреляционному методу (87 %).

Следует иметь в виду, что фактически доли действительно существующих запасов, по-видимому, несколько выше расчетных. Это связано с тем, что в части неподтверждения подсчетных параметров наблюдаются не только положительные, но и отрицательные погрешности. Однако практика учета движения запасов на угольных предприятиях такова, что подобные «плюсы» не всегда фиксируются, а возникающий «резерв» запасов используется для компенсации прежде всего сверхнормативных потерь. Возможность такого подхода обусловлена достаточно формальным отношением к проблеме учета запасов и разрушением вертикальной структуры управления угольной промышленностью. Поэтому при выполнении практических расчетов целесообразно использовать только ожидаемую и оптимистическую оценки.

Нетрудно заметить, что использованные для статистической обработки материалы относятся только к условиям отработки запасов под-

земным способом. Однако полученные результаты могут быть все же использованы и для этих условий. Для этого можно воспользоваться сложившимся соотношением (1:3) между объемами списаний и неподтверждений по разрезам и шахтам. Поэтому если бы рассматриваемый в примере участок обрабатывался открытым способом (условно допуская совпадение контуров отработки), то оценку запасов следовало бы выполнить в два этапа.

На первом этапе производится оценка количества запасов описанным выше способом (из 982 тыс. т утвержденных запасов 857 тыс. т составляют действительно существующие запасы). На втором этапе ожидаемый уровень неподтверждений и списаний ($982 - 857 = 125$ тыс. т) уменьшается в три раза, т. е. оценивается всего в 42 тыс. т ($125 / 3$). Тогда ожидаемое количество действительно существующих запасов определится в 940 тыс. т ($982 - 42$), или в 96 % ($100 \cdot 940 / 982$) от утвержденных.

Таблица 2.34

Оценка количества запасов методом распознавания образов

№	Характеристики	Блок 1	Блок 2	Всего	В % от утвержденных
1	Образ	А	В		
2	Утвержденные запасы, тыс. т	434	548	982	100
3	Оптимистическая оценка запасов, тыс. т	412	466	878	90
4	Пессимистическая оценка запасов, тыс. т	369	411	780	79
5	Ожидаемая оценка запасов, тыс. т	391	438	829	84

Аналогичный подход может быть использован и для оценки ожидаемой доли действительно существующих запасов для немеханизированных шахт (в основном с крутым и крутонаклонным залеганием пластов), для которых соотношение между прогнозируемыми и фактическими объемами списаний и неподтверждений составляет 1,4 : 1.

3. УРАВНИВАНИЕ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

3.1. Понятие уравнивания

Уравнивание нерегулярных цифровых моделей скрытых поверхностей топографического порядка является одним из самых молодых методов обработки геоинформации. Разработка его была начата в 1977 г., а первая открытая публикация появилась в 1979 г. [42]. Полученные теоретические и практические результаты позволяют утверждать, что методы уравнивания складываются в новое самостоятельное направление. Сама идея уравнивания, в принципе, не нова, она применяется в геодезии еще со времен К. Гаусса, имеются хорошо разработанные инструкции, руководства и учебники. Однако в процессе обработки геоинформации попытки уравнивания нерегулярных цифровых моделей, в качестве которых, как правило, выступают сети геологоразведочных измерений (в силу чего метод может квалифицироваться и как метод уравнивания геологоразведочных сетей измерений), до 1977 г. никогда не предпринимались и соответствующие идеи не высказывались.

Пусть дана сеть измерений, в каждом из которых определено значение изучаемого признака (рис. 3.1). Квадриангулируем ее, т. е. разделим на систему выпуклых четырехугольных оценочных блоков, которые могут быть как независимыми (например, 1 — 2 — 6 — 5 и 5 — 6 — 9 — 8), так и перекрывать друг друга (2 — 3 — 7 — 6 и 3 — 4 — 7 — 6).

Для каждого оценочного блока в соответствии с формулой 2.1 определим критерий разведанности $K_{кр}$ (в случае если рассматриваемый признак 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 в точках измерений параметров, с тем, чтобы невязки по всем блокам одновременно стали равными нулю. Так как критерии обусловлены погрешностями измерений и интерполяции (а при изучении гипсометрии — влиянием неизвестных тектониче-

ских нарушений), то и полученные поправки объективно зависят от этих факторов. Именно эта зависимость и лежит в основе уравнивания как метода анализа.

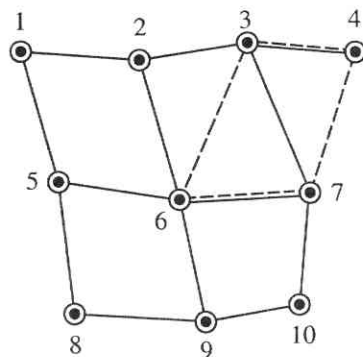


Рис. 3.1. Уравнивание сети геологоразведочных измерений

Особо следует подчеркнуть, что 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 характеризуемых ими точек производства измерений.

Само уравнивание рекомендуется производить методом условий и сводится к следующему. Пусть нами уравнивается признак P , зная который, по каждому i -му блоку сети по правилу $F(P_{1i}, P_{2i}, P_{3i}, P_{4i})$ находится значение необходимого критерия разведанности K_{kpi} . Тогда можно записать систему, состоящую из n уравнений вида:

$$F(P_{1i}, P_{2i}, P_{3i}, P_{4i}) = K_{kpi}, \quad (3.1)$$

где P_{ki} — значение признака в скважине (замере), входящей в i -й оценочный блок под условным номером k .

Для того чтобы в уравнении 3.1 устранить невязки, необходимо исправить результаты измерений в каждом k_i -м замере на некоторую поправку ε_{ki} , т. е. превратить их в уравненные значения:

$$U_{ki} = P_{ki} + \varepsilon_{ki}. \quad (3.2)$$

Следовательно, после уравнивания должно быть получено:

$$F(P_{1i} + \varepsilon_{1i}, P_{2i} + \varepsilon_{2i}, P_{3i} + \varepsilon_{3i}, P_{4i} + \varepsilon_{4i}) = 0. \quad (3.3)$$

Вычтем из каждого из n уравнений вида 3.3 соответствующие уравнения типа 3.1 и получим уравнение:

$$\sum_{k=1}^4 a_{ki} \cdot \varepsilon_{ki} = -K_{kpi}. \quad (3.4)$$

где a_{ki} — числовой коэффициент.

Если получаемое уравнение 3.4 не является линейным, то 3.3 предельно разлагается в ряд Тейлора [31], ограничиваясь из-за малости поправок членами разложения, содержащими их только в первой степени. Однако при уравнивании геологоразведочных сетей необходимость такого ослабляющего действия не возникает из-за изначальной линейности уравнения 3.4. Далее система уравнений типа 3.4 решается под условием минимума суммы квадратов поправок.

Квадриангулирование сети замеров для уравнивания целесообразно производить несколько иначе, чем для расчета критериев разведанности. Основные различия в подходах, иллюстрируемые рис. 3.2 и 3.3, состоят в том, что при уравнивании:

- необходимо исключать использование блоков или их групп, вообще не имеющих общих точек с другими блоками и их группами (например, на рис. 3.2 группа блоков, использующих скважины 1, 2, 3, 7, 8, «оторваны» от блоков, формируемых скважинами 4, 5, 6, 9, 10, т. е. в приведенном варианте квадриангулирования отсутствует некорректный по форме связующий блок 3-4-9-8);

- желательно обеспечить минимальное число перекрывающихся друг друга блоков (если на рис. 3.3,а перекрывают друг друга сразу четыре блока: 1-2-8-7, 2-3-8-7, 3-4-8-7 и 3-9-8-7, то на рис. 3.3,б только два: 1-2-8-7 и 2-3-8-7);

- целесообразно, чтобы все выделяемые четырехугольники сети замеров имели общие стороны (на рис. 3.3,а сторона 4-9 блока 4-5-10-9 не используется в других четырехугольниках, тогда как на рис. 3.3,б она является стороной блока 3-4-9-8);

- в целях выполнения вышеперечисленных рекомендаций допустимо использование блоков неоптимальной формы (например, блок 3-4-9-8 на рис. 3.3,б некорректен с точки зрения расчета критериев разведанности).

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.

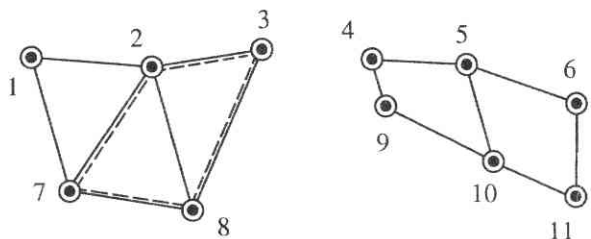


Рис. 3.2. Недопустимый для уравнивания вариант квадриангулирования

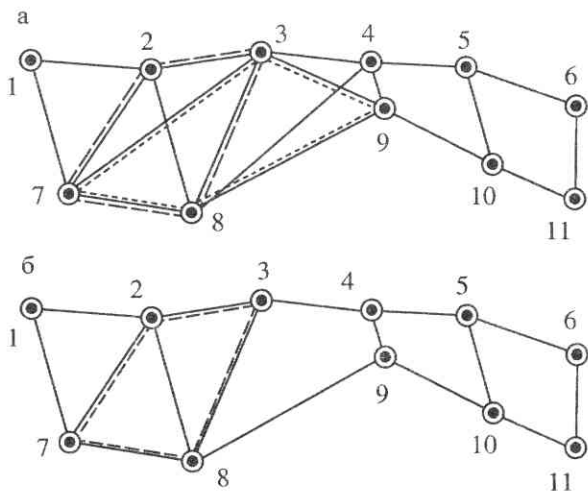


Рис. 3.3. Квадриангулирование сети замеров для расчета критериев разведанности (а), для уравнивания (б)

3.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей

Пусть имеются t оценочных блоков, образованных n замерами (при $n \leq 250$ справедлива статистическая связь вида $t = 1,032 \cdot n - 8$), по каждому из которых известна невязка — абсолютный дельта-критерий Δ_i . Для произведения уравнивания формируется таблица 3.1, строки которой соответствуют блокам, а столбцы — замерам (скважинам). В каждую ячейку таблицы заносятся значения коэффициентов a_{ik} (i — номер скважины, k — номер блока). Если данная скважина i не входит в блок k , то $a_{jk} = 0$, а если входит, то a_{jk} определяется в зависимости от условного номера скважины в блоке (в табл. 3.1 используются фактические их номера):

$$\begin{aligned} \text{для скважины № 1:} & a_{ik} = 1 - x; \\ \text{для скважины № 2:} & a_{ik} = -(1 - x'); \\ \text{для скважины № 3:} & a_{ik} = x; \\ \text{для скважины № 4:} & a_{ik} = -x', \end{aligned} \quad (3.5)$$

где параметры x и x' , равно как и условные номера скважин, определяются в соответствии с комментариями к формуле 2.5.

Таким образом, в каждой строке табл. 3.1 будет находиться два положительных и два отрицательных, отличных от нуля, числа, дающих в своей алгебраической сумме нуль. Значения остальных коэффициентов в таблице равно нулю, так как каждый блок содержит всего четыре скважины.

Затем формируется табл. 3.2, куда записываются суммы произведений строк табл. 3.1 — S_{ik} (где i и k — номера перемножаемых строк табл. 3.1).

Таблица 3.1

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}
3	a_{13}	a_{23}	a_{33}	...	a_{n3}
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
t	a_{1t}	a_{2t}	a_{3t}	...	a_{nt}

и так далее.

$$S_{11} = \sum_{i=1}^l a_{i1}^2; \quad S_{12} = \sum_{i=1}^l (a_{i1} \cdot a_{i2})$$

Таблица 3.2

Таблица произведений строк табл. 3.1

Номера строк	1	2	3	...	t
1	S_{11}	S_{21}	S_{31}	...	S_{t1}
2	S_{12}	S_{22}	S_{32}	...	S_{t2}
3	S_{13}	S_{23}	S_{33}	...	S_{t3}
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
t	S_{1t}	S_{2t}	S_{3t}	...	S_{tt}

Используя полученные суммы, записывается система уравнений:

$$\begin{aligned} S_{11} K_1 + S_{21} K_2 + \dots + S_{l1} K_l &= -\Delta_1 \\ S_{12} K_2 + S_{22} K_2 + \dots + S_{l2} K_l &= -\Delta_2 \\ S_{13} K_2 + S_{23} K_2 + \dots + S_{l3} K_l &= -\Delta_3 \\ \vdots &\quad \ddots \\ S_{1r} K_r + S_{2r} K_r + \dots + S_{lr} K_l &= -\Delta_r \end{aligned} \tag{3.6}$$

решая которую, находятся коррелаты K_j .

После этого каждая i -я строка табл. 3.1 умножается на корреляту K_i , а полученные произведения складываются по столбцам (то есть по за- мерам):

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^l a_{ik} \cdot K_k. \quad (3.7)$$

Эти суммы и есть искомые поправки. Из приведенного алгоритма видно, 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.

Практически уравнивание может быть выполнено только на ЭВМ. Для этого разработана специальная программа «LUR», использующая исходные данные и результаты квадриангулирования, формируемые ранее упомянутой программой «DRU». В ходе работы программы пользователь указывает наименование уравниваемого признака и файл, в котором хранятся требуемые данные. После завершения уравнивания, производимого в пакетном режиме, на экране дисплея возникает изображение разведочной сети с цветовым выделением замеров, относимых к аномальным (сама процедура выделения аномалий будет рассмотрена несколько ниже). Пользуясь предоставленными меню возможностями, пользователь размещает на экране номера замеров и значения поправок в них (рис. 3.4).

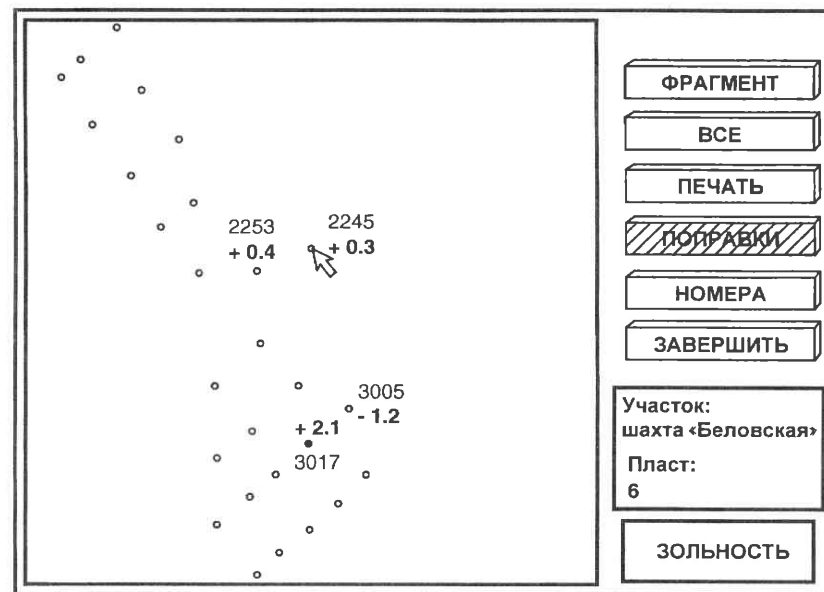


Рис. 3.4. Изображение экрана ЭВМ на завершающем этапе уравнивания мощностей пласта и показателей качества угля

3.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания

Задача выделения аномальных (ураганных) замеров является одной из окончательно не решенных проблем определения количества запасов и геометризации 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., т. е. к внесению дополнительных погрешностей в оценку количества полезного ископаемого, ожидаемых концентраций токсичных и полезных компонентов. Кроме того, как уже отмечалось выше, выявление действительно 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 [19]) 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. К угольным месторождениям в наибольшей степени может быть применена идея В. М. Крейтнера (1961) о том, что «...никаких исключительных («ураганных») проб вообще не существует и само понятие «ураганная проба» — исторический пережиток. Только несовершенство наших приемов опробования (добавим — и геометризацию. — С. III.) вынуждает прибегать к искусственным приемам — заменять всевозможными путями исключительные пробы».

Поскольку при анализе материалов наиболее значимой задачей является выделение нехарактерных (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. Как уже отмечалось, поправка к значению признака зависит от технических ошибок измерений и погрешностей интерполирования. Следовательно, если значение поправки резко выделяется по своей величине (см., например, рис. 3.5), то 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 геометризационной).

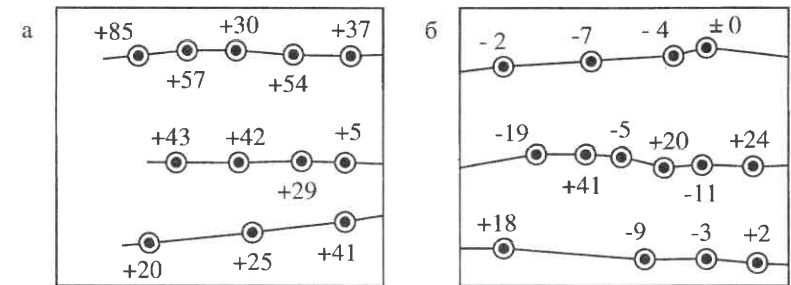


Рис. 3.5. Результаты уравнивания сетей замеров мощности пластов по полю шахты «Нагорная» — размерность поправок — сантиметры (а — фрагмент разведочной сети по пласту 14; б — фрагмент разведочной сети по пласту 18°)

Поэтому данный метод выделения ураганных замеров автоматически учитывает не только результат произведенного замера, но и его пространственное положение. В качестве примера в таблице 3.3 приведены значения поправок к практически одинаковым по величине мощностям (от 0,96 до 1,03 м), измеренным в скважинах, пробуренных по угольному пласту Семеновскому (участок «Ровненский» Кемеровского района Кузбасса). Она наглядно демонстрирует, как изменяется степень аномальности одного и того же значения мощности в зависимости от места расположения точки ее измерения.

Значение каждой отдельной поправки определяется одновременно всеми значениями признака по всему рассматриваемому участку и плоскими координатами точек замера. Так, каждая поправка, приведенная на упомянутых фрагментах сети, есть функция от 228 (рис. 3.5,а) и 273

Таблица 3.3

Поправки к нормальным мощностям пласта Семеновского

Разведочная линия	Номер скважины	Мощность, м	Поправка ε , см
XXVII	1956	0,96	+69
XXVI	1473	1,03	+45
XXV	1479	1,00	+17
XXI	1751	1,03	+19
XX	1823	0,99	–9
Таловский профиль	1774	1,04	+10
Таловский профиль	1780	1,04	–54
XVII	1795	1,03	+46
XVII	1798	1,00	–78

(рис. 3.5,б) факторов. Этим обеспечивается глубина анализа. Напомним, что человек в состоянии анализировать одновременно не более 7 ± 2 факторов.

Выделение аномалий может быть осуществлено двумя путями.

Первый путь состоит в отбраковке замеров по уровню значений поправок [44]. Предпосылками к его применению является зависимость величин поправок от значений определяемого признака и местоположения места замеров. Кроме того, исходя из методологии процесса уравнивания, поправки к измеряемым величинам должны распределяться по закону, близкому к нормальному, а их среднее арифметическое значение должно быть равно нулю (что подтверждается и экспериментальными исследованиями – например, рис. 3.6).

Поэтому признаком аномальности i -го замера при рассматриваемом подходе является выполнение условия:

$$\varepsilon_i \geq t \cdot \sigma_\varepsilon, \quad (3.8)$$

где t – квантиль нормального закона распределения;

σ_ε – среднеквадратическое значение поправки, определяемое по формуле

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}. \quad (3.9)$$

Практический опыт показывает, что в большинстве случаев целесообразно принимать $t = 1,8$, что соответствует 7 %-й доли аномальных за-

меров (программа «LUR» обеспечивает производство расчетов при уровнях аномальности в 5, 7, 10, 12, 15, 17 и 20 %). Несмотря на то, что данный подход ориентирован на выявление аномальных замеров с позиции последующей геометризации, он может с успехом использоваться и при подсчете среднего значения признака, т. е. при подсчете запасов [44]. Оценка работоспособности метода, в плане его использования в указанном направлении, выполнена по результатам многовариантного разрежения разведочной сети по россыпному месторождению золота (опробованного по сети 5 x 5 м). В качестве интегральных показателей качества метода использовались общепринятые характеристики [19]:

– отношение числа случаев эффективной работы метода (когда в результате его применения среднее значение признака изменяется более чем на 5 % и приближается к истинному) к числу случаев дефектной (когда среднее значение признака изменяется более чем на 5 %, но отдалается от истинного);

– процент случаев пропуска (нереагирования) больших (более +20 %) исходных положительных погрешностей.

