

Тамара Рогова
Сергей Шаклеин

Достоверность запасов угольных месторождений

Количественная оценка и мониторинг

 **LAP**
LAMBERT
Academic Publishing

Impressum/Imprint (nur für Deutschland/only for Germany)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Coverbild: www.ingimage.com

Verlag: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG
Dudweiler Landstr. 99, 66123 Saarbrücken, Deutschland
Telefon +49 681 3720-310, Telefax +49 681 3720-3109
Email: info@lap-publishing.com

Herstellung in Deutschland:
Schaltungsdienst Lange o.H.G., Berlin
Books on Demand GmbH, Norderstedt
Reha GmbH, Saarbrücken
Amazon Distribution GmbH, Leipzig
ISBN: 978-3-8465-3446-5

Только для России и стран СНГ

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Изображение на обложке предоставлено: www.ingimage.com

Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG
Dudweiler Landstr. 99, 66123 Saarbrücken, Germany
Телефон +49 681 3720-310, Факс +49 681 3720-3109
Email: info@lap-publishing.com

Напечатано в России
ISBN: 978-3-8465-3446-5

АВТОРСКОЕ ПРАВО ©2011 принадлежат автору и LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG и лицензиарам
Все права защищены. Saarbrücken 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Основные принципы и теоретические положения количественной оценки достоверности запасов угля	18
1.1. Основные принципы оценки достоверности запасов угля...	18
1.2. Основные теоретические положения количественной оценки достоверности запасов угля.	26
2. Количественная оценка достоверности горно-геометрических моделей	35
2.1. Основные признаки, достоверность геометризации которых подлежит обязательной количественной оценке.	35
2.2. Создание косвенных избыточных определений в сетях геологоразведочных скважин и оценка степени неоднозначности геометрической модели.	38
2.3. Оценка неоднозначности модели гипсометрии угольного пласта.....	44
2.4. Требования к геометрической форме оценочного четырехугольника сети скважин.	60
2.5. Оценка правомерности интерполяции высотных отметок	73
2.6. Оценка неоднозначности модели мощности и показателей качества угольного пласта.	86
2.7. Построение итоговой картограммы разведанности.	99
3. Исходные данные для проведения количественной оценки достоверности запасов	105
3.1. Источники информации.	105
3.2. Подготовка исходных данных для расчета критериев разведанности гипсометрии.	118
3.3. Подготовка исходных данных для расчета критериев разведанности мощности пласта и показателей качества угля. .	136

4. Дополнительные методы оценки достоверности геолого-разведочных данных.	144
<i>4.1. Оценка погрешности определения количества балансовых запасов по подсчетным геологическим блокам.</i>	<i>144</i>
<i>4.2. Оценка полноты изучения дизъюнктивной нарушенности угольных пластов.</i>	<i>155</i>
<i>4.3. Определение степени неоднозначности построений по линии разведочных скважин.</i>	<i>161</i>
<i>4.4. Оценка погрешности среднего значения признака (метод комбинаторных разрежений)</i>	<i>169</i>
5. Мониторинг достоверности запасов.	182
<i>5.1. Недостатки статичного подхода к количественной оценке достоверности запасов.</i>	<i>182</i>
<i>5.2. Основные принципы создания динамичной системы оценки достоверности запасов.</i>	<i>190</i>
<i>5.3. Установление фактических погрешностей горно-геометрических моделей.</i>	<i>192</i>
<i>5.4. Установление взаимосвязи между критериями разведанности и погрешностями горно-геометрических моделей.</i>	<i>199</i>
<i>5.5. Учет систематических погрешностей при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели</i>	<i>206</i>
<i>5.6. Установление необходимого объема статистического материала для определения коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели.</i>	<i>211</i>
<i>5.7. Необходимость и особенность учета малых значений критериев разведанности при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели</i>	<i>217</i>
<i>5.8. Необходимость и особенность учета дизъюнктивной нарушенности при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности гипсометрических планов.</i>	<i>230</i>