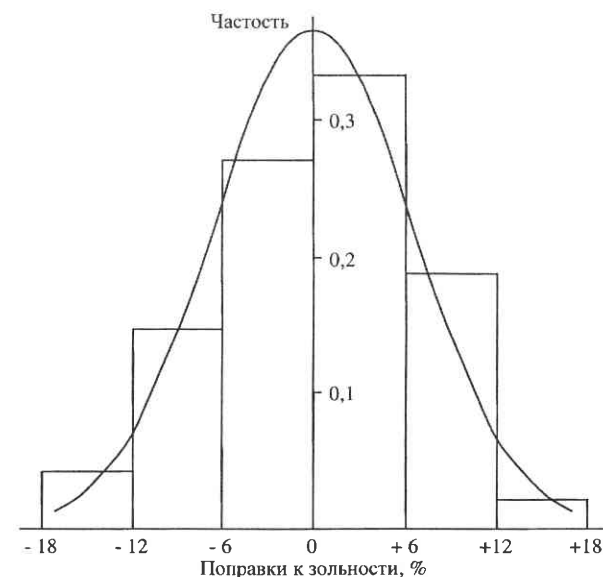


Рис. 3.6. Гистограмма распределения и теоретический нормальный закон распределения значений поправок к зольности (основная пачка пласта Волковского по участку «Глушинский»)

Для рассматриваемого метода они составили соответственно 1,53 и 13 %. Лучший из известных методов (упрощенный метод П. Л. Каллистова) имеет значительно худшие показатели: 1,00 и 33 %. Являясь эффективным при подсчете запасов высокоизменчивых россыпных месторождений, метод должен являться таковым и при оценке ряда характеристик угольных. Тем не менее несколько позже в работе будет рассмотрен еще более результативный метод выделения ураганных замеров в ходе определения средних значений признаков в заданных контурах, работоспособность которого для условий россыпных и угольных месторождений доказана экспериментально.

Вторым подходом к поиску аномальных замеров является метод анализа приращений поправок. Его основная идея состоит в выделении нехарактерных замеров не по самим значениям поправок, а по степени их отличия от поправок в соседних точках измерений.

Сущность подхода разберем на фактическом примере – фрагменте разведочной сети по изучению сернистости угля (рис. 3.7).

Во-первых, на плане выделяются пары соседних замеров (практически ими будут являться стороны и диагонали выделенных оценочных четырехугольных блоков).

Во-вторых, оформляется таблица 3.4, в которую для каждого i -го замера сети выписываются все исходящие из него направления.

В-третьих, для каждого направления определяется взятая по абсолютной величине разность поправок. Затем на первом этапе произвольно задается критический уровень приращений U_k (1,00 % в табл. 3.4.). Разности поправок, превышающие U_k , маркируются (в табл. 3.4 они

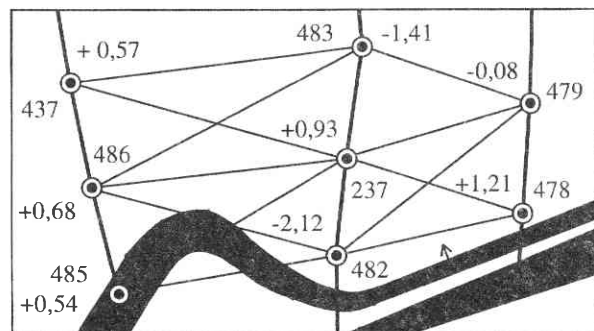


Рис. 3.7. Результаты уравнивания сети определений содержания общей серы в угле пласта I Ишидейского месторождения Иркутской области

выделены жирным шрифтом). Анализируя таблицу, легко заметить, что три скважины (483, 482 и 479) из восьми полностью отделены от соседних на величины критических приращений поправок и могут, следовательно, рассматриваться как аномальные. Доля аномальных замеров в массиве составляет:

$$D_a = 100 \frac{n}{N}, \% \quad (3.10)$$

где n – количество аномальных замеров;

N – общее количество замеров.

Поиск наиболее вероятного значения U_k осуществляется на основе построения и анализа зависимости вида $U_k = f(D_a)$. На рис. 3.8 приведена копия экрана ЭВМ при работе в программе «LUR» с изображением указанной экспериментальной зависимости. Показанный на рисунке стандартный уровень соответствует 7%-му уровню аномальности первого описанного метода анализа.

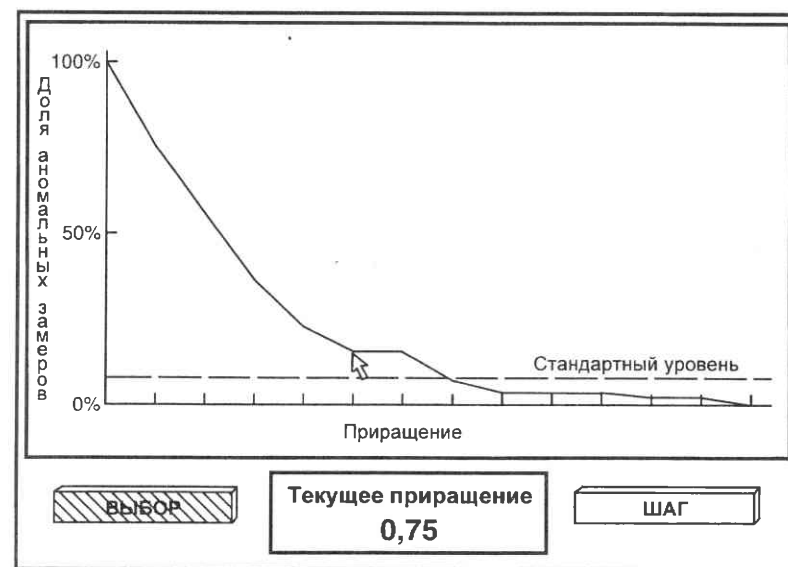


Рис. 3.8. Изображение экрана ЭВМ в ходе выбора уровня аномальности поправок (мощность пласта Кемеровского по участку «Глушинский», коэффициент вариации мощности – 38 %)

Таблица 3.4

Таблица приращений поправок

№ п/п	Исходный замер (i)	Направление на замер (j):	Разность поправок $\Delta \varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j $	№ п/п	Исходный замер (i)	Направление на замер (j):	Разность поправок $\Delta \varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j $
1	437	483	1,98	5	483	437	1,98
		237	0,36			486	2,09
		486	0,11			237	2,34
2	486	437	0,11	6	482	479	1,33
		483	2,09			485	2,66
		237	0,25			486	2,80
		482	2,80			237	3,05
		485	0,14			479	2,04
3	485	486	0,14	7	479	278	3,33
		237	0,39			483	1,33
		282	2,66			482	1,01
4	237	437	0,36	8	478	237	2,04
		483	2,34			478	1,29
		479	1,01			478	1,29
		478	0,28			482	3,33
		482	3,05			237	0,28
		485	0,39			Критическое приращение — 1,00 % Доля аномальных замеров: $\frac{3}{8} = 38 \%$	
		486	0,25				

При наличии нехарактерных (в геометрическом плане) замеров функция $U_k = f(D_a)$ имеет своеобразную «ступеньку», протяженность которой зависит от «яркости» проявления аномальности на фоне общей изменчивости признака. Например, на рис. 3.9 эта ступенька выражена значительно более четко, чем на рис. 3.8. Соответствующее появлению «ступеньки» (т. е. участка устойчивых решений) значение критического приращения принимается за окончательное, и по его уровню выделяются аномальные замеры.

Оба описанных подхода дают в основном близкие результаты. Незначительные различия возникают лишь при наличии по участку ано-

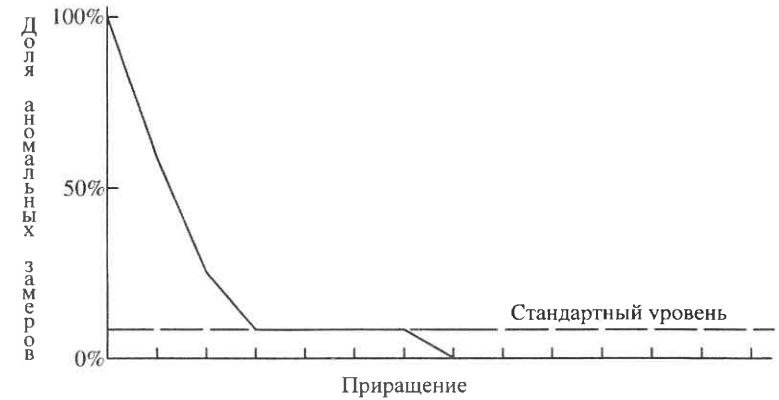


Рис. 3.9. Зависимость доли аномальных замеров от уровня приращений поправок к мощностям для пласта Польшаевского II поля шахты «Восточная» (коэффициент вариации мощности — 10 %)

мальных зон (см. следующий параграф). Поэтому при анализе данных одновременно используются оба метода. При этом к аномальным относятся замеры, признанные таковыми хотя бы одним из методов.

При выполнении оценки точности геометризационные данные по всем аномальным замерам подвергаются анализу на предмет подтверждения надежности произведенных в них измерений (методика выполнения которого была описана ранее). Если измерения недостоверны, то они исключаются из обработки, а если достоверны, то используются в нем, невзирая на уровень их аномальности. Отметим, что заведомо ошибочные замеры есть смысл сразу исключать из рассмотрения и не анализировать с помощью уравнивания.

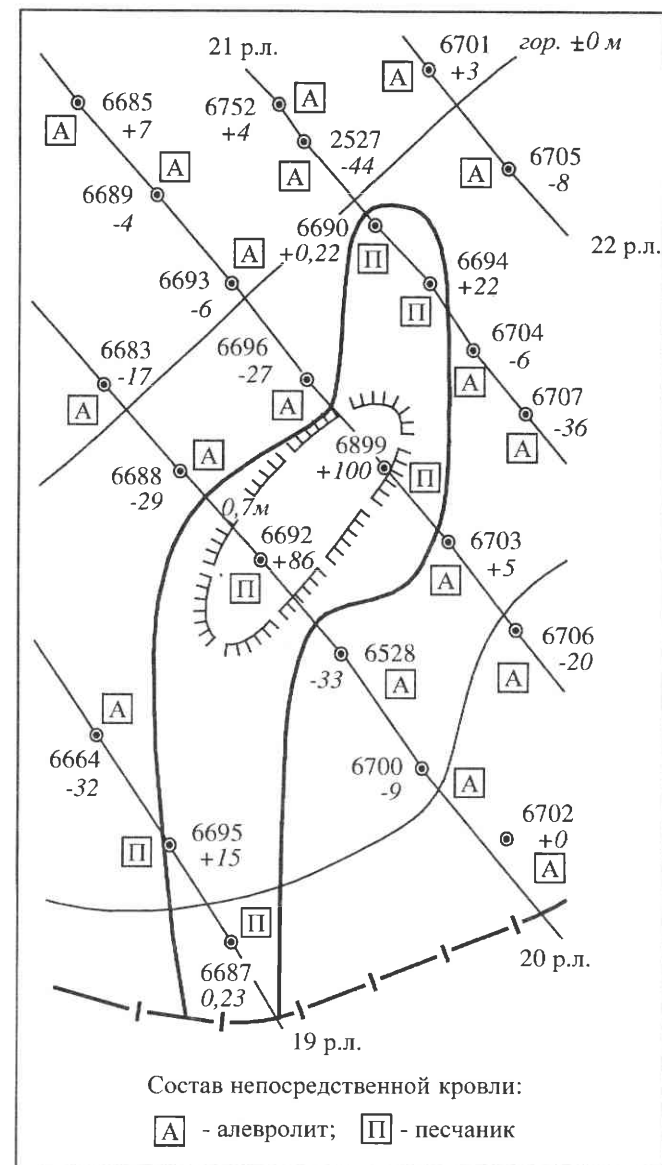
3.4. Выделение аномальных зон с помощью уравнивания

В ряде случаев 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 за-

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).

Например, в результате применения метода уравнивания геолого-разведочных измерений к материалам пласта Надконгломератового поля шахтоуправления «Физкультурник» были выделены зоны с аномально низкими значениями мощности пласта (одна из зон показана на рис. 3.11). Зоны выделялись по уровню поправок «-15 см», как вели-



176

чины, сопоставимой с точностью выполнения скважинных измерений мощности. Они 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 рекомендовано ожидать и учесть при проектировании и планировании горных работ существенное снижение устойчивости кровли, возможность активного куполообразования и, возможно, некоторое увеличение поступления воды.

В ходе камеральной обработки геологоразведочных работ указанные зоны выявлены не были. Здесь метод уравнивания рельефно 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:

а) аномальные зоны не выделяются, колебания значений поправок невелики и имеют характер «информационного шума»;

б) аномальные зоны не выделяются, но сами поправки достигают больших значений, сопоставимых по величине со значениями признака;

в) аномальные зоны выделяются нечетко, их границы можно определить по поправкам лишь фрагментарно;

г) аномальные зоны выделяются четко и существуют на фоне небольших хаотических изменений поправок по остальной части участка;

д) все поле разделяется на несколько аномальных зон, поправки, как правило, значительны по величине, фона «нормальных» значений поправок почти нет.

Случай «а» характерен для хорошо выдержанных и разведанных пластов.

Вариант «б» наблюдается у слабо разведанных пластов с высокой случайной изменчивостью изучаемых свойств.

Случай «г» характерен для детально изученных пластов, в изменчивости которых преобладает закономерная составляющая.

Вариант «в» является переходным между «б» и «г».

Случай «д» характерен при объединении в одну совокупность разнородных геологических образований (вероятно, угольных линз).

При анализе материалов следует повторить уравнивание отдельно по каждой из них.

Как уже отмечалось, выделение зон осуществляется путем проведения изолиний поправок некоторой заданной величины. Для ее установления можно использовать методику И. В. Рязанова и М. П. Кетиса [65], 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 двух расположенных рядом замеров).

— строится график зависимости количества выделенных аномальных зон от использованного уровня аномальности — значений изолиний поправок (рис. 3.12);

— с помощью графика устанавливается рекомендуемый уровень аномальности (окоптураивающая зоны изолиния поправок), соответствующий максимальному количеству аномальных зон, — 10 см при 4 зонах (рис. 3.12);

— по установленному уровню аномальности окончательно отстраиваются границы аномальных зон, в качестве которых используется изолинии аномального уровня поправок (т. е. поправок «+10 см» и «−10 см» для условий рассматриваемого примера).

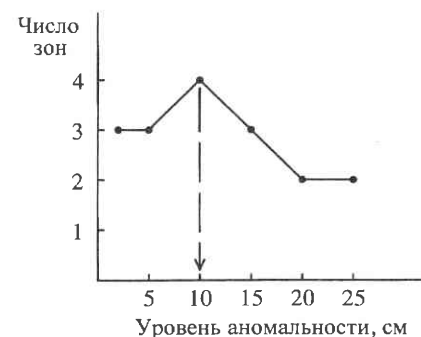


Рис. 3.12. Зависимость числа выделенных аномальных зон мощности породных прослоев пласта 5 (разрез «Майский») от принятого уровня аномальности

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 резко 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, во-первых, отстраиваются изолинии уравниваемого признака (например, на рис. 3.13,а сплошными линиями показаны изолинии мощности пласта Грамотеинского II участка «Колмогоровский»).

Во-вторых, для каждого замера вычисляется урвненное значение показателя:

$$P_{ур_i} = P_{изм_i} + \varepsilon_i, \quad (3.11)$$

где $P_{изм_i}$ — измеренное значение признака по i -му замеру;

$P_{ур_i}$ — урвненное значение признака по i -му замеру;

ε_i — поправка к признаку по i -му замеру.

В-третьих, в изолиниях отстраивается поверхность урвненных значений признака (пунктирная линия на рис. 3.13,а). Естественно, что сложность этой поверхности всегда будет ниже сложности поверхности измеренных значений, т. е. ее построение правомерно во всех случаях, когда правомерно построение поверхности признака. И наконец, из поверхности $P_{ур}$ вычитается поверхность $P_{изм}$. В результате этого будет получена поверхность поправок. Причем в процессе вычитания нет необходимости строить саму поверхность поправок — достаточно ограничиться построением лишь одной требуемой изолинии.

Средством автоматизации процесса выделения аномальных зон служит уже упомянутая программа «LUR». При ее эксплуатации пользователь последовательно задает возможные варианты аномального уровня и визуально оценивает количество аномальных зон для каждого из них.

Выбор рационального уровня осуществляется либо по признаку максимума количества зон, либо по среднеквадратическому значению поправок (которое также выдается программой «LUR»).

При работе программы на экран (рис. 3.14) выдаются масштабированные положения точек подсеждения с указанием (с помощью специ-

альных условных обозначений) на знак поправок аномального уровня, а также, при необходимости, номера замеров и значения поправок в них.

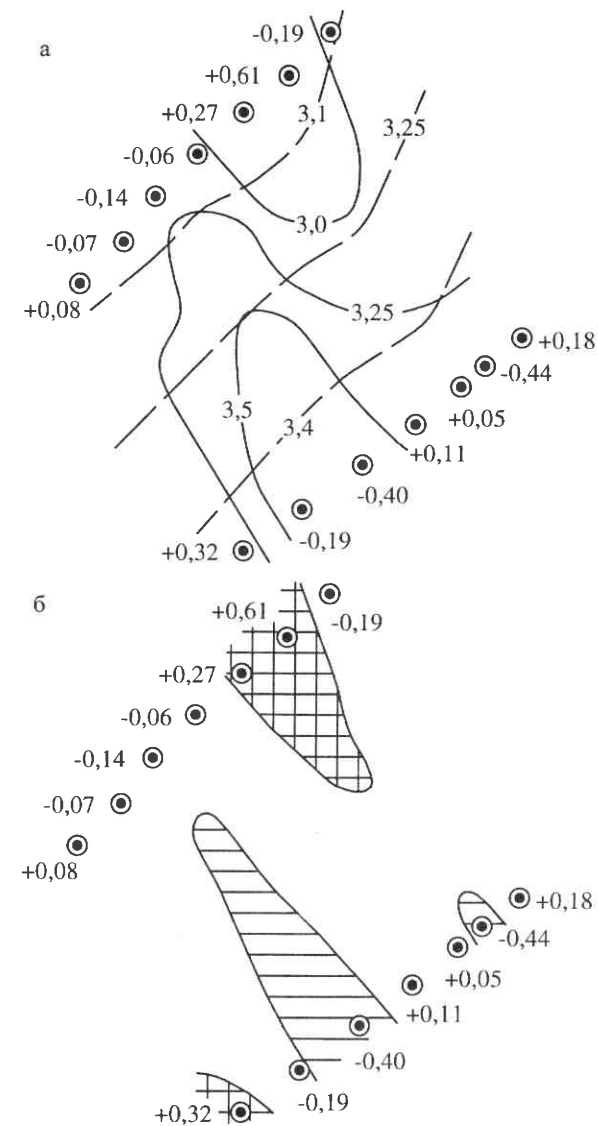


Рис. 3.13. Построение изолиний поправок методом вычитания поверхностей

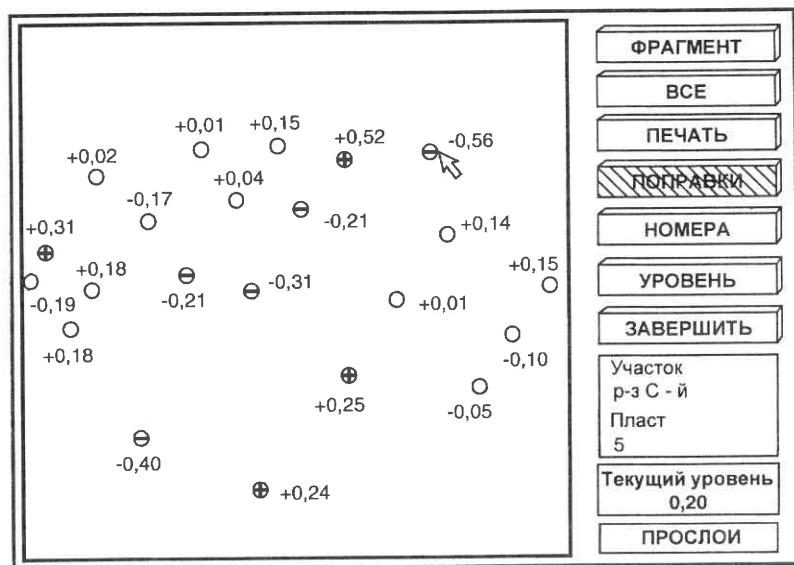


Рис. 3.14. Изображение экрана ЭВМ в ходе выделения аномальных зон с помощью программы «LUR»

Выявленные аномальные зоны используются в процессе проведения анализа геологоразведочных материалов. С их помощью оценивается корректность принятых границ подсчетных блоков и подходов к расчету подсчетных параметров в них, определяются нежелательные направления интерполирования значений признаков и т. д.

Особо значимые последствия имеет случай разделения участка на несколько аномальных зон (случай «д»). В этой ситуации в подсчетный блок не должны входить участки, принадлежащие различным зонам. При определении единой подсчетной мощности для группы блоков эта группа блоков должна находиться в пределах одной зоны.

При построении поверхностей признака с большой осторожностью следует относиться к результатам интерполирования между замерами, расположенными в различных зонах. Эти результаты должны игнорироваться, если они вступают в противоречия с результатами интерполирования по направлениям, находящимся внутри отдельных зон.

Учет факта проявления на объекте ситуации типа «д» при проведении работ по геометризации и подсчету запасов может приводить к значимым изменениям в результатах оценки количества запасов и гео-

метрии их размещения (изменения количества запасов в зависимости от уровня аномальности зон и значения мощности пласта может достигать 20–30 %, что является существенным особенно при вовлечении в отработку небольших участков пластов).

Четко выделяемые на фоне небольших хаотических изменений поправок аномальные зоны (случай «г») обязательно учитываются при геометризации и последующей оценке ожидаемого качества углепродукции, планировании объемов добычи и особенно важны при нахождении значений признаков вблизи предельных допустимых значений (предусмотренных контрактами характеристик качества угля, граничных значений диапазона раздвижки механизированных крепей и т. д.).

3.5. Уравнивание высотных отметок пласта

Пусть, как и при уравнивании мощностей и показателей качества углей, имеются l оценочных четырехугольных блоков, по каждому из которых известна невязка — определенный в вертикальном направлении лямбда-критерий разведанности λ_i .

Для производства уравнивания формируется таблица производных a_{ik} (полностью аналогичная табл. 3.1). Значения производных определяются по правилу, близкому к описанному выше: 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:

$$\begin{aligned} \text{для скважины № 1:} & \quad a_{ik} = 1 - (3 - 2 \cdot x) \cdot x^2; \\ \text{для скважины № 2:} & \quad a_{ik} = (3 - 2 \cdot x') \cdot x'^2 - 1; \\ \text{для скважины № 3:} & \quad a_{ik} = (3 - 2 \cdot x) \cdot x^2; \\ \text{для скважины № 4:} & \quad a_{ik} = - (3 - 2 \cdot x') \cdot x'^2. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Затем формируется таблица произведений строк S_{ik} , аналогичная табл. 3.2, на основании которой записывается система нормальных уравнений 3.13.

После ее решения по формуле 3.7 рассчитываются значения поправок к высотным отметкам.

Следует иметь в виду, что уровень обусловленности систем уравнений вида 3.6 и 3.13 не допускает их решения с помощью традиционно применяемого при геодезическом уравнивании метода К. Гаусса. В ре-

зультате экспериментальной апробации значительного числа различных алгоритмов решения систем уравнений установлено, что применительно к процессам уравнивания геологоразведочных наблюдений наилучшим является метод кемеровского математика Трушников.

$$\begin{aligned} S_{11} K_1 + S_{21} K_2 + \dots + S_{l1} K_l &= -\lambda_1 \\ S_{12} K_1 + S_{22} K_2 + \dots + S_{l2} K_l &= -\lambda_2 \\ S_{13} K_1 + S_{23} K_2 + \dots + S_{l3} K_l &= -\lambda_3 \\ \vdots &\vdots \\ S_{1r} K_1 + S_{2r} K_2 + \dots + S_{lr} K_l &= -\lambda_r \\ \vdots &\vdots \\ S_{1t} K_1 + S_{2t} K_2 + \dots + S_{lt} K_l &= -\lambda_t \end{aligned} \quad (3.13)$$

3.6. Прогнозирование местоположений и амплитуд дизъюнктивных нарушений

При анализе материалов участков угольных месторождений большое внимание уделяется достоверности изучения дизъюнктивной нарушенности. Причем если при рассмотрении значительных по площади участков, обрабатываемых в течение длительного времени, достаточно, как правило, производить лишь оценку возможной фактической интенсивности дизъюнктивной нарушенности, то при анализе контуров малых площадей чрезвычайно важно выделять конкретные зоны пласта, вероятно пораженные разрывными нарушениями. Одним из методов прогноза дизъюнктивных дислокаций является метод уравнивания нерегулярных цифровых моделей высотных отметок пласта.

Предпосылкой к использованию метода в этих целях является наличие тесной корреляционной связи между значениями лямбда-критериев разведанности и амплитудами нарушений, попадающих в четырехугольники сети скважин (рис. 3.15). Отсюда следует, что можно прогнозировать дизъюнктивные дислокации по признаку резкого увеличения величины лямбда-критерия разведанности в отдельных оценочных блоках или их группах.

Однако визуально фиксируемая аномальность критериев отмечается только в случае встречи разрывов достаточно больших амплитуд, которые в своем подавляющем большинстве или непосредственно подсекаются скважинами, или надежно фиксируются методом структурных построений. Кроме того, при таком подходе трудно локализовать место

расположения нарушения, его ориентировку и протяженность. Поэтому возникает задача перехода от оценок по блокам к оценкам по районам отдельных скважин.

Напомним, что значения лямбда-критериев 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.

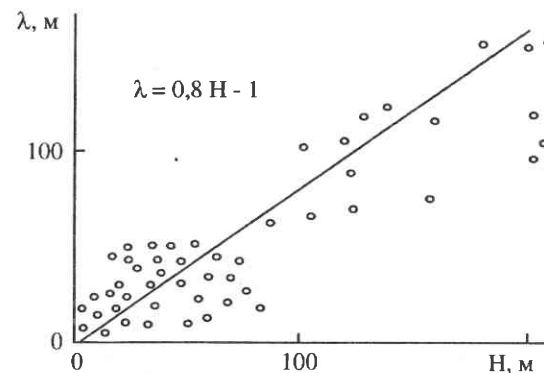


Рис. 3.15. Зависимость значения лямбда-критерия (λ) от вертикальной амплитуды (H) разрывного нарушения, проходящего внутри четырехугольника разведочных скважин (по материалам шахты «Нагорная», Байдаевский район Кузбасса)

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. В основу процесса такой оценки может быть положено достаточно естественное предположение о том, что технические погрешности измерений (зависящие от использованных технических методов измерений) и погрешности интерполирования (зависящие от плотности разведочной сети и сложности геологического строения) в

условиях отдельного конкретного 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, т. е. образуют отдельную статистическую совокупность.

Выделение «шумовой составляющей» предлагается осуществлять на основе анализа интенсивности изменения значений поправок между соседними точками измерений. Числовой характеристикой этого изменения является градиент поправок:

$$\text{grad} \epsilon_{ik} = \frac{|\epsilon_i - \epsilon_k|}{L_{ik}}, \quad (3.14)$$

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, характеризуюсь 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 А на рис. 3.16).

Градиенты, связанные с наличием дизъюнктивных нарушений (в дальнейшем — «аномальные» градиенты), также должны образовывать собственные законы распределения, отличающиеся своим математическим

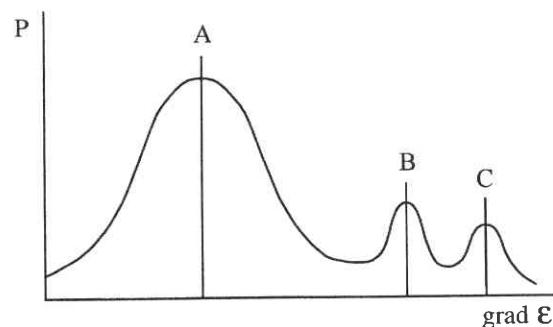


Рис. 3.16. Теоретическое распределения значений градиентов поправок

ожиданием и дисперсией. При наличии нескольких групп геометрически однотипных разрывов могут образовываться несколько распределений аномальных градиентов (распределения В и С на рис. 3.16).

Таким образом, практически распределение градиентов должно представлять собой суперпозицию нескольких законов распределения, что многократно подтверждалось в ходе практического применения метода (см., например, рис. 3.17).

Таким образом, первой задачей прогнозирования является расчет градиентов поправок и построение гистограммы их распределения. Главной проблемой при этом является установление рационального числа количества интервалов гистограммы. Например, на рис. 3.18 приведены гистограммы распределения одних и тех же градиентов поправок, построенные при различном принятом числе интервалов. Из рисунка наглядно видно, насколько сильно их количество изменяет характер гистограммы.

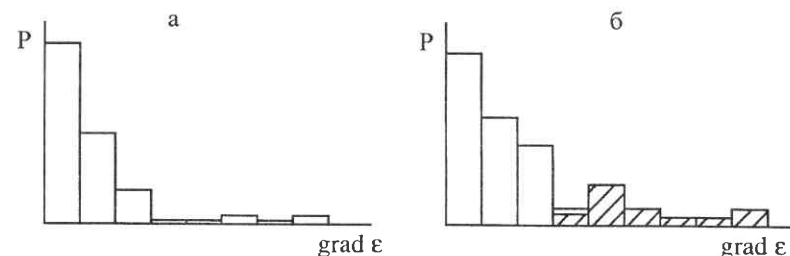


Рис. 3.17. Фактические гистограммы распределения градиентов поправок по ненарушенному (а — участок «Крапивинский», пласт IV) и нарушенному участкам (б — шахта «Восточная», пласт Полысаевский II)

Большинство авторов [5; 8; 9; 11; 13; 26 и др.] рекомендуют производить выбор величины интервала (класса) Δh по формуле:

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{K}, \quad (3.15)$$

где $h_{\max}$ — максимальное значение признака;

$h_{\min}$ — минимальное значение признака;

K — число интервалов.

Известны также предложения, состоящие в выборе величины интервала равной удвоенной или утроенной погрешности измерений.

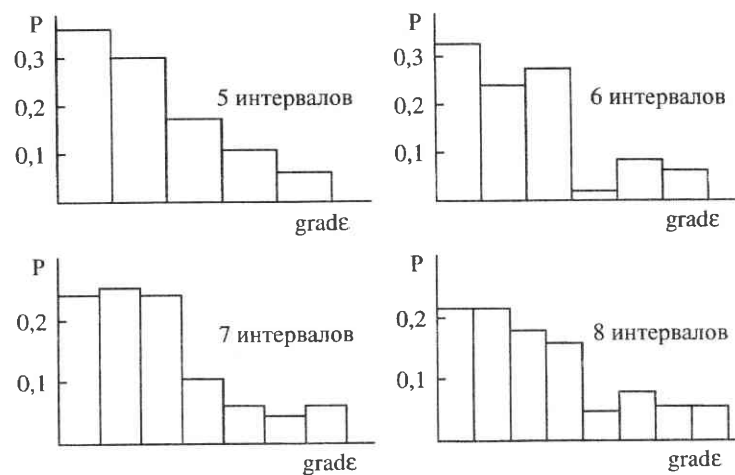


Рис. 3.18. Гистограммы распределения градиентов поправок к отметкам пластоподсечений пл. Толмачевского поля шахты «Комсомолец», построенные при различном числе интервалов

Однако они полностью неприменимы в рассматриваемом случае, поскольку градиенты поправок не являются измеренными величинами.

Наибольшие расхождения во мнениях наблюдаются при решении вопроса о выборе числа интервалов K . Многие авторы [5; 9; 11 и др.] рекомендуют использовать для этой цели формулу Стерджесса:

$$K = 1 + 3,2 \lg N, \quad (3.16)$$

где N — число обрабатываемых наблюдений.

А. К. Митропольский [26] рекомендует, вне зависимости от числа наблюдений, всегда принимать число интервалов равным 12, а А. М. Длин — 7, 9 или 11 [13], но сама величина интервала не должна быть при этом меньше цены деления измерительного прибора. Е. С. Вентцель предлагает разделять размах на 10–20 интервалов [8]. Перечень этих весьма различных предложений можно легко продолжить.

Таким образом, возникает задача отыскания оптимальной величины интервала. Ее решение предполагает прежде всего получить ответ на вопрос: какую величину целесообразно отыскивать — число интервалов или их величину? 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 $8(1+3,2 \lg 200)$. Теперь представим себе, что необходимы гистограммы распределения отдельно для кондиционных и некондиционных мощностей. Каждая из них должна состоять из $7(1+3,2 \lg 100)$ интервалов. Следовательно, в этом случае весь диапазон изменения мощностей будет разделен уже на 14, а не на 8 частей. Налицо явное противоречие. Оно возникает и при использовании любого другого из рассмотренных способов.

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. Во-вторых, для того чтобы сформировать обучающую выборку для установления такой связи, необходимо для каждого числа измерений найти оптимальное число интервалов, т. е. предварительно решить рассматриваемую задачу. И в-третьих, зависимость числа интервалов от объема выборки должна обуславливаться видом распределения. Например, для равномерного закона распределения будет, по-видимому, существовать достаточно широкий диапазон возможного числа интервалов, обеспечивающего представительность гистограммы, в то время как для полимодальных распределений этот диапазон достаточно узок (см. рис. 3.18).

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.

Априорно 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 нем заключено меньшее число наблюдений, чем в большом [13, с. 53]. 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. Последняя 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)» [8, с. 137].

Таким образом, оптимальный интервал должен обеспечивать определенный баланс между уровнем незакономерных колебаний частот и уровнем подробности вскрытия свойств распределения.

Рассмотрим, какой интервал наиболее приемлем с позиции изучения подробностей свойств распределения. Очевидно, что им является интервал, стремящийся к нулю. В этом случае будет обеспечиваться минимальная разность частостей, попавших в соседние интервалы наблюдений, т. е. максимальная подробность гистограммы. Степень этой «подробности» для каждой рассматриваемой величины интервала может быть охарактеризована величиной

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (P_i - P_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1})^2}}, \quad (3.17)$$

где n — число интервалов;

P_i — частота в i -м интервале.

Легко заметить, что параметр η характеризует среднеквадратическое отклонение частостей соседних интервалов гистограммы, выраженных в относительной мере.

С позиции уровня нежелательных незакономерных колебаний частостей целесообразно также минимизировать изменение частостей соседних интервалов, т. е. обеспечить выполнение условия:

$$\eta = \min. \quad (3.18)$$

Пользуясь формулой 3.17, можно для каждого наперед заданного интервала Δh рассчитать и построить зависимость $\eta = f(\Delta h)$. Интервал, соответствующий условию 3.18, является наилучшим, т. к. обеспечивает минимизацию незакономерных колебаний при максимальной подробности гистограммы.

В качестве примера на рис. 3.19 приведены экспериментальные зависимости $\eta = f(\Delta h)$. Формы зависимостей достаточно характерны и проявляются не только при исследовании распределений градиентов поправок, но и различных горно-геометрических характеристик [48]. Их характер полностью соответствует теоретическим представлениям теории катастроф [10]. Поскольку не существует предварительных соображений относительно вида уравнения, надлежащим образом описывающего рассматриваемую систему взаимодействия параметров, то распознавание катастроф осуществляется на основе выявления их «флагов». Приведенная на рис. 3.19 зависимость имеет на участке AB «флаги»:

- модальности (функция имеет более одного локального минимума);
- недостижимости (имеет седло неустойчивого равновесия);
- катастрофических скачков (малые изменения в значениях управляющего параметра Δh вызывают большие изменения в состоянии системы);
- расходимости (конечные изменения в значении управляющего параметра приводят к конечным изменениям переменной в точке равновесия).

Характер «флага» катастрофических скачков и отсутствие «флага» гистерезиса на участке AB указывают на необходимость применения к процессу принципа Максвелла. В соответствии с ним система выходит из одного состояния метастабильного равновесия и начинает двигаться к другому метастабильному равновесию или устойчивому равновесию в зависимости от уровня шума в системе. На участке BC «флагов» нет, и, следовательно, он является участком устойчивости.

Исходя из высказанных соображений, 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 суммирование при вычислении η производится только до первой пары интервалов, суммарно содержащих менее 5 % наблюдений (обычно одним из них является интервал, не содержащий ни одного градиента).

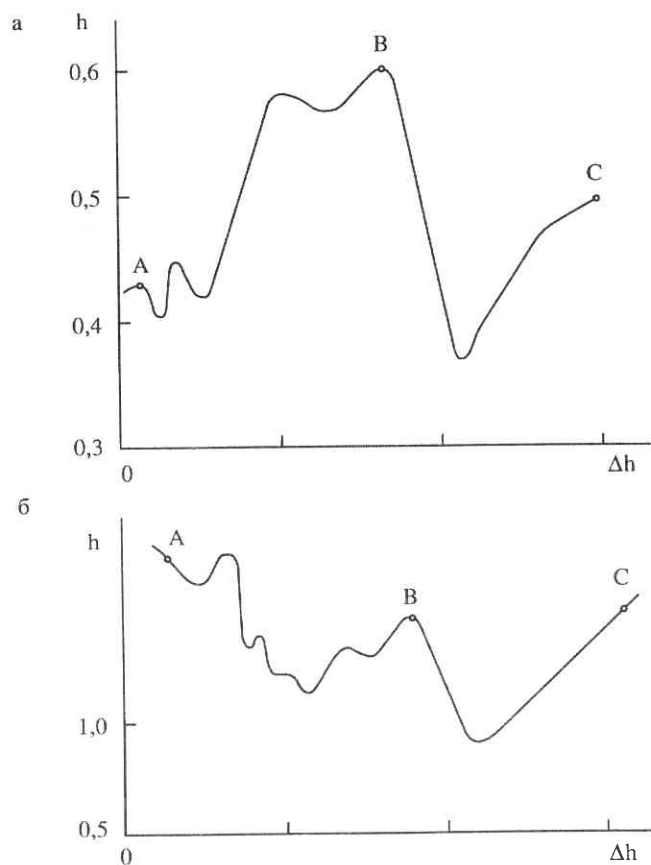


Рис. 3.19. Зависимость показателя изменчивости частот η от величины интервала Δh гистограммы распределения градиентов поправок (а — пл. Кемеровский поля шахты им. Волкова; б — пл. Рывинный поля шахты «Карагайлинская»)

Наличие таких пар вносит существенные искажения в результаты расчетов (происходит переход к совместному рассмотрению двух независимых гистограмм) и приводит (в случае двух соседних «пустых» интервалов) к делению на ноль. Такой подход не противоречит сложившейся практике, требующей предварительного исключения аномалий.

Средством автоматизации процесса прогноза является программа «PDD». В качестве исходных данных программа использует файлы

данных и квадриангулирования, формируемые программой «DRU». После производства уравнивания пользователь получает возможность ознакомиться со значениями полученных поправок. Они используются в двух направлениях.

Во-первых, исходные данные по замерам, обладающим значительными поправками, должны подвергаться сомнению на предмет наличия в них грубых ошибок, допущенных в ходе документирования результатов разведки или сбора материалов. Рекомендуется производить повторную перепроверку введенных в компьютер данных по таким замерам.

Во-вторых, в некоторых случаях, о которых будет сказано ниже, поправки используются для последующего построения изолиний поправок к высотным отметкам.

Градиенты поправок рассчитываются программой автоматически. В качестве направлений, по которым они вычисляются, используются четыре стороны и две диагонали каждого четырехугольника. Естественно, что каждое рассматриваемое направление используется всего один раз. Для этого программой постоянно проверяется: не было ли вновь намеченное направление ранее использовано.

Следующий режим программы обеспечивает построение гистограммы градиентов поправок. Режим реализован в интерактивном виде: пользователь задает возможное число интервалов, а программа сообщает ему значение показателя изменчивости η и показывает вид гистограммы (рис. 3.20).

После построения оптимальной гистограммы (по условию 3.18) выбирается первый интервал аномальных значений градиентов. Для облегчения его поиска автоматически осуществляется декомпозиция экспериментального закона распределения путем выделения распределений нормальных и аномальных градиентов поправок (последнее показано на рис. 3.20 штриховкой).

Выбор первого аномального интервала осуществляется визуально. В его качестве принимается интервал, для которого доля аномальных градиентов превышает 70 % (на рис. 3.20 за такой интервал должен быть принят пятый интервал). Относительно его начального значения все градиенты делятся на аномальные и нормальные. Направления аномальных градиентов прочерчиваются на плане и рассматриваются как направления, пересеченные разрывными нарушениями. В программе «PDD» это прочерчивание выполняется автоматически (рис. 3.21).