5.9. Оценка возможности прогнозирования коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели. .	234
5.10. Установление значения погрешностей, соответствующих требованиям различных категорий запасов в условиях конкретного предприятия.	238
5.11. Общая схема мониторинга достоверности запасов.	258
6. Направления использования результатов мониторинга достоверности запасов.	266
6.1. Использование принципов мониторинга при подготовке геологического отчета с подсчетом запасов.	266
6.2. Использование результатов мониторинга при подготовке публичных отчетов горнопромышленных компаний о ресурсах и запасах угля в соответствии с общими критериями, принятыми мировым горным сообществом.	278
6.3. Использование результатов мониторинга при кредитовании угольного бизнеса.	289
6.4. Использование результатов мониторинга при организации опережающего геологического изучения недр.	295
6.5. Использование результатов мониторинга для повышения промышленной безопасности в угольной отрасли.	301
7. Нормативно-методическое, программное и кадровое обеспечение мониторинга достоверности запасов.	312
7.1. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга достоверности запасов.	312
7.2. Программное обеспечение мониторинга достоверности запасов.	313
7.3. Кадровое обеспечение мониторинга достоверности запасов	344
8. Метод уравнивания сетей геологоразведочных измерений.	349
8.1. Понятие уравнивания.	349
8.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей. . .	353

<i>8.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания.</i>	<i>355</i>
<i>8.4. Выделение аномальных зон с помощью уравнивания.</i>	<i>364</i>
<i>8.5. Уравнивание высотных отметок пласта.</i>	<i>371</i>
<i>8.6. Прогнозирование местоположений и амплитуд дизъюнктивных нарушений.</i>	<i>372</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	407
БИБЛИОГРАФИЯ.	408
ПРИЛОЖЕНИЕ. Методические рекомендации по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию.	421

ВВЕДЕНИЕ

Организация и ведение горного бизнеса сопровождается рядом весьма специфических рисков, характер и роль которых давно и прочно осознаны российским горным сообществом. Так еще в опубликованной в 1763 году работе «Первые основания металлургии, или рудных дел» М. В. Ломоносов в параграфе с подзаголовком «Осторожность горных людей» писал: «Рудоискатели прежде нежели руд и жил искать начинают, смотрят и рассуждают наперед положение и состояние всего места, причем следующие вещи примечают. 1) Можно ли надеяться, что на нем постоянные и к добыче довольные руды содержатся; 2) Есть ли тут же довольство материй и способов, которые к учреждению рудников и к выплавке металлов необходимо надобные; 3) Не бывает ли обыкновенно на том месте какой-нибудь опасности от неприятеля, от наводнения, от ядовитого воздуха, или от какого-нибудь иного противного случая» [28]. Удивительно, но перечисленные М. В. Ломоносовым риски не утратили своего значения и в настоящее время и фактически закрепились во всех современных подходах.

В основе всех проектов и планов создания, строительства и развития предприятий горнодобывающего бизнеса лежат не фактические данные о недрах, а лишь их геологические модели. Такие модели всегда содержат в себе погрешности и ошибки, поскольку формируются по результатам прямого определения значений изучаемых характеристик по геологоразведочным скважинам, вскрытый объем полезного ископаемого в которых составляет многомиллионные доли от общих запасов участка недр.

Для характеристики степени достоверности геологоразведочной информации традиционно используется термин «достоверность запасов», хотя при этом имеется в виду не столько собственно погрешность представлений об их имеющемся количестве, сколько погрешность геологических моделей формы размещения тела полезного ископаемого и его свойств в недрах.

В ходе использования геологической информации ее погрешности трансформируются в погрешности и ошибки проектных технологических, экономических, инвестиционных и иных решений. Именно уровень этих погрешностей во многом и определяет степень предпринимательского риска организации горного бизнеса, эффективность и кредитоспособность добывающих предприятий.

Подчас ошибки геологической информации достигают значительных величин, приводящих к невозможности реализации уже начатых горных проектов. Так, в советский период были прекращены работы по строительству шахт «Никитинская», «Анжерская Южная» в Кузбассе, шахты «Ургунская» в Горловском бассейне с общим объемом «бросовых» строительных работ более 200 млн долларов США. Подобные явления наблюдаются и в современной России, например, в связи с неподтверждением качества угля на разрезе «Щербиновский» (для покрытия издержек на строительство которого собственнику пришлось продать другое, уже действующее эффективное предприятие и полностью ликвидировать свой бизнес).

Имеются и другие, близкие по финансовым потерям, примеры. Однако приводить их авторы считают по этическим соображениям не возможным, в связи с тем, что понесшие потери собственники действуют на угольном рынке.

Говоря о внешне эффектных крупных ошибках и просчетах, следует иметь в виду, что суммарное влияние постоянно наблюдаемых погрешностей рядового порядка на действующих предприятиях не менее значимо.

Практика показывает, что за их счет, технико-экономические показатели работы предприятий снижаются относительно проектных на 5–20 %.

При оценке степени достоверности геологической информации следует иметь в виду следующие обстоятельства:

– геологическая информация всегда обладает той или иной степенью погрешности, истинная величина которой может быть установлена только после завершения горных работ на участке оценки;

– погрешность информации в пределах намечаемых к отработке контуров не постоянна, что вызвано перемещением горных работ в пространстве недр. Подтверждение достоверности представлений о геологии месторождения в контуре отработки прошедшего периода совершенно не означает, что они будут такими же и в будущем. В связи с этим, например, используемые многими банками процедуры скоринга, в основе которых лежит анализ кредитной истории заемщика, не могут обеспечить объективной оценки кредитоспособности горнодобывающих предприятий;

– оценка достоверности обладает эффектом масштаба. Погрешности информации, наблюдаемые в пределах контура, например, пятилетнего срока отработки запасов, могут являться вполне приемлемыми (за счет взаимной компенсации положительных и отрицательных погрешностей), тогда как в границах годовой отработки части этого же контура они могут достигать критических величин.

Данное обстоятельство предполагает различный порядок учета достоверности запасов при биржевом листинге горных компаний и при предоставлении «коротких» кредитов.

Важность учета достоверности геологической информации при кредитовании и биржевом листинге горных компаний общепризнанна и осознана мировым бизнес-сообществом. Этим целям служат отчеты о запасах / ресурсах твердых полезных ископаемых, подготавливаемые по соответствующим стандартам отчетности, объективность которых подтверждается независимой экспертизой.

Краеугольным элементом, заложенным в основу этих отчетов, является разделение (классификация) запасов полезных ископаемых по группам (категориям) их достоверности.

Неоспоримыми пионерами в области разработки и введения таких классификаций, предложенных в начале прошлого века, являются специалисты англоязычных стран: Великобритании и США – J. Kendall, P. Argall, H. Hoover, G. Collins, C. Purington, J. Treadwell и др. Сформулированные ими предложения были внедрены в практику решениями XI и XII Международных геологических конгрессов 1910 и 1913 годов.

Причины появления и удивительно быстрого внедрения в практическую деятельность идеи классификации запасов кроются, естественно, в содержании и динамике развития экономических процессов. Пожалуй, впервые на это указал исследователь и крупный организатор В. И. Ленин, сослаться на которого в современной России почему-то стало дурным тоном. В опубликованной им в 1916 году работе «Империализм, как высшая стадия капитализма (популярный очерк)», распространение политических выводов которой на современную мировую экономику авторы не считают корректным, указывается: «Концентрация дошла до того, что можно произвести приблизительный учёт всем источникам сырых материалов (например, железорудные земли) в данной стране и даже, как увидим, в ряде стран, во всем мире.

Такой учёт не только производится, но эти источники захватываются в одни руки гигантскими монополистическими союзами. Производится приблизительный учёт размеров рынка, который «делят» между собою, по договорному соглашению, эти союзы. ... Не только открытые уже источники сырья имеют значение для финансового капитала, но и возможные источники, ибо техника с невероятной быстротой развивается в наши дни, и земли, непригодные сегодня, могут быть сделаны завтра пригодными, если будут найдены новые приёмы (а для этого крупный банк может снарядить особую экспедицию инженеров, агрономов и пр.), если будут произведены большие затраты капитала.

То же относится к разведкам относительно минеральных богатств, к новым способам обработки и утилизации тех или иных сырых материалов и пр. и т. п.».

Международные системы оценки запасов использовались в России и в СССР до 1927 года, когда была принята и введена в действие классификация запасов «Геологического комитета», основанная на классификации, которую предложил Н. Hoover. В этой советской классификации, вероятно, впервые в мире предусматривалось введение не только качественных, но и формализованных критериев категоризации «Запас в пределах объемного контура [запасов категории A_2], определяемого выработками, скважинами и естественными выходами (иногда уточняемого геофизическими исследованиями), расположенными на таких расстояниях, что по характеру месторождений допускается интерполяция соседних данных». Впоследствии это требование, в связи с отсутствием соответствующих методов оценки, было исключено из классификаций и возрождено лишь в 2006 году, да и то только применительно к угольным месторождениям.