На следующем этапе прогнозирования намечаются положения вероятных линий скрещения (утолщенные линии на рис. 3.21). Они про-

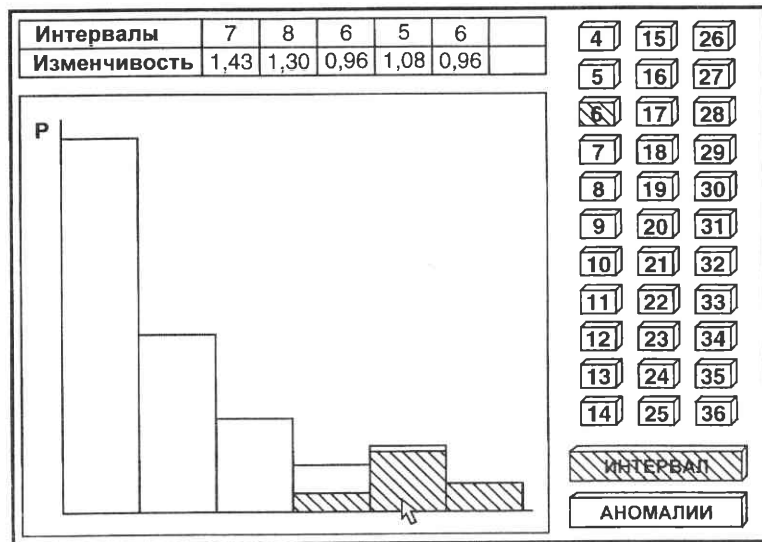


Рис. 3.20. Изображение на экране ЭВМ при работе в режиме формирования оптимальной гистограммы градиентов поправок в программе «PDD»

водятся под условием пересечения ими линий аномальных градиентов. Само построение выполняется одним из четырех способов.

Первый из них состоит в учете ориентировки известных систем разрывных нарушений (рис. 3.22,а). В этом случае все линии градиентов делятся пополам (намечаются точки *A*, *B* и *C*). Затем проводится прогнозируемая линия скрещения *FE* таким образом, чтобы она была параллельна линиям скрещения известных нарушений *NM* и пересекала все линии аномальных градиентов, причем, по возможности, проходя в максимальной близости от срединных точек *A*, *B* и *C* (последнее условие должно выполняться для всех способов трассировки).

Второй и третий способы состоят в учете направлений изолиний поправок. Смысл учета состоит в том, что если ожидается пересечение нарушениями направлений максимального изменения значений поправок (которыми, естественно, являются направления падения поверхности поправок), то линии скрещения должны быть параллельны изолиниям поправок.

Учет ориентировки изолиний выполняется либо путем проведения линии скрещения *FE* параллельно ближайшим изолиниям поправок (направлению *NM* на рис. 3.22,б) – второй способ, либо параллельно

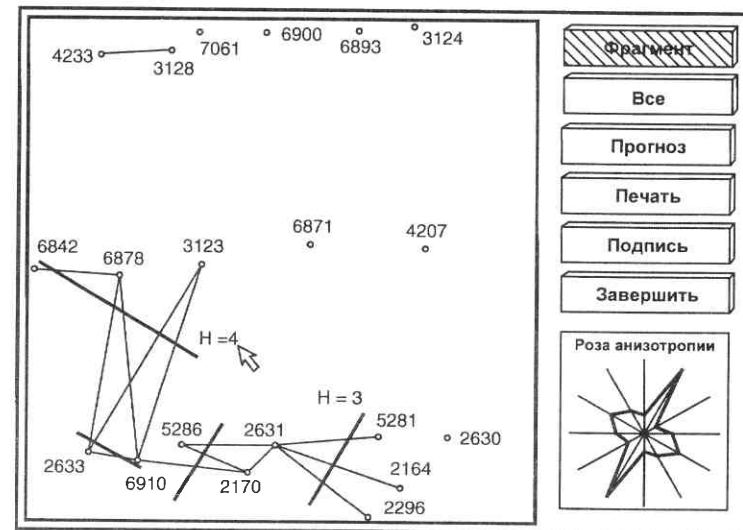


Рис. 3.21. Изображение на экране ЭВМ при работе в режиме прогноза местоположений разрывных нарушений в программе «PDD»

главной оси розы анизотропии поправок, отражающей преимущественную ориентировку изолиний поправок по участку (направлению *NM* на рис. 3.22,в) – третий способ. Причем использование розы анизотропии допустимо только в случае наличия ярко выраженных осей анизотропии. Методика построения розы анизотропии (которая автоматически отстраивается программой «PDD») будет рассмотрена несколько ниже.

Четвертый способ (рис. 3.22,г) применяется при хаотичном изменении поправок, что встречается крайне редко. При его использовании вводится произвольная система координат *YOX*. Далее, рассматривая срединные точки *A*, *B* и *C* в качестве своеобразных точек наблюдений, предполагаемая линия скрещения проводится путем линейной аппроксимации полученной «зависимости» с помощью метода наименьших квадратов. Естественно, что все описанные действия на практике производятся интерактивно.

Приведенные на рис. 3.22 методы трассировки нарушений размещены в порядке убывания степени предпочтительности их применения, т. е. вариант трассировки по схеме рис. 3.22,а предпочтительнее варианта рис. 3.22,б и т. д.

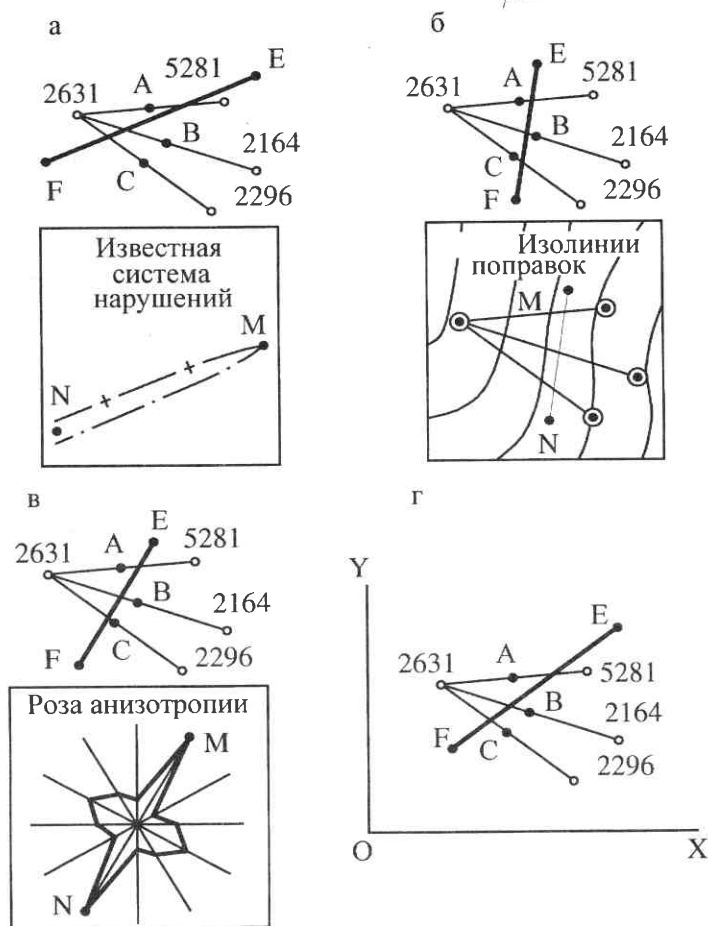


Рис. 3.22. Прогнозирование положений линий скрещения по известным направлениям аномальных градиентов

На практике встречается также простейший случай трассировки, состоящий в простом продлении выявленного геологоразведочными или горными работами нарушения (рис. 3.23).

Ожидаемую точку выклинивания дизъюнктива («окончание» линии скрещения — точка *A* на рис. 3.24) рекомендуется располагать на середине расстояния между последним аномальным (*CB*) и ближайшим к нему нормальным градиентом (*CD*). Для этого угол между направлени-

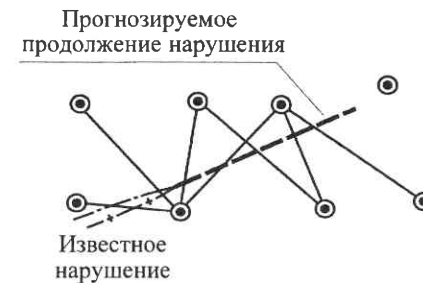


Рис. 3.23. Трассировка «частично» выявленного нарушения

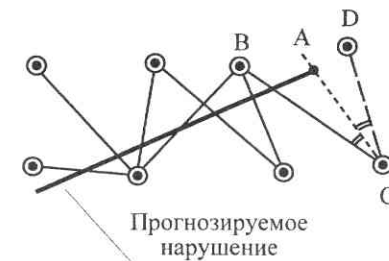


Рис. 3.24. Определение положения точки выклинивания нарушения

ями градиентов *CB* и *CD* делится биссектрисой *CA* пополам и ранее намеченная линия скрещения продолжается до пересечения с ней в искомой точке *A*.

Упомянутая выше роза анизотропии строится по правилам, практически совпадающим с правилами построения индикатрис анизотропии поверхностей геополей [39]. Для этого на участок накладывается палетка в виде системы параллельных равноотстоящих линий, расстояние между которыми примерно равно среднему расстоянию между изолиниями. Первоначально ориентация линий палетки (*A — A'*, *B — B'*, ..., *F — F'* на рис. 3.25) принимается меридиональной. Производится измерение длин отрезков линий, попавших внутрь рассматриваемого участка (для рис. 3.25 это $L_{A-A'}$, $L_{B-B'}$, ..., $L_{F-F'}$), и определяется их сумма:

$$L = L_{A-A'} + L_{B-B'} + \dots + L_{F-F'} \quad (3.19)$$

Для изображенного на рис. 3.25 примера она равна 11160 м. Затем подсчитывается общее число пересечений изолиний с линиями палетки (N , в примере оно составляет 18) и рассчитывается параметр q , характеризующий среднее расстояние между изолиниями вдоль заданного направления (в данном случае – меридионального):

$$q = L / N. \quad (3.20)$$

В рассматриваемом примере $q = 11160 / 18 = 620$ м.

После этого палетка поворачивается на угол φ (принимаемый, обычно кратным 30° , т. е. вначале 30° , затем 60° , 90° и т. д.) и все вычисления повторяются вновь. В результате работы формируется табличная зависимость значений параметра q от величины угла φ (табл. 3.5).

Затем подготавливается основа розы анизотропии (индикатрисы), представляющая собой серию лучей, исходящих из общего центра O и ориентированных в соответствии с принятыми значениями углов φ . Вдоль каждого луча в принятом масштабе от центра O откладывается соответствующая углу φ величина q (например, для направления ОТ она равна 720 м). Полученные концевые точки (типа T) соединяются между собой.

Таблица 3.5

Зависимость значений параметра q от величины угла φ
(для условий примера на рис. 3.24)

Угол φ , градусы	Параметр q , м
0, 180	620
30, 210	720
60, 240	840
90, 270	800
120, 300	890
150, 330	670

Поскольку вдоль преимущественного простирания изолиний расстояние между ними максимально, то направление максимального по длине луча розы анизотропии соответствует ожидаемой ориентировке прогнозируемых дизъюнктивных нарушений (для рис. 3.25 оно равно 120°).

Естественно, что для построения розы анизотропии должна использоваться геометрическая модель геопольа поправок, построенная при постоянном сечении изолиний. Сама величина сечения не должна пре-

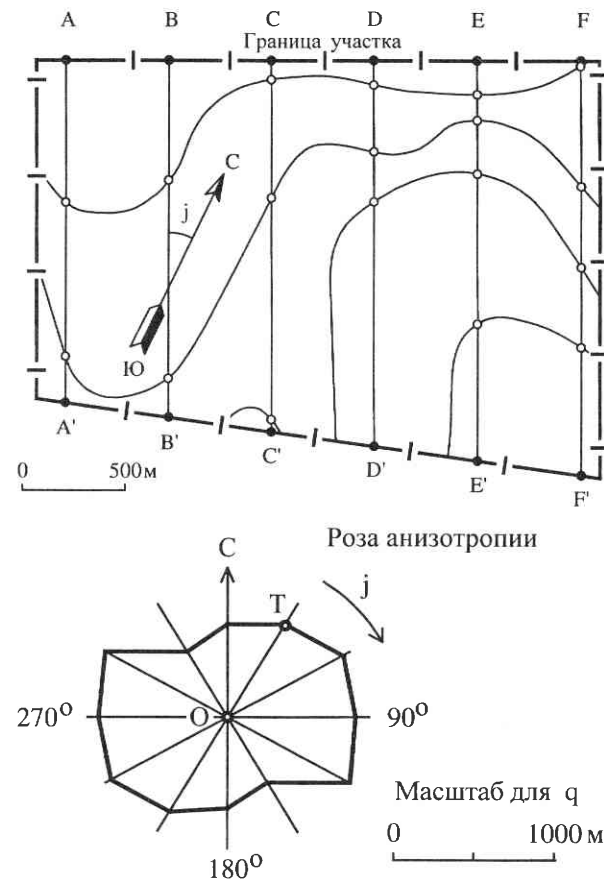


Рис. 3.25. Построение розы анизотропии поправок

вышать оптимального уровня, устанавливаемого по правилам, изложенным в параграфе 3.4.

Для компьютерной обработки описанный подход построения розы мало пригоден из-за сложности его формализации. Поэтому в программе «PDD» используется нерегулярная цифровая модель поправок.

При этом по каждому i -му градиенту поправок grad_i рассчитывается его дирекционный угол α_i и расстояние d_i , при котором должно происходить изменение поправок на величину в 1 м:

$$d_i = 1/\text{grad}\varepsilon_i \quad (3.21)$$

Далее градиенты объединяются в шесть близких по дирекционным углам групп:

группа 1:	$345^\circ \leq \alpha_i \leq 15^\circ$	и	$165^\circ \leq \alpha_i \leq 195^\circ$;
группа 2:	$15^\circ \leq \alpha_i \leq 45^\circ$	и	$195^\circ \leq \alpha_i \leq 225^\circ$;
группа 3:	$45^\circ \leq \alpha_i \leq 75^\circ$	и	$225^\circ \leq \alpha_i \leq 255^\circ$;
группа 4:	$75^\circ \leq \alpha_i \leq 105^\circ$	и	$255^\circ \leq \alpha_i \leq 285^\circ$;
группа 5:	$105^\circ \leq \alpha_i \leq 135^\circ$	и	$285^\circ \leq \alpha_i \leq 315^\circ$;
группа 6:	$135^\circ \leq \alpha_i \leq 165^\circ$	и	$315^\circ \leq \alpha_i \leq 345^\circ$.

Для каждой группы по всем вошедшим в нее градиентам определяется среднее значение параметров d_i — величина q (аналогичная по своему смыслу вычисляемой по формуле 3.20). Каждому значению q ставится в соответствие угол φ группы (для группы 1 он равен 0° и 180° ; 2 — 30° и 210° ; 3 — 60° и 240° ; 4 — 90° и 270° ; 5 — 120° и 300° ; 6 — 150° и 330°), формируется таблица, аналогичная табл. 3.5, и выполняется построение розы анизотропии.

Практика применения обоих рассмотренных подходов к построению роз анизотропии поправок позволяет оценить их как равноправные.

Встречаются два основных вида роз анизотропии:

- с ярко выраженными осями анизотропии (например, рис. 3.21);
- с отсутствием явно выраженной анизотропии (рис. 3.25).

Ясно, что для прогноза положений нарушений может использоваться только первый тип роз. При получении розы второго типа необходимо произвести изучение анизотропии не только в целом по участку, но и по отдельным его частям, охватывающим район расположения рассматриваемой группы аномальных градиентов (возможность выполнения такого анализа заложена в программе «PDD»). В результате, как правило, достигается получение пригодной для использования при трассировке разрыва розы анизотропии первого типа (что избавляет пользователя от необходимости построения модели размещения значений поправок).

Важной составной частью процесса прогноза разрывных нарушений является прогноз их амплитуд. В результате статистической обработки экспериментальных материалов, учитывающей нарушения с амплитудами от 1 до 19 м, была разработана следующая методика прогноза вертикальных амплитуд смещений.

На первой стадии прогноза работа ведется по отдельным оценочным четырехугольникам. В случае если прогнозное нарушение пересекает одну диагональ оценочного блока (рис. 3.26,а), то определяется точка A пересечения диагонали и разрыва, находится ближайшая к ней вершина четырехугольника (2 на рисунке) и измеряется расстояние между ними r . Ожидаемая вертикальная амплитуда разрыва рассчитывается по формуле:

$$H = |\lambda| \cdot (1,86 - 4,171 \cdot e + 2,702 \cdot e^2), \quad (3.22)$$

где λ — значение лямбда-критерия разведанности (если $|\lambda| > 3$ м, то в расчет принимается величина, равная $|\lambda| - 1$ м);

$$e = r / R;$$

R — длина диагонали, пересекаемой нарушением.

В случае, если прогнозное нарушение пересекают обе диагонали (рис. 3.26,б), определяются две точки их пересечения с разрывом (A и B) и измеряется расстояние от них до ближайших к ним вершин четырехугольника (r_1 и r_2). Ожидаемая вертикальная амплитуда разрыва оценивается по формуле:

$$H = \frac{|\lambda|}{0,4 + 0,395 \cdot |\lambda|} (1,94 \cdot e_1 + 1,94 \cdot e_2 + 0,3), \quad (3.23)$$

где $e_1 = r_1 / R_1$; $e_2 = r_2 / R_2$;

R_1 и R_2 — длины соответствующих диагоналей.

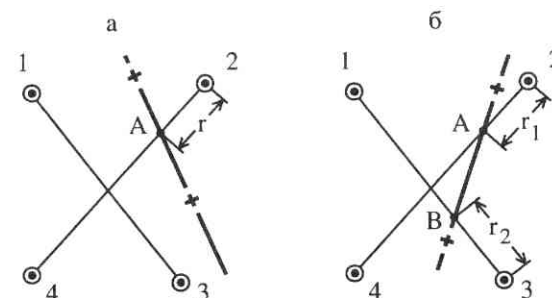


Рис. 3.26. Методика прогноза вертикальных амплитуд дизъюнктивов

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.

Экспериментально установленные погрешности прогнозных амплитуд разрывов приведены в табл. 3.6, из которой следует, что они с точки зрения их практического применения не зависят от количества пересекаемых дизъюнктивных диагоналей. Следовательно, в случае прохождения нарушения через несколько оценочных блоков с различным числом пересекаемых им диагоналей, в качестве ожидаемой амплитуды нарушения также правомерно принимать среднеарифметическое значение из отдельных «блоковых» амплитуд.

Таблица 3.6

Погрешность прогнозирования амплитуд разрывов		
Число пересекаемых оценочных четырехугольников	Среднеквадратическая погрешность прогнозного значения амплитуды, м	
	пересечение одной диагонали — формула 3.22	пересечение двух диагоналей — формула 3.23
1	2,2	2,7
2	1,7	2,1
3	0,8	0,9
4	0,5	0,8

В качестве примера прогнозирования на рис. 3.27 приведены установленные горными работами нарушения пласта Кемеровского поля шахты им. Волкова с дополнительным нанесением изолинии поправок и линий аномальных поправок. Результаты прогнозирования их положения только по геологоразведочным данным были показаны на рис. 3.21.

Результаты оценки точности прогнозирования дизъюнктивных нарушений, выполненной по геологоразведочным данным уже отработанных участков пластов, представлены в табл. 3.7. В целом из числа выделяемых аномальных градиентов примерно 80 % подтверждаются последующими горными работами. По приведенным в табл. 3.7 сопоставлениям методом уравнивания выявлялось от 50 до 80 % всех фактически имеющихся нарушений с амплитудами более 4 м, что в два-три раза превышает число нарушений, выявленных геологоразведочными работами.

Однако необходимым условием успешного применения метода является наличие качественных геологических данных, соответствующих вполне достижимым инструктивным требованиям. Вполне понятно, что невозможно достичь хороших результатов прогнозирования по фальсифицированным или недобросовестно полученным исходным материалам.

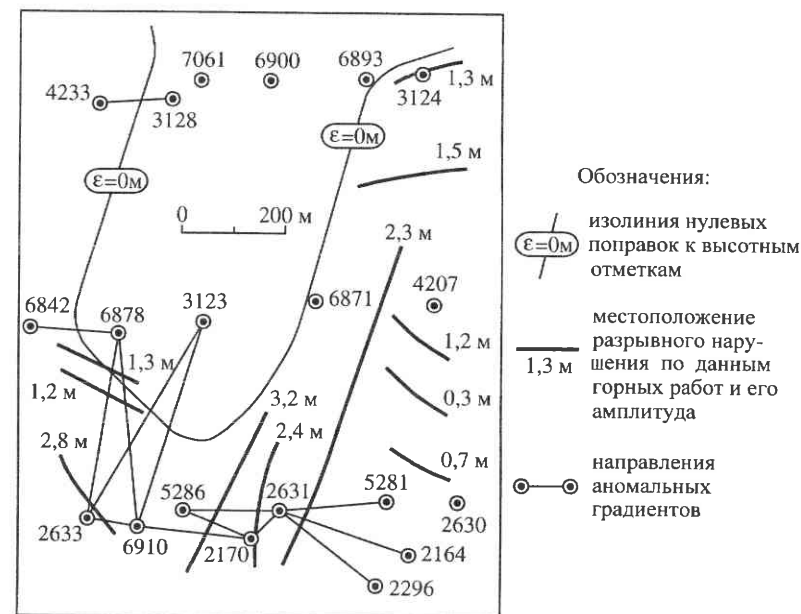


Рис. 3.27. Фактическая дизъюнктивная нарушенность пласта Кемеровского по данным горных работ (поле шахты им. Волкова)

Например, в 1989 г. при применении рассматриваемого метода для прогноза нарушенности поля шахты «Полосухинская» были получены отрицательные результаты. В ходе анализа причин неэффективной работы метода вскрылись факты грубейших нарушений технологии геологоразведочных работ: более 60 % пластоподсечений, находящихся на уже отработанной площади, имели случайные погрешности высотных отметок, превышающие допуски технических требований. Более того, в 20 % скважин эти погрешности превышали 10 м, в том числе, например, и по пластоподсечению, залегающему на глубине всего 20 м!