Первый глубоко разработанный национальный стандарт отчетности о запасах был создан, в СССР и представлен в форме «Инструкции к классификации запасов твердых полезных ископаемых» Главного геологоразведочного управления Всесоюзного совета народного хозяйства СССР 1931 года. Эта инструкция содержала развернутый перечень основных контрольных вопросов, которые должны были быть рассмотрены в отчете о запасах. Причина разработки этой инструкции кроется не в какой-либо особой прозорливости отечественных специалистов, а в том, что СССР одновременно выступал как в роли недровладельца, так и недропользователя. В связи с этим указанная и последующие версии аналогичных инструкций были необходимым элементом системы оценки рисков государственной инвестиционной политики.

В современном мире к числу наиболее значимых стандартов следует отнести Австралийский кодекс отчетности по результатам геологоразведочных работ, минеральным ресурсам и запасам (Кодекс «JORC») 1989 года.

В 1991 году был разработан Кодекс отчетности Великобритании, Ирландии и Западной Европы, в 1992 году – американское «Руководство Общества горняков, металлургов и геологов», которое до сих пор не признается американской Комиссией по ценным бумагам и биржам и пользуется разработанным в 30-х годах прошлого века «Руководством для промышленности № 7».

В 2000 году были разработаны канадский «СІМ» и южноафриканский «SAMREC».

В 2003 и 2004 годах свои стандарты создали Перу и Чили. В настоящее время все эти «стандарты» модифицированы и действуют в версиях 2001–2006 годов.

В 1994 году на 15-ом конгрессе Совета горнометаллургических институтов («СММІ») было принято решение о необходимости создания «Combined Reserves International Reporting Standards Committee» («Объединенный Комитет по международным стандартам отчетности о запасах» – «CRIRSCO»).

Особую роль стандартизация отчетности о запасах/ресурсах приобрела в мире после 1997 года. Причиной тому послужила история с золотомедным месторождением Бусанг в Индонезии, которая по праву считается крупнейшей аферой XX века. История аферы восходит к 1988 году, когда группа австралийских геологов начала изыскания в районах, где индонезийское племя вело кустарную добычу золота. Год спустя, было отобрано девятнадцать геологических проб, результаты которых имели двойственный характер, и исследования были прекращены.

Однако два специалиста Джон Фельдерхоф и Михаэл де Гусман продолжили изыскания. Вернувшийся в Канаду Д. Фельдерхоф совместно с Дэвидом Уолшем в 1993 зарегистрировал в Калгари венчурную компанию «Bre-X Minerals», которая приобрела Бусанг за 89 тыс. долларов. После последовавшего в 1996 году заявления «Bre-X Minerals» об открытии на острове Борнео объекта с запасами золота порядка 2000 т стоимость одной акции этой компании выросли с нескольких центов до 200 канадских долларов. В результате этого капитализация компании достигла 6 млрд долларов США. Высокую протекцию «Bre-X Minerals» оказал тогдашний пожизненный президент Индонезии Мухаммед Ходжи Сухарто.

Подозрения в достоверности геологической информации по Бусангу возникли у американской корпорации «Freeport McMoan Cooper & Gold», подписавшей с «Bre-X Minerals» контракт о совместной разработке месторождения. В 1997 году при составлении технико-экономического обоснования эксплуатации месторождения независимой компанией «Strathcona Mineral Services Ltd.» (Канада) были выявлены факты фальсификации геологических данных (вплоть до «подсаливания» золотом керна скважин), о чем было объявлено 04.05.1997. На следующий день Торонтская фондовая биржа объявила о прекращении всех операций с акциями «Bre-X Minerals».

Расследование аферы с Бусангом было затруднено тем, что 23.01.1997 в полевом лагере Бусанга произошел пожар, уничтоживший весь геологический архив, а главный геолог «Bre-X Minerals» Михаэл де Гусман направляясь на встречу с геологами «Freeport McMoan Cooper & Gold» покончил 19.03.1997 жизнь самоубийством, выбросившись с вертолета. В багаже Гусмана обнаружили адресованную жене (имя которой было написано с ошибкой) записку, в которой указывалось, что причина самоубийства состоит в диагностированной у него «неизлечимой болезни».