Таблица 3.7

**Достоверность прогноза дизъюнктивной нарушенности
с помощью уравнивания высотных отметок пластоподсечений**

Шахта	Пласт	Число пласто- подсечений по участку	Количество аномальных градиентов	
			всего	в том числе подтвержденных горными работами
«Северная»	Верхний	42	8	6
«Северная»	Кумпановский	84	9	7
«Аларда»	3-За	23	Нет	Нет
«Аларда»	I	16	Нет	Нет
«Березовская»	XXI	28	2	2
им. Волкова	Кемеровский	57	15	13
им. Кирова	Поленовский	61	5	5
им. Ленина	III	100	9	7
Итого			48	40

Так как на практике, к сожалению, часто приходится работать с материалами подобного уровня, то в результате накопленного практического опыта удалось выработать некоторые методические рекомендации по их обработке.

Во-первых, если анализируется материал по частично отработанному пласту, то вначале рекомендуется провести обработку геологоразведочных данных уже отработанного контура, сопоставить результаты прогноза и эксплуатации и выявить амплитуды нарушений, действительно устанавливаемых с помощью уравнивания. После выполнения прогноза по не затронутой горными работами части пласта следует игнорировать прогнозные нарушения, амплитуды которых меньше обнаруживаемых. Естественно, что такой подход правомерен лишь в случае, если анализируемый и эталонный участок изучались в рамках одних и тех же стадий геологоразведочных работ.

Во-вторых, необходимо изучать степень зависимости результатов прогноза от схемы квадрангулирования. Установлено, что наличие в исходных данных грубых ошибок приводит к неустойчивым прогнозным оценкам. Изучение производится с помощью выполнения не одного, а двух-трех различных вариантов квадрангулирования сети с последующим выявлением устойчивой группы аномальных градиентов. Например, на рис. 2.28,а и 2.28,б приведены фрагменты двух вариантов квадрангулирования разведочной сети по пласту Рывинному

поля шахты «Карагайлинская». Различная квадрангуляция приводит к выделению несколько различных аномальных градиентов (соответственно рис. 2.28,в и 2.28,г). Однако оба варианта прогноза имеют общие аномальные градиенты (рис. 2.28,д), которые и используются при выполнении окончательного прогноза. Ориентировка нарушений по розам анизотропии мало зависит от схемы квадрангулирования (в примере она неизменна и составляет 30°). На поле рис. 2.28,д в иллюстративных целях нанесены нарушения, выявленные геологоразведочными работами (отметим, что дизъюнктив № 16, вероятно, имеет более значительную протяженность, проходя между скважинами 8586 и 8518, и, кроме того, следует ожидать дополнительный разрыв, пересекающий направление 8589–8596). При наличии грубых погрешностей в исходных данных различные схемы квадрангуляции дают большие расхождения в результатах прогноза, что является своего рода «флагом катастрофы», сигналом о некорректности прогнозирования.

В-третьих, после завершения прогноза следует проанализировать амплитуды прогнозируемых нарушений. Те из них, амплитуды смещения которых составляют менее 70 % от величины среднего значения лямбда-критерия разведанности по участку, целесообразно отбрасывать, поскольку такие относительно незначимые аномалии могут быть обусловлены погрешностями измерений.

В-четвертых, предварительно следует отбраковывать и не интерпретировать как нарушения (если тому нет иных предпосылок) «лучевые» аномалии, когда из некоторого пластоподсечения исходит серия разнонаправленных аномальных градиентов (рис. 3.29). Это указывает на то, что замер со всех сторон как бы отсечен разрывными нарушениями, не фиксируемыми по иным направлениям. Вероятнее всего, что данные по такому замеру просто искажены. В этом случае требуется перепроверить их на предмет выявления грубых ошибок. Кроме того, в данной неопределенной ситуации необходимо осуществлять поиск признаков, косвенно подтверждающих наличие дизъюнктива.

В-пятых, аналогичный поиск целесообразно производить также и в случае появления одиночного аномального направления, так как его существование может быть связано с действием случайных факторов. Ошибочно аномальные градиенты могут возникать и в ходе декомпозиции общего закона распределения градиентов (например, на рис. 3.20 первый выделенный аномальный интервал, отмеченный маркером мыши, содержит не только аномальные градиенты, но и незначительную долю (менее 9 %) нормальных градиентов). Интерпретация одиночного градиента в качестве результата влияния нарушения должна

производиться лишь в случае подтверждения его наличия косвенными признаками.

К ним можно отнести следующие.

Во-первых, наличие по участку выявленного нарушения, естественным продолжением которого является прогнозируемое (как в случае с дизъюнктивом № 16 на рис. 3.28).

Во-вторых, существование нарушения по выше- или нижележащим пластам, продолжением которого может являться прогнозируемое.

В-третьих, аномальные колебания в значениях углов напластования по окружающим скважинам. Например, при прогнозе нарушений по пласту Алчедатскому III прогнозировалось нарушение, не зафиксированное геологоразведочными работами. При анализе материалов геологических разрезов по скважине 5074 (рис. 3.30,а) отмечено аномальное изменение угла напластования (аномальная зона помечена знаком вопроса). При рассмотрении ее как зоны возможного нахождения дизъюнктива и последующем его проведении параллельно уже известным разрывам его пересечение с пластом Алчедатским III должно происходить в районе, близком к району, прогнозируемому с помощью уравнивания. Последующие геологоразведочные работы подтвердили факт существования данного нарушения. При отсутствии нарушений углы напластования изменяются достаточно плавно и в небольших пределах. Данный поисковый признак наличия нарушений основан на усеченном использовании методики И. П. Жингеля [16]. Кроме того, в рассматриваемой ситуации желательно провести повторный анализ каротажных диаграмм на предмет обнаружения зон дробления.

В-четвертых, это нетипичное поведение стволов геологоразведочных скважин. Обычно они искривляются в сторону восстания пластов. Имеющее место обратное явление (рис. 3.31) обусловлено, в подавляющем большинстве случаев некорректностью выполненных построений, связанной с «разворотом» направления падения пластов. Если учет прогнозируемого с помощью уравнивания разрывного нарушения приводит к изменению направления падения пластов и, как следствие, к нормализации поведения ствола скважины, то это становится весомым косвенным аргументом в пользу надежности прогнозных построений.

Для косвенного подтверждения существования разрывных нарушений могут использоваться и традиционные геологические признаки, такие как изменения мощностей междупластья, увеличение кривизны пластов и смещения изогипс.

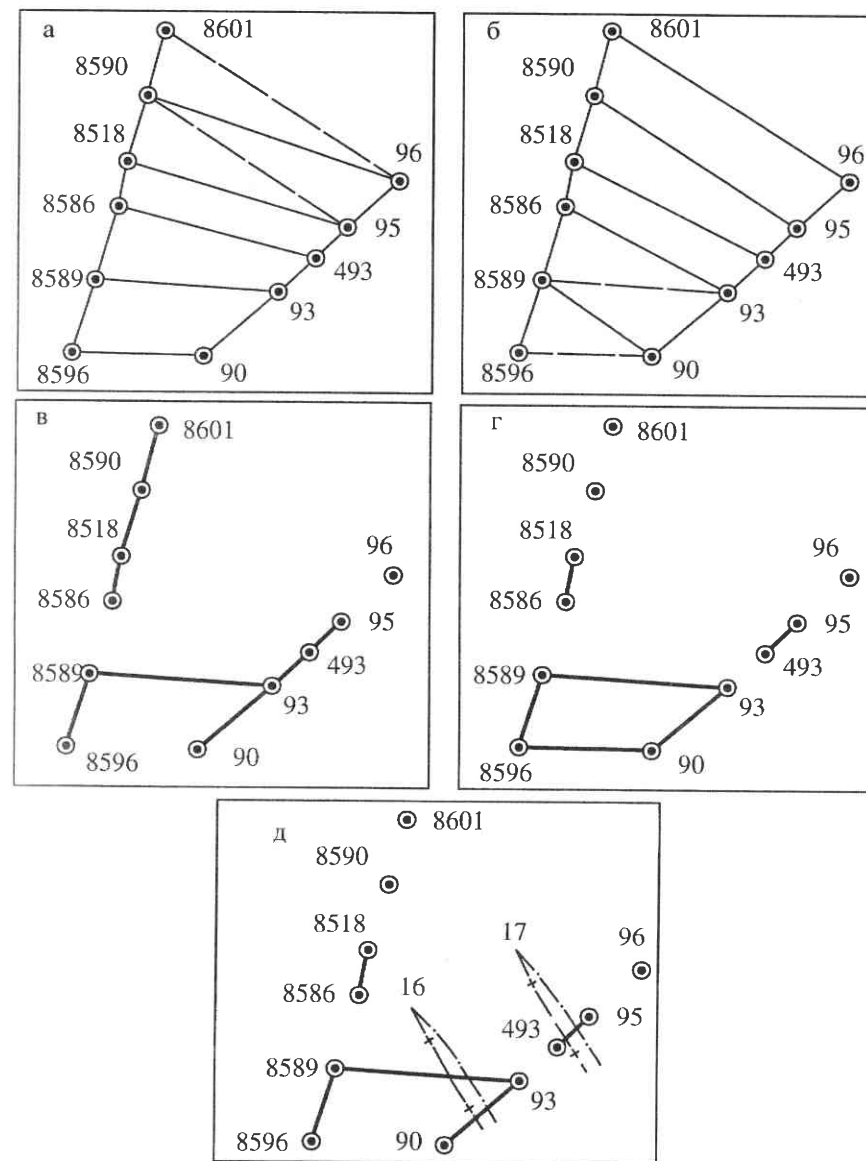


Рис. 3.28. Изучение степени зависимости результатов прогноза от схемы квадриангулирования

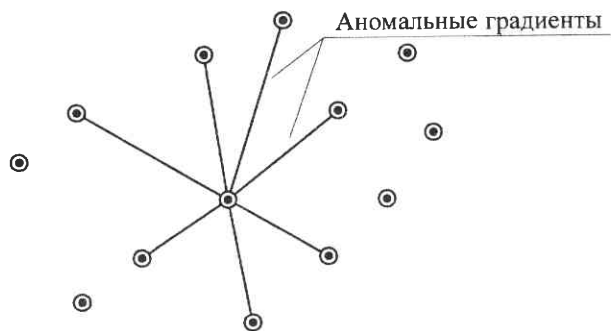


Рис. 3.29. Пример «лучевой» аномалии

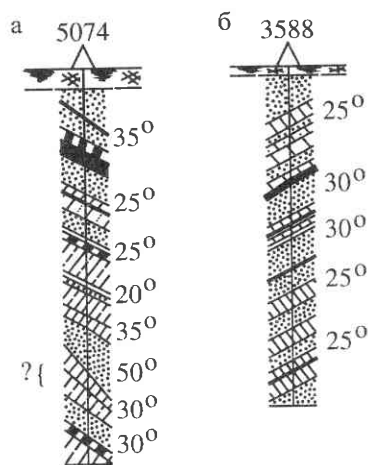


Рис. 3.30. Геологоразведочные скважины поля ш/у «Сибирское»

Необходимость использования рассмотренных выше эмпирических приемов не связана с сущностью метода уравнивания геологоразведочных измерений, а обусловлена реальным качеством отечественной геологоразведочной информации. Эти приемы позволяют достаточно эффективно вести прогнозирование даже в условиях наличия в выборке значительного количества грубых ошибок разведки.

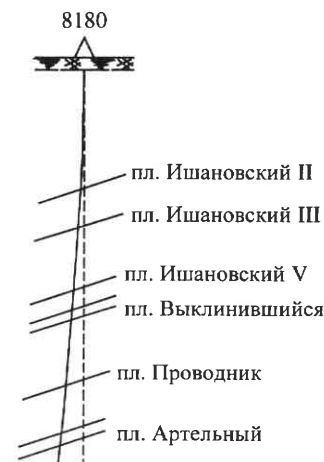


Рис. 3.31. Пример «некорректного поведения» ствола скважины (III р.л., участок «Чесноковский»)

На практике иногда возникают ситуации, которые требуют рассмотрения достоверности изучения поведения пласта в контуре уже нарезанного выемочного контура. Например, в 1996 году одна из кузбасских фирм, ориентированная на подземную отработку пластов, вскрытых углеразрезами, вела поиск инвестиций для приобретения механизированного комплекса для уже нарезанной лавы.

Оценка достоверности горно-геометрических моделей и прогноз нарушенности пласта в таких условиях выполняются на основе результатов стандартных, инструктивно регламентированных геолого-маркшейдерских наблюдений в горных выработках и обладают лишь незначительными специфическими особенностями. Главная из них состоит в том, что в связи с высокой надежностью шахтных наблюдений и возможностью их контрольного повторения полностью отпадает необходимость в сложной и трудоемкой процедуре поиска и отбраковки ошибочных исходных данных. При прогнозировании нарушений допустимо также отказаться от учета градиентов поправок по направлениям, ориентированным вдоль штреков (поскольку они уже были детально изучены в ходе проведения горных выработок). Этот отказ позволяет сформировать более однородную (как по ориентации, так и по расстояниям между замерами) совокупность градиентов, и, как следствие, усиливает рельефность проявления аномальных градиентов.

Поэтому для выполнения прогноза нарушенности в нарезанном выемочном столбе используется специальная программа «PDL». Помимо учета этой особенности, она обладает дополнительными сервисными элементами, что обеспечивает:

- автоматическое определение элементов залегания пласта в точках измерений по их отметкам и углам падения, измеренным в плоскости груди подготовительного забоя;
- производство прогноза с использованием только пространственных координат точек наблюдений;
- определение расстояния между штреками вдоль кровли пласта.

Практическое применение метода уравнивания для прогноза нарушений на шахтах Кемеровского, Ленинского и Беловского геолого-промышленных районов указывает на его высокую точность (подтверждаемость прогнозов составляет 75–90 % для нарушений с амплитудами более 0,5 м). В ходе исследовательских работ установлено, что геологические службы многих предприятий, вопреки действующим инструктивным требованиям, не обеспечивают создание сети геологических наблюдений необходимой плотности и конфигурации и даже не производят измерения элементов залегания пласта. На рис. 3.32 приведены результаты прогнозирования нарушений по одной из лав со 100%-м подтверждением результатов прогноза.



Рис. 3.32. Прогноз наличия разрывных нарушений в нарезанном выемочном столбе (пласт Верхний, шахта «Северная»)

Пример любопытен тем, что проходка конвейерного штрека была прекращена из-за неожиданной встречи разрывного нарушения в точке № 303. Между тем это нарушение надежно прогнозируется методом уравнивания задолго до его встречи (рис. 3.33).

Таким образом, применение уравнивания в процессе проведения нарезных работ, требующее проведения только регламентных измерений, позволяет снизить объем бросовых горных выработок.

Следует подчеркнуть, что использование горно-геометрических методов прогнозирования нарушенности не исключает последующего применения подземного разведочного бурения и геофизических исследований, но позволяет применять их более целенаправленно и эффективно.

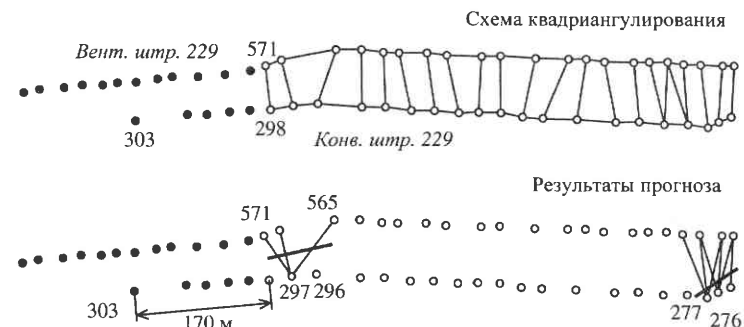


Рис. 3.33. Прогноз наличия разрывных нарушений по лаве, изображенной на рис. 3.32, с использованием части имеющихся замеров

4. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ ЗАМЕРОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ОДНОЙ ПРЯМОЙ

4.1. Принцип оценки неоднозначности модели

К моделям указанного вида относятся прежде всего разрезы по геологическим разведочным линиям. Их построение выполняется в геолого-разведочных организациях и включает в себя два крупных элемента:

- геологический, состоящий в основном в установлении корреляции пластов по разрезам скважин, т. е. в выборе плаstopодсечений отдельных скважин, относящихся к одним и тем же пластам;
- геометрический, заключающийся в восстановлении положения пласта между точками его встречи со скважинами.

Оценка надежности решения первой части задачи выходит за рамки проблем геометрического моделирования, производится сугубо геологическими методами и не рассматривается в данной работе.

Количественный метод оценки достоверности результатов построения геологического разреза по разведочной линии основан на определении степени неоднозначности отстроенного положения пласта. Однако при существующей технологии построения разрезов реально возникающая многовариантность построений проявляется не явно, существуя лишь на уровне авторских представлений и сомнений. Поэтому для ее количественного определения предлагается создавать искусственные избыточные варианты построений положения пласта [56]. Например, пусть имеется разведочная линия, подсекающая пласт в точках его пересечения со скважинами 1–6 (рис. 4.1). Такую сеть замеров можно разделить на группы перекрывающих друг друга мини-разрезов, состоящих строго из четырех скважин. В примере такими мини-разрезами будут разрезы по скважинам 1-2-3-4, 2-3-4-5 и 3-4-5-6. Используя только данные по скважинам мини-разрезов, можно осуществить построение положения пласта (сплошная линия *A* для группы скважин 1-2-3-4, «длинный» пунктир *B* для группы скважин 2-3-4-5 и «короткий» пунктир *C* для группы 3-4-5-6). Естественно, что пласт на перекрывающихся друг друга участках мини-разрезов будет занимать различное положение. Таким образом, на этих участках возникает явно выраженная многовариантность построений. Ее количественной мерой может выступать, обозначаемое в дальнейшем как Ω , расхождение в положении пласта по вариантам, измеренное в направлении, перпендикулярном пласту.

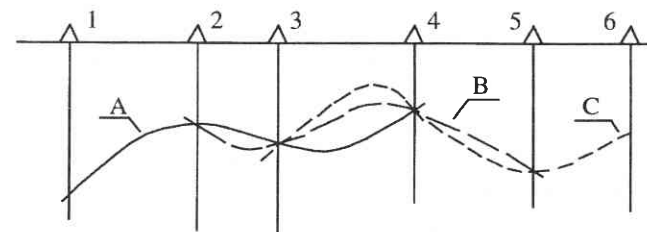


Рис. 4.1. Создание избыточных вариантов положения пласта по геологическому разрезу

4.2. Определение степени неоднозначности и достоверности геометрической модели

В целях обеспечения автоматизации процесса оценки достоверности геологического разреза для построения отдельных мини-разрезов использована кубическая сплайн-функция (см. параграф 2.2).

Формула, по которой производятся расчеты высотных отметок почвы пласта между начальным (первым) и конечным (четвертым) плаstopодсечениями мини-разреза, может быть записана в виде

$$Z_r = (F_1(x) \cdot \operatorname{tg} \delta_1 - F_2(x) \cdot \operatorname{tg} \delta_4) R + (Z_4 - Z_1) F_3(x) + Z_1, \quad (4.1)$$

где Z_r – высотная отметка почвы пласта в точке, удаленной от начального плаstopодсечения мини-разреза на расстояние r ;

δ_1, δ_4 – углы падения пласта в начальном (первом) и конечном (четвертом) подсечениях мини-разреза (в случае если направление падения пласта совпадает с направлением от начальной к конечной точке, то тангенсу угла присваивается знак «минус»);

Z_1, Z_4 – отметки почвы пласта в начальном и конечном подсечениях мини-разреза;

R – горизонтальное расстояние между начальным и конечным подсечениями мини-разреза;

$$F_1(x) = (1 - x)^2 \cdot x; \quad F_2(x) = (1 - x) \cdot x^2;$$

$$F_3(x) = (3 - 2x) \cdot x^2; \quad x = r / R.$$

Непосредственное производство расчетов по формуле 4.1 является невозможным, поскольку фактические значения углов δ_1 и δ_4 неизвестны. Однако, используя заданные отметки двух промежуточных подсечений мини-разреза, можно определить искомые углы путем составления и решения системы двух линейных уравнений вида 4.1. Такая система уравнений имеет вид (номера подсечений соответствуют их номерам по мини-разрезу *A* на рис. 4.1)

$$\begin{aligned} Z_2 &= (F_1(x_2) \cdot \operatorname{tg} \delta_1 - F_2(x_2) \cdot \operatorname{tg} \delta_4)R + (Z_4 - Z_1)F_3(x_2) + Z_1, \\ Z_3 &= (F_1(x_3) \cdot \operatorname{tg} \delta_1 - F_2(x_3) \cdot \operatorname{tg} \delta_4)R + (Z_4 - Z_1)F_3(x_3) + Z_1, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где r_2 — горизонтальное расстояние между подсечениями 1 и 2;

r_3 — горизонтальное расстояние между подсечениями 1 и 3;

$x_2 = r_2 / R$;

$x_3 = r_3 / R$.

После расчета тангенсов конечных углов δ_1 и δ_4 определяются углы падения в точках 2 и 3:

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{tg} \delta_1 (1 - 4x_2 + 3x_2^2) - \operatorname{tg} \delta_4 (2x_2 - 3x_2^2) + 6(x_2 + x_2^2) \frac{Z_4 - Z_1}{R}, \quad (4.3)$$

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \operatorname{tg} \delta_1 (1 - 4x_3 + 3x_3^2) - \operatorname{tg} \delta_4 (2x_3 - 3x_3^2) + 6(x_3 + x_3^2) \frac{Z_4 - Z_1}{R}. \quad (4.4)$$

В результате деления линии разведочных пересечений на перекрывающиеся мини-разрезы по каждому из замеров будет определено от 1 до 4 значений углов падения (по числу мини-разрезов, использующих замер).

Оценка многовариантности построений производится следующим образом (рис. 4.2). Из числа определенных для каждого замера вариантов значений углов выбираются два угла, максимально отличающиеся от принятого при построениях в большую и меньшую стороны (например, для замера по скважине 1 такими углами являются $\delta_{1\max}$ и $\delta_{1\min}$ — рис. 4.2). Используя значения этих углов, для каждой пары плаstopодсечений отстраиваются допустимые граничные положения размещения пласта в недрах (кривые *ACB* и *ADB* на рисунке). Заключенную между ними зону можно назвать зоной неопределенности в положении пласта. В качестве итоговой оценки неопределенности принимается максимальная ширина этой зоны Ω , измеренная в нормальном к пласту направлении.

На основании проведенных статистических исследований установлена возможность перехода от величины неоднозначности Ω к величине истинной погрешности в положении пласта R :

$$R = \Omega \cdot t, \quad (4.5)$$

где t — эмпирический коэффициент.

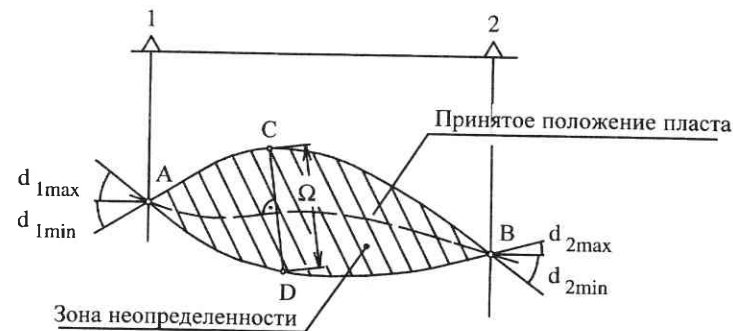


Рис. 4.2. Оценка многовариантности по линии замеров

При выполнении расчетов коэффициент t определяется по эмпирически полученным зависимостям, приведенным на рис. 4.3.

Значения коэффициента t зависят от принятого уровня вероятности и местоположения пары замеров на линии. Если пара замеров является первой или последней в линии (например, пары 1-2 и 5-6 на рис. 4.1), то используется график 4.3,б, в противном случае — график 4.3,а.

Для автоматизации процесса оценки многовариантности и погрешности положения угольного пласта в сечении по линии разведочных замеров разработана специальная компьютерная программа «OMR». При работе с ней пользователь имеет возможность получить графическое изображение почвы пласта, а при необходимости — и зон неоднозначности (рис. 4.4).

Основным генерируемым программой документом является стандартное заключение, имеющее следующий вид:

«Результаты анализа неоднозначности построений по линии разведочных скважин»

Наименование участка:	шахта «Карагайлинская»
Наименование линии:	VII Промежуточная
Наименование пласта:	Рытвинный

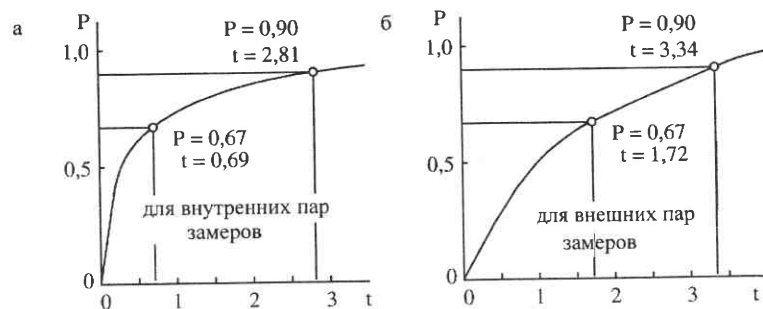


Рис. 4.3. Обобщенная экспериментальная функция распределения коэффициента t для внутренних (а) и внешних (б) пар линии замеров

В результате анализа неоднозначности положения угольного пласта, выполненного на ЭВМ по программе «OMR», установлены следующие наиболее вероятные значения углов падения почвы пласта в точках подсечений:

- скважина 8601 — 32 (падение в сторону скважины 8590);
- скважина 8590 — 16 (падение в сторону скважины 8518);
- скважина 8518 — 13 (падение в сторону скважины 8586);
- скважина 8586 — 13 (падение в сторону скважины 8589);
- скважина 8589 — 16 (падение в сторону скважины 8596);
- скважина 8596 — 27 (восстание в сторону скважины 8589).

Максимальные ожидаемые неоднозначности в положении пласта между парами соседних скважин в направлении нормали к нему и оцененные с вероятностью 0,67 погрешности высотных отметок (указаны в скобках) составляют:

- между скважинами 8601 и 8590 : 1,4 м (2,4 м);
- между скважинами 8590 и 8518 : 2,2 м (1,5 м);
- между скважинами 8518 и 8586 : 1,3 м (0,9 м);
- между скважинами 8586 и 8589 : 1,9 м (1,3 м);
- между скважинами 8589 и 8596 : 0,7 м (1,2 м).

Учет использования при построении материалов вышележащего, более изученного пласта, обеспечивается путем введения в расчетные для нижнего пласта показатели многовариантности Ω понижающих поправочных множителей K . Величина этих множителей может быть получена на основе разрежения сети замеров вышележащего пласта до плотности разведочной сети по рассматриваемому нижележащему.

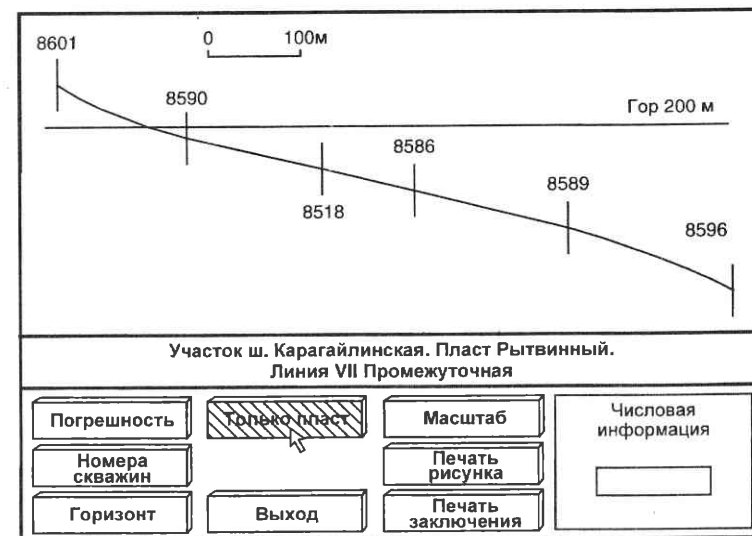


Рис. 4.4. Изображение на экране ЭВМ при работе в режиме оценки многовариантности (программа «OMR»)

Например (рис. 4.5), при расчете величины K для интервала между подсечениями 1-3 по нижнему пласту B определяется величина многовариантности Ω интервала — Ω^B (1-3), а для верхнего пласта A — многовариантность между подсечениями 1-2 (Ω^A (1-2)) и 2-3 (Ω^A (2-3)). Затем по верхнему пласту производится разрежение сети (удаляются замеры по скважинам 2 и 4, не пересекающим пласт B) и рассчитывается многовариантность Ω^A (1-3).

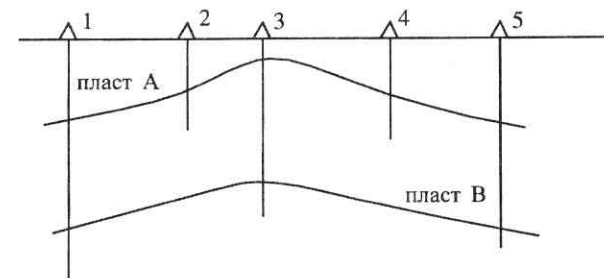


Рис. 4.5. Учет данных детально разведанного вышележащего пласта

По материалам, полученным по пласту *A*, определяется понижающий коэффициент *K*, как частное от деления средней многовариантности по полной сети наблюдений Ω_c (для рассматриваемого примера $\Omega_c = [\Omega^A(1-2) + \Omega^A(2-3)]/2$) на показатель многовариантности по разреженной сети (в примере, $\Omega^A(1-3)$). В результате принятый к учету показатель многовариантности по пласту *B* в пространстве между подсечениями 1 и 3 рассчитывается по формуле: $\Omega^B(1-3) \cdot K$.

Пусть $\Omega^B(1-3) = 7,3$ м; $\Omega^A(1-2) = 3,5$ м; $\Omega^A(2-3) = 2,1$ м и $\Omega^B(1-3) = 4,9$ м. Тогда: $\Omega_c = (3,5 + 2,1) / 2 = 2,9$ м и $K = 2,9 / 4,9 = 0,59$. Таким образом, ожидаемое значение неопределенности по нижнему пласту *B* следует оценить величиной не 7,3 м, а $7,3 \cdot 0,59 = 4,3$ м.

Помимо использования рассмотренного метода и его программного обеспечения по прямому назначению, он может достаточно эффективно применяться при определении элементов залегания пласта при сборе исходных данных для расчета лямбда-критериев разведанности. Ситуация, в которой возникает необходимость в его применении, состоит в следующем. Достаточно часто гипсометрия пласта на подсчетных планах бывает отображена изогипсами, построенными с сечениями, не позволяющими однозначно определить как направление, так и угол падения пласта. Кроме того, определение элементов залегания пласта затруднено также при работе со скважинами, находящимися вне разведочных линий или включенных в линии, ориентированные по направлению простираения пласта.

Например, пусть требуется определить элементы залегания пласта в скважине *S* (рис. 4.6). Определить направление линии падения с помощью изогипс (как направление нормали к ним) трудно, т. к. она расположена в замке достаточно сложной складчатой структуры. Для определения направления и угла падения через точку пластоподсечения *S* проводятся две линии диагональных разрезов 1-5 и 6-9. Если построить по этим линиям разрезы, то с их помощью можно определить значения углов падения в их плоскости, а затем, зная дирекционные углы направлений линий этих разрезов, определить по формулам 2.10 и 2.11 истинные элементы залегания пласта. Для обеспечения необходимой точности вычислений по формулам линии разрезов не должны быть ориентированы вдоль линии простираения пласта.

Построение разрезов проще всего произвести с помощью программы «OMR». Для этого (например, по линии 6-9) намечаются точки пересечения линии разреза с не менее чем тремя известными изогипсами (точки 6, 7, 8 и 9). Желательно, чтобы точки были расположены по обе стороны от рассматриваемого пластоподсечения. Одна из крайних то-

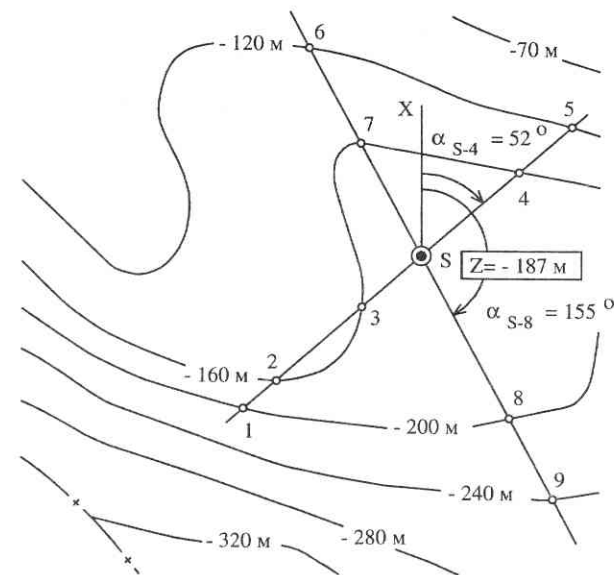


Рис. 4.6. Использование программы «OMR» для определения элементов залегания пласта в скважине (пласт Андреевский)

чек разреза (пусть это будет точка 6) принимается за первую и измеряются расстояния от нее до всех точек разреза. В результате будет получена таблица исходных данных (табл. 4.1), обеспечивающая работу программы «OMR».

В результате обработки каждого разреза будет получено значение угла падения пласта в скважине *S* в его плоскости. Например, в тексте заключения по результатам обработки данных табл. 4.1 будет находиться строка: «...вероятные значения углов падения почвы пласта в точках подсечений: ... — скважина *S* — 4° (падение в сторону скважины 8) ...». Обработка направления 1-5 приводит к получению угла падения в его плоскости, равного 3°. Таким образом, после производства расчетов устанавливается, что по направлению с дирекционным углом 52° (линия 1-5) пласт имеет угол падения 3°, а по направлению 155° (линия 6-9) — 4°. Проведя вычисления по формулам 3.10 и 3.11 (для чего можно воспользоваться одним из сервисных режимов программы «DRU»), получим дирекционный угол направления падения пласта в скважине *S* 110° и угол его падения 8°.

Таблица 4.1

Исходные данные для определения угла падения пласта в скважине S
в плоскости сечения 6-9

Номер точки	Расстояние от первой точки, м	Высотная отметка, м
6	0	-120
7	243	-160
S	528	-187
8	951	-200
9	1160	-240

Аналогичным образом для контроля производится расчет углов падения по установленному направлению падения (полученный результат — 9°) и простирания пласта (полученный результат — 1°). Расхождение в 1° между двумя вариантами величин углов падения и отклонение угла падения по линии простирания от 0° не имеют никакого практического значения. Более существенные расхождения в углах свидетельствуют о неудачно выбранном положении начальных линий разрезов. В этом случае следует полностью повторить все вычисления по вновь намеченным линиям, близким по своей ориентировке к первоначально полученной линии падения (отличающиеся от нее на $\pm 10-15^\circ$). Для рассматриваемого примера ими могли бы быть направления с дирекционными углами 125° и 95° .

5. МЕТОД КОМБИНАТОРНЫХ РАЗРЕЖЕНИЙ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИЗНАКА ПО МАЛОМУ ЧИСЛУ ИЗМЕРЕНИЙ

Изложенный ниже оператор преобразования обеспечивает выполнение оценки точности среднего значения признака в пределах заданного контура (например, подсчетного блока, элемента блочной геометрической модели) и выделение ураганных проб [57; 59]. В настоящее время имеется положительный практический опыт его применения при выполнении горно-геометрических, геоинформационных, геологоразведочных, научно-исследовательских и экспертно-инвестиционных работ в условиях россыпных месторождений золота, угольных месторождений (в части оценок значений мощности пластов, зольности угля и содержания в нем редкоземельных элементов), месторождений кварцевого песка.

Сущность метода состоит в следующем. Пусть имеется n_f измерений признака в некотором контуре (практически метод применялся при значениях n_f от 5 до 243). Естественно, что имеющееся число измерений было достигнуто постепенно и по мере его увеличения точность оценки среднего значения объективно возрастала. Попытаемся промоделировать этот процесс (рис. 5.1), предварительно рассчитав среднее арифметическое значение признака с использованием всех произведенных измерений (C — горизонтальная пунктирная линия на рис. 5.1).

Предположим, что в нашем распоряжении находится всего лишь один замер из числа реально существующих. Тогда возникнет n_f вариантов значений среднего (назовем их частными средними и обозначим как C_k). Диапазон их возможных значений, соответствующий в данном случае размаху признака, изображен на рис. 5.1 над цифрой 1 на шкале числа наблюдений n . Далее предположим, что в нашем распоряжении имеется уже не один, а два, три, четыре, ..., k и т. д. (до $n_f - 1$) замеров. Понятно, что по мере возрастания k диапазон изменения частных средних будет уменьшаться (рис. 5.1), а их количество для каждого k составит $N = n_f! / (k(n_f - k)!)$ (где $!$ — знак факториала). Далее для каждого варианта числа использованных измерений k можно вычислить среднеквадратическое отклонение S частных средних значений C_k от генерального среднего C

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (c_{ri} - c)^2}{N}} \quad (5.1)$$

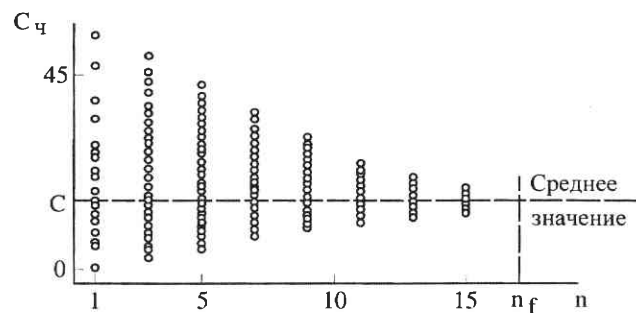


Рис. 5.1. Метод комбинаторных разрежений

и построить зависимость значений S от k (рис. 5.2). Соблюдая имеющую место тенденцию изменения функции $S = F(k)$ (тонкая экстраполяция линия на рис. 5.2,а), можно определить ожидаемое значение отклонения S и для фактически выполненного числа наблюдений n_p , т. е. определить величину m , непосредственно связанную с погрешностями полученного генерального среднего значения C .

Экспериментально установлено, что характер функции $S = F(k)$ существенно различен для массивов данных, не содержащих (рис. 5.2,а) и содержащих (рис. 5.2,б) ураганные замеры. Для того чтобы более четко определить характер рассматриваемой функции, необходимо осуществлять построение ее полувариограммы.

Для массивов данных, не обладающих ураганными замерами, линейные модели полувариограмм имеют вид, типичный для признаков с отличной и умеренной непрерывностью (рис. 5.3,а), а для обладающих — типичный для «эффекта самородков» (рис. 5.3,б). Практически выделение и ограничение ураганных замеров осуществляется следующим образом. Если тип линейной модели полувариограммы относится к виду 5.3,б, то производится замена наибольшего значения на ближайшее к нему и расчеты повторяются до тех пор, пока не будет получена полувариограмма вида 5.3,а.