Последующая экспертиза выявила у де Гусмана лишь гепатит Б. Посмертная записка семье передана не была. Бортовой журнал вертолета был утерян, а саму машину пилотировал в день гибели не гражданский летчик, а армейский подполковник. Средства массовой информации указывали на отсутствие уверенности в идентификации тела погибшего, которое было обнаружено в болоте после четырех дней поисков. В частности, зубы погибшего, якобы, не совпадали с рентгеновскими снимками, сохранившимися в картотеке дантиста. Глава компании «Bre-X Minerals» Дэвид Уолш, успевший реализовать принадлежащие ему акции, покинул Индонезию и перебрался на Багамы. Именно после истории с «Bre-X Minerals» (и это прямо указывается в документах) в 1997 году пять стран достигли соглашения (Денверское соглашение) относительно дефиниций (определений) важнейших положений отчетности о запасах.

В 2003 году созданным годом раньше Комитетом «CRIRSCO» было принято решение о подготовке «Международного шаблона публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых в недрах», которое было реализовано в июле 2006 года. С этого момента все стандарты национальных систем отчетности стали совместимыми и начали именоваться «стандартами» семейства или шаблона «CRIRSCO».

С сожалением следует отметить, что «пионером» в области подобных афер являлся, вероятно, русский предприниматель И. Г. Рыков, создавший в 1883 году акционерное общество Скопинских угольных копей Московского бассейна. Несмотря на публикуемые в прессе отчеты о добыче угля, таблицы и графики с балансами и дивидендами, это общество существовало только на бумаге. Обществом были выпущены акции, которые активно продавались на бирже и использовались, по согласованию с министром финансов Российской Империи М. Х. Рейтерном, в качестве залога за акцизные марки на алкоголь.

Имя И. Г. Рыкова сохранилось в истории только потому, что его «приключения» отражал в газете «Санкт-Петербургские ведомости» молодой корреспондент, а впоследствии писатель с мировым именем – А. П. Чехов.

Достаточно многочисленные, но относительно мелкие по масштабам аферы, связанные с оценкой запасов имели место в нашей стране в 90-е годы прошлого века. Знает подобные примеры и современная Россия, но большинство из них не удалось реализовать на практике в связи с возросшей бдительностью специалистов геологической отрасли. Авторы не хотели бы, чтобы у читателей сложилось впечатление о какой то патологической склонности наших соотечественников к обману и фальсификации. Это не так.

Однако неоспоримым является то, что долгие годы разнообразного дефицита и многообразного государственного давления выработали в наших согражданах высокий уровень креативности, часто приобретающий даже оттенок чисто «спортивного интереса» к генерации неожиданных решений. В силу этого именно российские системы оценки запасов, разработанные не менее креативными отечественными специалистами, могут оказаться наиболее эффективным средством повышения качества оценки запасов и ресурсов.

В настоящее время Россия вновь входит в правовое поле международных систем отчетности о запасах и ресурсах, адаптируя свои национальные подходы к международным. В результате большой и сложной работы 28.09.2010 г. «CRIRSCO» и российской «Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых» («ГКЗ») было согласовано «Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO», которое имеет статус официального документа «CRIRSCO». Уже начаты работы по разработке, основанного на шаблоне «CRIRSCO», российского стандарта отчетности о запасах и ресурсах твердых полезных ископаемых, проект которого должен быть представлен «CRIRSCO» до конца 2012 года.

Следует иметь в виду, что шаблон «CRIRSCO» был, в первую очередь, ответом финансового сообщества на авантюру «Bre-X Minerals» и действительно перекрыл наиболее явные пути фальсификации геологических данных. Однако опыт последних лет показал, что отдельные представители отечественного и зарубежного горного бизнеса уже адаптировались к подходам «CRIRSCO» и научились «учитывать» их соответствующим образом. Подтверждением сказанному является серия крупных просчетов в оценке сырьевых ресурсов ряда как отечественных, так и зарубежных участков недр, называть которые, в связи с отсутствием результатов официальных расследований причин их возникновения, авторы считают некорректным.

Надо полагать, что именно в связи с этим «CRIRSCO» сообщила в 2010 году о намерениях в самое ближайшее время внести ряд изменений в дефиниции международного шаблона отчетности.

Основным инструментом повышения качества оценки запасов является введенное с 2008 года государственное требование к обязательному использованию при квалификации запасов полезных ископаемых по категориям их достоверности количественных оценок точности и достоверности определения основных параметров подсчета запасов. По российским представлениям количественные методы являются инструментом эксперта, применение которых не только не снижают, но даже повышают его роль, требуя от эксперта явно выраженной аргументации решений, не согласующихся с результатами количественного анализа.