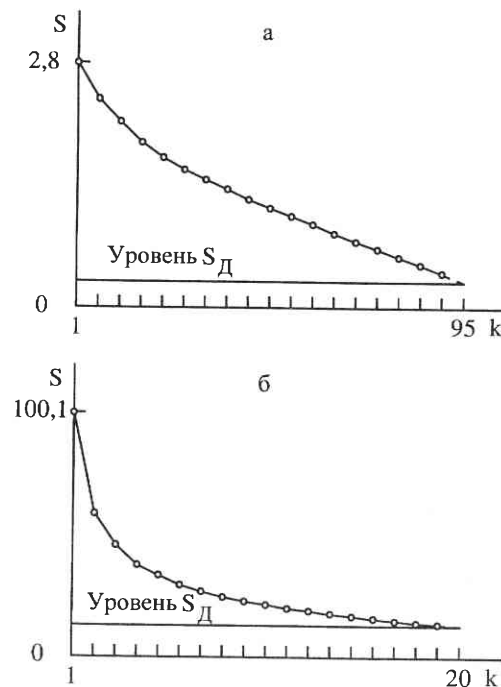


Рис. 5.2. Вид функции $S = F(k)$ для массивов данных, не содержащих (а) и содержащих (б) ураганные замеры (на примере расчета средних содержаний урана (а) и рубидия (б) в углях Горловского бассейна Новосибирской области)

Оценка работоспособности предлагаемого метода произведена по методике [19], разработанной в секторе методики разведки ВИМС под руководством проф. В. А. Петрова, на основе материалов разведки россыпного месторождения золота, опробованного по сети 5×5 м и последующего многовариантного разрежения этой сети. В исследованиях [19] в качестве интегральных показателей качества методов выделения и ограничения ураганных проб приняты отношение числа случаев эффективной работы метода к дефектной и процент случаев пропуска исходных положительных погрешностей (более 20 %). Для признанного в работе [19] наилучшим упрощенного метода П. Л. Каллистова эти показатели соответственно равны 1,0 и 33 %. Предлагаемый метод показал (при общем числе вариантов разрежения 164 и числе измерений в варианте, равном 18) более хорошие результаты — 3,9 и 28 %.

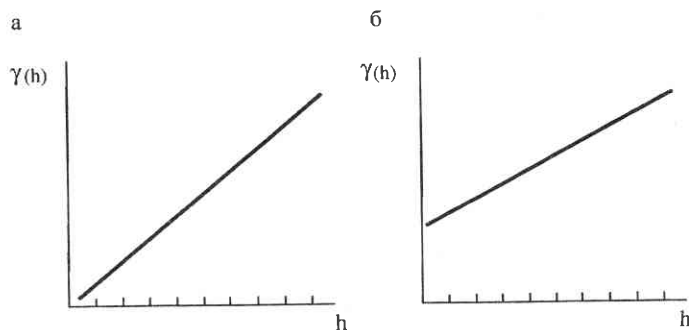


Рис. 5.3. Линейные модели полувариограмм графиков $S = F(k)$, помещенных на рис. 5.2

Вероятность обнаружения ураганных замеров с помощью рассматриваемого метода достаточно высока и составляет 85 %.

Следует обратить внимание на характер функции $S = F(k)$. Главной ее особенностью является то, что она асимптотически приближается к своему нулевому значению. Однако, исходя из общего характера функции, значение S в точке, соответствующей фактическому количеству выполненных наблюдений (95 для рис. 5.2,а и 20 для рис. 5.2,б), не равно нулю и составляет величину S_d .

Экспериментально установлено, что истинная погрешность рассчитанного среднего значения признака Π статистически связана с уровнем S_d (см., например, рис. 5.4) и не превышает величины $K_{\Pi} S_d$.

Значение коэффициента пропорциональности K_{Π} зависит как от требуемого уровня достоверности оценки P , так и от количества использованных измерений N . На основании анализа материалов угольных и россыпных месторождений можно рекомендовать следующий порядок определения коэффициента K_{Π} :

при $5 \leq N \leq 40$:

$$\text{— для } P = 0,67 \quad K_{\Pi} = 4,18 - 0,156 \cdot N + 0,002 \cdot N^2, \quad (5.2)$$

$$\text{— для } P = 0,80 \quad K_{\Pi} = 5,28 - 0,207 \cdot N + 0,003 \cdot N^2; \quad (5.3)$$

при $N > 40$:

$$\text{— для } P = 0,67 \quad K_{\Pi} = 1,2, \quad (5.4)$$

$$\text{— для } P = 0,80 \quad K_{\Pi} = 1,5. \quad (5.5)$$

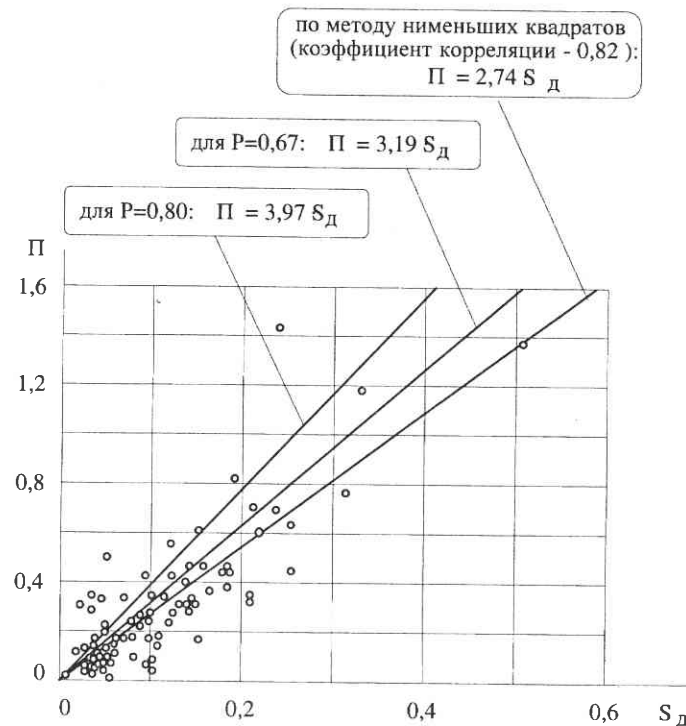


Рис. 5.4. Экспериментальная зависимость между фактическими погрешностями (Π) средних значений мощности пласта в геологических блоках (при их расчете по 5–10 исходным определениям, в среднем по 7) и характеристикой S_d

Для расчетов по предлагаемой методике разработана специальная компьютерная программа для персональной ЭВМ, реализующая некоторые специальные приемы, позволяющие уменьшить число рассчитываемых комбинаций замеров, и обеспечивающая получение на экране и на бумажных носителях всей необходимой цифровой и графической документации.

Применение метода достаточно разнообразно. В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Для обеспечения одного из городов Кузбасса местным углем поступило предложение об организации небольшого угольного разреза по отработке пласта А...I. В пределах участка (рис. 5.5) нормальная мощность пласта изменяется в очень широких

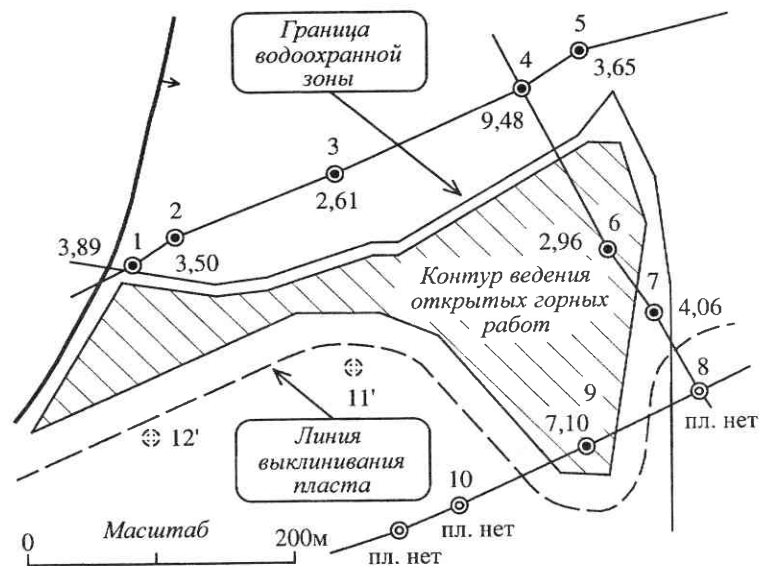


Рис. 5.5. Фрагмент плана участка ведения открытых горных работ

пределах от 0 (отсутствие пласта) до 9,5 м. При расчете ожидаемых технико-экономических показателей отработки участка инициатором предложения мощность пласта была принята равной 4,4 м (линия выклинивания оценивалась как линия обреза).

В ходе экспертизы характер выклинивания был изменен и принята более распространенная схема постепенного утонения пласта. Поэтому при расчетах не только были использованы данные по замеру № 10, но и было введено два дополнительных фиктивных замера 10' и 11'.

В результате средняя мощность пласта по участку составила 3,4 м. Параметр S_d (рис. 5.6, б) составляет 0,47 м, коэффициент K_{np} при уровне вероятности 0,67: $K_{np} = 4,18 - 0,156 \cdot N + 0,002 \cdot N^2 = 2,71$ и ожидаемая погрешность среднего $\Pi = 0,47 \cdot 2,71 = 1,3$ м. Такая значительная погрешность среднего значения мощности может привести к существенным изменениям в технико-экономических показателях работы предприятия.

В ходе проведенного анализа было также установлено, что данные не содержат аномальных замеров (рис. 5.7).

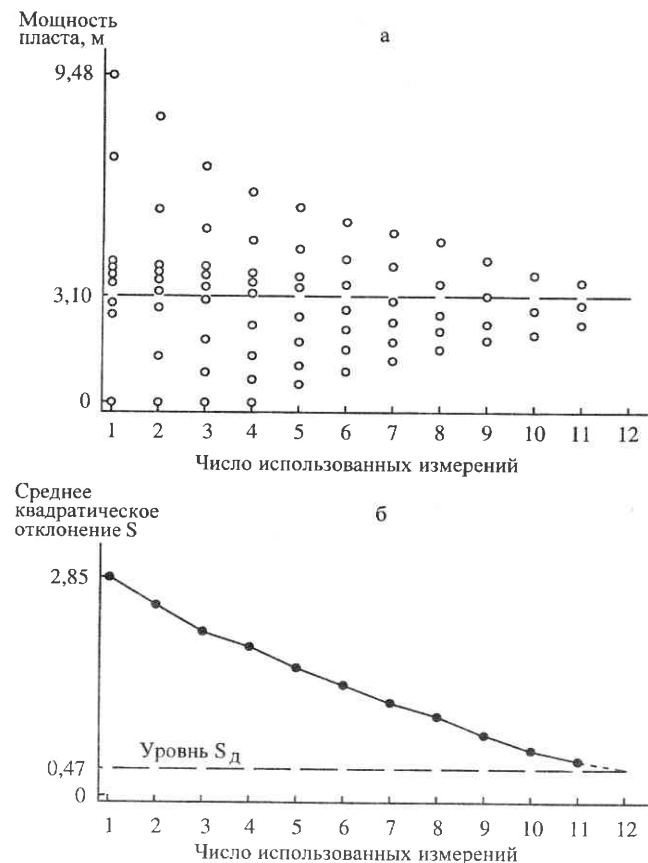


Рис. 5.6. Результаты оценки точности среднего значения мощности пласта

Таким образом, при пессимистической оценке ситуации общие промышленные запасы угля могут, с учетом точности построения линии выклинивания, уменьшиться с 370 до 100 тыс. т, а ожидаемый коэффициент вскрыши возрасти с 4,5 до 15 м³/т. Поскольку подобные изменения не могут рассматриваться как приемлемые, необходимо проведение дополнительных геологоразведочных работ. Отметим, что выполненная после проведения экспертизы доразведка подтвердила основные полученные выводы: промышленные запасы участка составили всего 124 тыс. т.

Рассмотренная методика может применяться не только на ранних стадиях разведки, но и на ее заключительных стадиях для оценки погрешностей определения содержаний токсичных и полезных компонентов, состава золы, элементного состава угля и т. д.

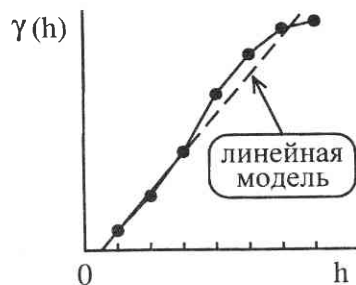


Рис. 5.7. Линейная модель полувариограммы графика $S = F(k)$

6. ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА УРОВНЯ ГОРНОГО РИСКА

Использование описанных выше подходов обеспечивает детальную экспертизу геологических материалов, но требует высокого уровня специфической профессиональной подготовки специалиста-эксперта и существенных трудозатрат. Вместе с тем, несмотря на отмеченную ранее высокую субъективность категоризации запасов, ее результаты могут быть (в рамках действия закона больших чисел) использованы для обобщающих оценок шахтных полей в целом, но без дифференциации по их горизонтам, крыльям и т. п., т. е. на ранних стадиях принятия инвестиционных решений.

В качестве наиболее значимого фактора риска инвестиций при организации добычи угля следует рассматривать объем возможных списаний и неподтверждений запасов, вызванный недостаточной достоверностью результатов разведки. Вторым фактором, играющим существенное значение лишь для условий ведения подземных горных работ, является и полнота выявления дизъюнктивной нарушенности.

Степень влияния первого фактора может быть количественно оценена на основании существующей устойчивой взаимосвязи (рис. 6.1) между приведенной долей промышленных запасов в общих балансовых запасах предприятия ($ДР$) и производительностью труда ($П_p$):

$$П_p = 0,82 \cdot ДР, \% \quad (6.1)$$

где для шахт: $ДР = 100 \frac{ПЗ}{БЗ}, \%$

для разрезов: $ДР = 100 \frac{ПЗ(2,9 - 0,16 \cdot K)}{БЗ}, \%$

$ПЗ$ — промышленные запасы;

$БЗ$ — балансовые запасы;

K — текущий коэффициент вскрыши, м³/т.

Таким образом, изменение объема промышленных запасов участка отработки за счет появления не учтенных проектом нецелесообразных к отработке запасов приведет к следующему относительному снижению производительности труда:

$$K_{нец} = \frac{ДР - ДР_{нец}}{ДР}, \quad (6.2)$$

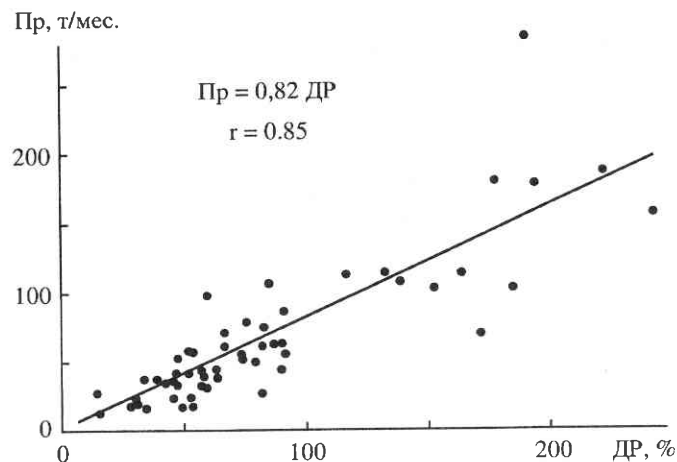


Рис 6.1. Зависимость производительности труда на шахтах и разрезах Кузбасса от приведенной доли промышленных запасов

где $ДР_{нец}$ — приведенная доля промышленных запасов, рассчитанная с учетом не учтенных проектом нецелесообразных к отработке запасов (НЗ).

Отсюда как для шахт, так и для разрезов:

$$Пр_{ож} = Пр_{пр} \frac{ПЗ - НЗ}{ПЗ} = Пр_{пр} \cdot K_1, \quad (6.3)$$

где $Пр_{ож}$ — ожидаемая, с учетом горного риска, производительность труда по предприятию;

$Пр_{пр}$ — проектная производительность труда по предприятию.

По ранее упомянутым исследованиям ВНИМИ [32], рост интенсивности проявления дизъюнктивной тектоники приводит на комплексно-механизированных шахтах к относительному снижению производительности труда на величину $Пр_0$, рассчитываемую по значению коэффициента А. С. Забродина K_d по формулам 2.53, 2.54, 2.57, 2.58 или 2.60, которую в дальнейшем обозначим как $Пр_0(K_d)$.

Для шахт, ориентируемых на добычу угля с помощью иных средств механизации, таких как короткозабойное оборудование, влияние тек-

тонической нарушенности примерно на 30 % меньше, разумеется, при более высоком уровне эксплуатационных потерь.

Таким образом, для угольных шахт по фактору тектонической нарушенности можно записать:

$$Пр_{ож} = Пр_{пр} \frac{Пр_0(N \cdot K_d)}{Пр_0(K_d)} = Пр_{пр} \cdot K_2, \quad (6.4)$$

где N — отношение фактически имеющей место интенсивности развития дизъюнктивной нарушенности к ее наблюдаемому, по данным геологоразведочных работ, значению (K_d).

Таким образом, в качестве показателей горного риска могут быть использованы значения коэффициентов K_1 и K_2 как характеристик вероятной степени неподтверждения проектных технико-экономических показателей работы предприятия в результате действия форс-мажорных обстоятельств геологического характера.

Собственно экспресс-оценку горного риска можно выполнять путем отнесения объекта к одной из трех групп риска: с незначимым, со средним и с повышенным инвестиционным риском недропользования.

К первой группе могут быть отнесены объекты, для которых не ожидается выход погрешности проектной производительности труда за пределы ее стандартной точности на стадии проектирования, т.е. за 10 %.

Ко второй группе следует отнести объекты, для которых погрешность производительности не превышает величину, слагающуюся (в соответствии с правилами теории ошибок) из погрешности проектирования (10 %) и минимальной величины рентабельности (15 %), т.е. равной $(10^2 + 15^2)^{1/2} \approx 20$ %. Правомерность суммирования погрешностей столь различных величин обусловлена существованием тесной корреляции между производительностью труда и себестоимостью продукции. При таком подходе объекты данной группы будут иметь «запас прочности» проектных решений, обеспечивающий, хотя и незначительную, но положительную рентабельность.

К третьей группе риска могут относиться остальные объекты.

На основании вышесказанного оценка риска недропользования может производиться в соответствии с предлагаемой таблицей решений (табл. 6.1).

Практическое определение значений K_1 и K_2 может быть осуществлено с использованием формулы 2.97 и формулы, приведенной на рис. 2.60.

Таблица 6.1

Таблица решений по отнесению объекта к группе риска недропользования

Группа риска	Шахты	Разрезы
Незначимый	$1 - [(1 - K_1)^2 + (1 - K_2)^2]^{1/2} \geq 0,9$	$K_1 \geq 0,9$
Средний	$0,90 > 1 - [(1 - K_1)^2 + (1 - K_2)^2]^{1/2} \geq 0,8$	$0,9 > K_1 \geq 0,8$
Повышенный	$1 - [(1 - K_1)^2 + (1 - K_2)^2]^{1/2} < 0,8$	$K_1 < 0,8$

Однако для использования формул 6.3 и 6.4 требуется предварительное выполнение большого объема ранее описанных расчетных работ по определению значений лямбда- и дельта-критериев разведанности, оценивающих степень неоднозначности геометрических моделей месторождения.

В связи с этим на основании расчетов критериев разведанности по 1170 утвержденным подсчетным блокам предприятий Кузбасса были установлены их наивероятнейшие значения для различных категорий запасов (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Наивероятнейшие значения критериев разведанности для различных категорий запасов угольных месторождений Кузбасса

Критерий	Категории запасов		
	A	B	C ₁
Ламбда, м	3	9	15
Дельта, %	3,5	7,8	13

Учитывая рекомендуемые плотности разведочных сетей для различных категорий запасов, на основании формул и материалов табл. 6.2 можно определить расчетные объемы списаний и неподтверждений для месторождений различных групп сложности (табл. 6.3), а также соответствующий им уровень систематического занижения интенсивности проявления дизъюнктивной нарушенности в ходе геологоразведочных работ (табл. 6.4).

Рассмотрим практическое применение предложенного подхода оценки горного риска на примере конкретных объектов.

Разрез «Майский». Относится к I группе геологической сложности и располагает 15754 тыс. т балансовых запасов, 20 % которых относятся к категории A, 49 % — к категории B и 31 % — к категории C₁. Промышленные запасы участка оценены в 14966 тыс. т, и при их расчете нецеле-

Таблица 6.3

Расчетные объемы списаний и неподтверждений, %

Группа сложности геологического строения	Категории запасов		
	A	B	C ₁
Для комплексно-механизированных шахт			
I	6	13	15
II	9	17	22
III		21	30
Для прочих шахт			
I	4	9	11
II	6	12	15
III		15	21
Для разрезов			
I	3	6	7
II	3	9	11
III		11	15

Таблица 6.4

Ожидаемый уровень систематического занижения интенсивности проявления дизъюнктивной нарушенности в ходе геологоразведочных работ

Группа сложности геологического строения	Категории запасов		
	A	B	C ₁
I	1,1	2	2,9
II	1,6	2,8	3,8
III		3,6	4,6

сообразные к отработке запасы не определялись. Тогда на основании табл. 6.2 ожидаемая доля списаний и неподтверждений запасов (определенная как средневесовая по категориям запасов) составляет $0,20 \cdot 3 + 0,49 \cdot 6 + 0,31 \cdot 7 = 5,7$ %. По отношению к балансовым запасам она равна $5,7 \cdot 15754 / 100 \% = 898$ тыс. т. Тогда коэффициент $K_1 = (14966 - 898) / 14966 = 0,94$. Таким образом, в соответствии с табл. 6.1 разрез «Майский» следует отнести к предприятию с незначимым риском недропользования.

Шахта «Дальние горы» (западная прирезка). Относится ко II группе геологической сложности. Оцененная по геологоразведочным работам

интенсивность развития разрывных нарушений составляет 22 м/га. Из 29733 тыс. т балансовых запасов, находящихся вне постоянных целиков, к промышленным запасам отнесено 23094 тыс. т (причем при расчете промышленных запасов 965 тыс. т уже оценены как запасы, предназначенные к последующему списанию). К категории В относятся 57 %, а к категории C_1 — 43 % запасов. На основании табл. 6.2 ожидаемая доля списаний и неподтверждений балансовых запасов составляет $0,57 \cdot 17 + 0,43 \cdot 22 = 19,2$ %, или в абсолютном выражении: $19,2 \cdot 29733 / 100 \% = 5709$ тыс. т. Из этого количества 965 тыс. т уже учтены при расчете промышленных запасов и ожидаемый объем списаний и неподтверждений составляет: $5709 - 965 = 4744$ тыс. тонн. Тогда коэффициент $K_1 = (23094 - 4744) / 23094 = 0,79$.

В соответствии с табл. 6.3 ожидаемый средневзвешенный по категориям запасов уровень систематического занижения интенсивности проявления дизъюнктивной нарушенности N в ходе геологоразведочных работ составляет $0,57 \cdot 2,8 + 0,43 \cdot 3,8 = 3,2$. Тогда по формуле 2.60 исходные данные к расчету к формуле 6.4 равны: $K_{np}(N \cdot K_d) = 1 - 0,00263(3,2 \cdot 22) + 0,000004(3,2 \cdot 22)^2 = 0,81$ и $K_{np}(K_d) = 1 - 0,00263 \cdot 22 + 0,000004 \cdot 22 = 0,94$. Следовательно, оцениваемая по формуле 6.4 величина коэффициента $K_2 = 0,81/0,94 = 0,86$. Классификационное значение $1 - [(1 - K_1)^2 + (1 - K_2)^2]^{1/2}$ равно $1 - [(1 - 0,79)^2 + (1 - 0,86)^2]^{1/2} = 0,75$. Таким образом, в соответствии с табл. 6.1 шахта «Дальние горы» является предприятием с повышенным риском недропользования.

Качество оценки уровня горного риска описанным экспресс-методом может быть существенно повышено за счет фрагментарного применения детального подхода. С его помощью для оцениваемого объекта могут быть уточнены характерные для него значения лямбда- и дельта-критериев разведанности для различных категорий запасов, которые впоследствии используются вместо обобщенных данных табл. 6.2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом рассмотрения достоверности моделей являются картограммы достоверности изучения признаков, включаемых, дополненных прогнозными моделями положения разрывных нарушений, ожидаемых объемов списаний и неподтверждения запасов, точности средних значений мощности и показателей качества по выемочным единицам, подсчетным блокам и т. д. При использовании полученных данных в ходе планирования и проектирования рекомендуется сопровождать их специализированным экспертным заключением. Текст заключения обычно состоит из трех основных частей: общей характеристики объекта исследования, собственно результатов исследования, обобщающих выводов и приложений.

Объем и детальность изложения вопросов первой части и даже сама необходимость ее написания зависят как от подготовленности заказчика экспертизы, так и от наличия у него специальной документации. Полученные в ходе экспертизы результаты компьютерных расчетов не рекомендуется включать в текст заключения, а оформлять в виде приложений. Практика работы показывает, что заказчика экспертизы они, как правило, не интересуют и поэтому необходимость оформления и официальной передачи ему тома приложений целесообразно оговорить заранее.

Следует также обратить внимание на одно немаловажное обстоятельство. В работе приведено достаточно много статистических зависимостей, полученных на основе обобщения данных преимущественно по Кузнецкому угольному бассейну. Однако в случае специализации эксперта на работе в определенном районе или на отдельном предприятии целесообразно, используя изложенную методику изучения взаимосвязей, провести уточнение числовых параметров на материалах интересующих объектов. Разработка адаптированной методики позволяет не только повысить качество экспертизы, но и обеспечить усиление профессиональных позиций эксперта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг и др. — М.: Мир, 1970. — 316 с.
2. Баловнев В. П. Состояние минерально-сырьевой базы угольной промышленности Кузбасса / В. П. Баловнев, С. В. Шаклеин, В. О. Ярков // Горная промышленность. — 2000. — № 2. — С. 2–5.
3. Бишарян С. Г. Уточнение контуров балансовых запасов на стадии детальной разведки / С. Г. Бишарян // Разведка и охрана недр. — 1986. — № 5. — С. 20–22.
4. Боев А. И. О точности сплайн-интерполяции отметок угольного пласта в межскважинном пространстве: Математические методы исследования в геологии / А. И. Боев, С. М. Григорьев, С. В. Шаклеин // Экспресс-информация / ВИЭМС. — 1980. — Вып. 6. — С. 12–13.
5. Букринский В. А. Геометрия недр / В. А. Букринский. — М.: Недра, 1985. — 526 с.
6. Буцик Ю. В. О статье Г. М. Костоманова «О погрешностях при определении мощности угля в скважине» / Ю. В. Буцик // Разведка и охрана недр. — 1957. — № 12. — С. 60.
7. Буянов Ю. Д. Нормативно-правовые вопросы использования минерального сырья при производстве строительных материалов / Ю. Д. Буянов, М. И. Лопатников // Строительные материалы. — 1994. — № 6. — С. 2–4.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
9. Вилесов Г. И. Элементы математической статистики в приложении к решению задач горного дела / Г. И. Вилесов; Свердловский горный институт. — Свердловск, 1970. — 68 с.
10. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Кн. 1. — М.: Мир, 1984. — 350 с.
11. Громыко Г. А. Статистика / Г. А. Громыко; Московский государственный университет. — М., 1976. — 334 с.
12. Девис П. Суперсила: пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 272 с.
13. Длин А. М. Математическая статистика в технике / А. М. Длин. — М.: Советская наука, 1958. — 466 с.
14. Добкин И. И. О точности получения координат точки пересечения разведочной скважины с пластом при разведке угля / И. И. Добкин, Ю. И. Рябов // Сборник научных трудов / ВНИМИ. — 1960. — Вып. 35. — С. 24–40.
15. Докиенко В. И. Оценка точности данных разведочного бурения и каротажа / В. И. Докиенко // Тезисы докладов 11-й Луганской научно-технической конференции. — Луганск, 1969. — С. 166–167.
16. Жингель И. П. Метод выявления зон тектонической нарушенности на угольных месторождениях Кузбасса / И. П. Жингель // Разведка и охрана недр. — 1985. — № 8. — С. 26–28.

17. Журбицкий Б. И. О точности структурных построений по результатам бурения в Донбассе / Б. И. Журбицкий, А. А. Погосов // Разведка и охрана недр. — 1974. — № 2. — С. 16–19.
18. Забродин А. С. Количественная оценка степени дизъюнктивной нарушенности разрабатываемых угольных пластов / А. С. Забродин // Сборник научных трудов / Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. — 1970. — № 80. — С. 92–109.
19. Иванов М. П. Ураганные пробы и последствия их ограничения / М. П. Иванов, В. А. Петров // Геологические методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых: обзор / ВИЭМС. — М., 1980. — 41 с.
20. Ильман В. М. Алгоритмы триангуляции плоских областей по нерегулярным сетям точек: Алгоритмы и программы: экспресс-информация / В. М. Ильман // ВИЭМС. — 1985. — Вып. 10. — С. 3–35.
21. Инструкция по применению Классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев. — М., 1983. — 47 с. (Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР).
22. Каждан А. Б. Количественные критерии оценки степени разведанности железорудных месторождений / А. Б. Каждан, Н. Ф. Алексеев // Известия вузов. Геология и разведка. — 1976. — № 5. — С. 163–171.
23. Костоманов Г. М. О погрешностях при определении мощности угля в скважине // Разведка и охрана недр. — 1956. — № 8. — С. 30–33.
24. Кумэ Х. Статистические методы повышения качества / Х. Кумэ. — М.: Финансы и статистика, 1990. — 304 с.
25. Малышев Ю. Н. Современные подходы к рентабельному освоению угольных месторождений / Ю. Н. Малышев // Уголь. — 2000. — № 3. — С. 37–42.
26. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. — М.: Физматиздат, 1961. — 479 с.
27. Новиков Ю. К. Оценка точности измерений мощности угольных пластов с помощью каротажа / Ю. К. Новиков, С. В. Шаклеин // Разведка и охрана недр. — 1983. — № 6. — С. 46–47.
28. Новиков Ю. К. Метод и результаты оценки точности определения зольности угольных пластов Кузбасса кернавым и геофизическими методами / Ю. К. Новиков, С. В. Шаклеин // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр: научно-технический информационный сборник / ВИЭМС. — 1990. — Вып. 9. — С. 61–64.
29. Орлов А. И. К вопросу выявления систематической составляющей в разностях двойных измерений / А. И. Орлов // Труды Московского института инженеров землеустройства. — 1975. — Т. 75. — С. 123–129.
30. Осецкий А. И. Показатель соответствия густоты разведочных точек характеру разведываемой залежи / А. И. Осецкий // Сб. науч. тр. / ВНИМИ. — 1956. — № 30. — С. 146–153.

31. Папазов М. Г. Теория ошибок и способ наименьших квадратов / М. Г. Папазов, С. Г. Могильный. — М.: Недра, 1968. — 302 с.
32. Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии) / И. С. Гарбер, В. Е. Григорьев, Ю. Н. Дупак и др. — Л.: Недра, 1979. — 190 с.
33. Рогова Т. Б. Представления работников шахт Кузбасса о допустимых погрешностях геометрических моделей формы и структуры угольного пласта / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Маркшейдерский вестник. — 1995. — № 1. — С. 38.
34. Рогова Т. Б. Создание горно-графической модели гипсометрии угольных пластов крутого залегания на основе построения изофронталей / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Сборник научных трудов / Научно-технический центр «Кузбассуглетехнология». — 1997. — № 11. — С. 28–31.
35. Соболевский П. К. Современная горная геометрия / П. К. Соболевский // Социалистическая реконструкция и наука. — 1932. — № 7. — С. 42–78.
36. Стадийность геологоразведочных работ и классификация запасов на угольных месторождениях в условиях перехода к рыночным отношениям / А. Г. Портнов, А. Е. Виницкий, А. В. Внуков, Л. Д. Богачева // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья: обзор / АОЗТ «Геоинформмарк». — М., 1996. — 53 с.
37. Трубецкой К. Н. Метод и результаты исследований оптимизации стратегии освоения месторождений / К. Н. Трубецкой, А. А. Пешков, Н. А. Мацко // Горный вестник. — 1996. — № 4. — С. 3–10.
38. Турчинский В. Ф. Геометрия съемки тел залегания в связи с принципом наименьших работ / В. Ф. Турчинский // Труды I Всесоюзного горного научно-технического съезда. — 1927. — Т. VII. — С. 76–91.
39. Четвериков Л. И. Залежь полезного ископаемого (особенности формы и внутреннего строения) / Л. И. Четвериков // Геометризация месторождений полезных ископаемых. — М., 1977. — С. 71–123.
40. Шаклеин С. В. Оценка достоверности разведанных запасов угля / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. — 1977. — № 10. — С. 46–47.
41. Шаклеин С. В. Об определении технических ошибок измерения мощности пласта / С. В. Шаклеин // Уголь Украины. — 1979. — № 3. — С. 39–40.
42. Шаклеин С. В. Уравнивание сети замеров мощности на угольных месторождениях / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. — 1979. — № 4. — С. 39–40.
43. Шаклеин С. В. Выявление систематических ошибок в многократных неравноточных рядах измерений / С. В. Шаклеин // Заводская лаборатория. — 1979. — № 5. — С. 422.
44. Шаклеин С. В. Применение уравнивания для выделения и органичения ураганных проб / С. В. Шаклеин // Колыма. — 1984. — № 8. — С. 34–36.
45. Шаклеин С. В. Прогнозирование роста достоверности запасов угля в результате сгущения разведочной сети: Геология, методы поисков и разведки месторож-

- дений твердых горючих ископаемых: отечественный производственный опыт: экспресс-информация / С. В. Шаклеин // ВИЭМС. — 1986. — Вып. 1. — С. 5–8.
46. Шаклеин С. В. Оценка точности определения координат плаstopодсечений / С. В. Шаклеин // Совершенствование технологии маркшейдерских работ и методов прогноза геологической обстановки: межвуз. сборник научных трудов / Кузбасский политех. ин-т. — Кемерово, 1986. — С. 47–50.
47. Шаклеин С. В. Выбор величины сечения изолиний и оценка правомерности интерполяции / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. — 1986. — № 10. — С. 24–26.
48. Шаклеин С. В. Выбор величины интервала гистограммы при изучении распределения признаков / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. — 1989. — № 11. — С. 28–30.
49. Шаклеин С. В. Построение гипсометрических планов угольных пластов: учебное пособие / С. В. Шаклеин; Кузбасский политехнический институт. — Кемерово, 1992. — 58 с.
50. Шаклеин С. В. Новый метод обработки данных инклинометрической съемки скважин / С. В. Шаклеин // Разведка и охрана недр. — 1992. — № 10. — С. 16–17.
51. Шаклеин С. В. К совершенствованию взаимоотношений геологоразведочных и горнодобывающих предприятий / С. В. Шаклеин // Строительные материалы. — 1995. — № 1. — С. 30–31.
52. Шаклеин С. В. Практические вопросы геометризации мощности и основных показателей качества угольных пластов: учебное пособие / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Кузбасский государственный технический университет. — Кемерово, 1997. — 60 с.
53. Шаклеин С. В. Предрасчет погрешности планового положения изолинии признака / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Уголь. — 1997. — № 11. — С. 53–54.
54. Шаклеин С. В. Прогнозирование объемов списания запасов угля из-за неподтверждения и нерентабельности извлечения / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Маркшейдерский вестник. — 1998. — № 1. — С. 31–33.
55. Шаклеин С. В. Оценка достоверности изучения интенсивности дизъюнктивной нарушенности угольных пластов и ее учет в ходе принятия инвестиционных решений / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых: сб. научных трудов № 13 / Научно-технический центр «Кузбассуглетехнология». — Кемерово, 1998. — С. 82–85.
56. Шаклеин С. В. Оценка достоверности прогноза дизъюнктивных нарушений угольных пластов / С. В. Шаклеин, И. П. Башков // Горный вестник. — 1999. — № 6. — С. 136–138.
57. Шаклеин С. В. Маркшейдерские работы по обеспечению инвестиционной деятельности в горной промышленности / С. В. Шаклеин // Маркшейдерский вестник. — 1999. — № 2. — С. 15–17.

58. Шаклеин С. В. Метод комбинаторных разрежений для выделения ураганных проб / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Разведка и охрана недр. — 1999. — № 4. — С. 22–23.

59. Шаклеин С. В. Определение размеров лицензионных объемов добычи угля с учетом достоверности геологоразведочных данных / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова // Маркшейдерский вестник. — 2001. — № 4. — С. 30–34.

60. Шаклеин С. В. Актуальные проблемы геоинформационного обеспечения развития минерально-сырьевой базы угольной отрасли Кузбасса / С. В. Шаклеин // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: сб. науч. трудов Международной научно-технической конференции. — Томск, 2001. — С. 145–148.

61. Шаклеин С. В. Оценка достоверности геологической информации в целях повышения эффективности применения геоинформационных технологий в геологии и горном деле // Перспективы использования геоинформационных технологий для безопасной отработки месторождений полезных ископаемых / С. В. Шаклеин // Международная научно-практическая конференция: сб. науч. трудов. — СПб.: ВНИМИ, 2001. — С. 124–133.

62. Шаклеин С. В. Практические методы оценки достоверности геологической информации для использования в ГИС угольной отрасли / С. В. Шаклеин // Горная промышленность. — 2001. — № 2. — С. 26–30.

63. Шаклеин С. В. Оценка достоверности контурных и блочных моделей месторождений, используемых в ГИС горного и геологического профиля / С. В. Шаклеин // Форум ГИС'2001: тез. докл. — М.: ГИС-Ассоциация, 2001. — С. 97–98.

64. Эшли К. Дж. Сравнение традиционных и геостатистических методов оценки запасов на сложных угольных месторождениях / К. Дж. Эшли, У. Х. Гриффин, Дж. З. Р. Старгал // 17-й Международный симпозиум по применению ЭВМ и математических методов в горном деле: труды. — М., 1982. — Т. 2. — С. 29–32.

65. Юдович Я. Э. Геохимия ископаемых углей / Я. Э. Юдович. — Л.: Наука, 1978. — 262 с.

66. Ягубянец Т. А. Морфоструктурный анализ угольных залежей / Т. А. Ягубянец. — М.: Недра, 1988. — 126 с.

67. Journel A. G. Mining geostatistics / A. G. Journel, Ch. J. Huijbregts. — London; New York; San Francisco: Academic press, 1978. — 600 p.

68. Leonhardt J. Some results and problems of geostatistics in hard coal mining in the Federal republic of Germany / J. Leonhardt, W. Skala // Application of computers and mathematics in the mineral industries. — 1984. — P. 169–174.

69. Variogram models for regional ground water geochemical data / D. E. Myers, C. L. Bogovich, T. R. Butz, V. E. Kane // Mathematical Geology. — 1982. — Vol. 14, № 6. — P. 629–644.

70. Paladini Cuadrado-Angel. Un procedimiento para determinar la precision de las corvas de nivel // Bol. inform. Serv. georg. ejer. — 1977. — № 37. — P. 19–29.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	8
2. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ ЗАМЕРОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕ НА ОДНОЙ ПРЯМОЙ	11
2.1. Определение степени неоднозначности геометрической модели	11
2.2. Оценка неоднозначности модели гипсометрии угольного пласта (лямбда-критерий разведанности гипсометрии)	17
2.3. Сбор и обработка исходных данных для расчета лямбда-критериев разведанности гипсометрии пласта	23
2.4. Оценка рациональности принятого сечения изогипс	48
2.5. Оценка правомерности расчета лямбда-критериев разведанности.....	53
2.6. Требования к геометрической форме оценочного четырёхугольника сети замеров	64
2.7. Особенности оценки неоднозначности модели гипсометрии в условиях угольных пластов крутого падения.....	70
2.8. Проектирование сети дополнительных замеров, обеспечивающей заданную степень однозначности модели гипсометрии	80
2.9. Значения лямбда-критериев разведанности для различных категорий разведанности запасов	88
2.10. Влияние погрешностей измерений исходных данных на значения лямбда-критериев разведанности	93
2.11. Взаимосвязь лямбда-критериев разведанности и фактических погрешностей моделей гипсометрии пластов.....	102

2.12. Оценка достоверности изучения дизъюнктивной нарушенности угольных пластов	107
2.13. Оценка неоднозначности модели мощности и показателей качества угольного пласта (дельта-критерий разведанности	114
2.14. Взаимосвязь дельта-критериев разведанности и фактических погрешностей моделей мощности и показателей качества угля	123
2.15. Оценка точности планового положения изолиний и правомерности интерполирования между точками измерений мощностей и показателей качества угля	127
2.16. Влияние погрешностей измерений исходных данных на значения дельта-критериев разведанности	133
2.17. Оценка погрешности определения количества балансовых запасов по подсчетным геологическим блокам ...	151
3. УРАВНИВАНИЕ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	161
3.1. Понятие уравнивания	161
3.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей ...	165
3.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания	168
3.4. Выделение аномальных зон с помощью уравнивания	175
3.5. Уравнивание высотных отметок пласта.....	183
3.6. Прогнозирование местоположений и амплитуд дизъюнктивных нарушений	184
4. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ДАННЫМ СЕТИ ЗАМЕРОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ОДНОЙ ПРЯМОЙ ...	212
4.1. Принцип оценки неоднозначности модели	212

4.2. Определение степени неоднозначности и достоверности геометрической модели.....	213
5. МЕТОД КОМБИНАТОРНЫХ РАЗРЕЖЕНИЙ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИЗНАКА ПО МАЛОМУ ЧИСЛУ ИЗМЕРЕНИЙ.....	221
6. ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА УРОВНЯ ГОРНОГО РИСКА	229
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	236

Научное издание

Шаклеин Сергей Васильевич

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА
ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Редактор *С. А. Мазаева*

Технический редактор *В. И. Труханова*

Корректор *Т. В. Тулунова*

Компьютерная верстка *М. Ю. Кузнецова*

Подписано к печати 15.07.2005. Формат 60х84¹/₁₆.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Times New Roman». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 14,2. Тираж 500 экз. Заказ № 299а.

Издательство «Кузбассвуиздат».
650043, г. Кемерово, ул. Ермака, 7. Тел. 58-34-48.