Количественные методы применяются и за рубежом. Для количественной оценки достоверности, равно как и для подсчета запасов, в мире широко используются детально описанные в литературе методы геостатистики, тогда как в России наибольшее распространение получили так называемые полигональные методы.

Следует отметить, что отечественные подходы не уступают зарубежным. В согласованном «CRIRSCO» «Руководстве по гармонизации...» прямо указано: «Одним из преимуществ использования российских оценок, получаемых с помощью российских методов подсчета, можно считать то, что – в отличие от геостатистики – процедуры подсчета точно определены, а возможности для появления грубых ошибок относительно невелики». По устоявшимся в мире представлениям геостатистические методы в условиях угольных месторождений вообще не эффективны, т. к. не обеспечены надлежащим количеством статистического материала и не позволяют получать ответы на многие вопросы, являющиеся исключительно значимыми для угольной отрасли. Например, на вопросы, относящиеся к оценке точности изучения гипсометрии пластов и их тектонической нарушенности.

Основной целью настоящего издания является систематическое и детальное изложение геометрических методов количественной оценки достоверности запасов угольных месторождений. Эти методы широко апробированы и признаны горно-геологическим инженерным сообществом России, что нашло свое отражение, в том числе, и в ссылках на них, содержащихся в «Российской угольной энциклопедии» (2007 год) и в «Российской геологической энциклопедии» (2010 год).

Содержание этих методов позволяет генерировать ответы практически на все вопросы, возникающие при оценке угольных месторождений, а сами они рекомендованы государственными органами («ГКЗ») для подготовки материалов, направляемых на государственную геологическую экспертизу. В настоящее время методы используются при подготовке геологических отчетов по требованиям действующей российской классификации запасов, а на протяжении последних 15 лет успешно применялись и продолжают применяться при решении ряда корпоративных вопросов (преимущественно, для принятия решений по освоению новых участков недр и по оценке стоимости приобретаемых предприятий действующего бизнеса).

Содержащиеся в издании обобщенные описания технологии выполнения необходимых технических расчетов и оценок ориентированы как на оценку вновь осваиваемых месторождений, так и на оценку сырьевого потенциала уже действующих предприятий в режиме мониторинга достоверности запасов.

Рассматриваемые методы позволяют осуществлять оценку запасов в пределах контуров любой площади, в 3–4 раза повышают ее надежность и резко снижают возможность «подтасовки» данных.

При использовании количественных методов в режиме мониторинга, вероятность «подтасовки» данных практически полностью исключается.

Авторы надеются, что знакомство с российскими подходами к оценке достоверности запасов угля будет полезно не только российским, но и иностранным специалистам. В качестве приложения к книге приведен полный текст современной версии «Методических рекомендаций по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию», рассмотренной и утвержденной в 2011 году «Обществом экспертов России по недропользованию», являющимся независимым российским центром персональных компетенций в области недропользования.

1. Основные принципы и теоретические положения количественной оценки достоверности запасов угля

1.1. Основные принципы оценки достоверности запасов угля

Прежде чем рассматривать основные принципы и подходы к оценке достоверности запасов угольных месторождений необходимо определить, что именно следует понимать под термином «запасы».

К сожалению, российская нормативная база не содержит юридически оформленного понятия «запасы полезного ископаемого», оперируя только некоторыми характеристиками этого понятия.

Так Федеральный закон «О недрах» [68] (статья 29) косвенно раскрывает это понятие применительно к определению задач государственной экспертизы запасов полезных ископаемых: «Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения месторождения при условии, если представляемые на государственную экспертизу геологические материалы позволяют дать объективную оценку количества и качества запасов полезных ископаемых, их народно-хозяйственного значения, горнотехнических, гидрогеологических, экологических и других условий их добычи».

Действующая «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [19] предусматривает, что «подсчет и учет запасов по месторождению (или его части), оценка и учет прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых по участку недр производится в единицах массы или объема в целом, в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций, без учета потерь и разубоживания при добыче, обогащении и переработке полезных ископаемых». Обязательным является определение экономического значения запасов, фиксируемое путем их разделения на балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические).

Без выполнения такой оценки запасы не подлежат государственному учету, т. е. явно не подпадают под само определение «запасы».

Прямое и явно неудачное определение термина «запасы» содержит вышедшая в 2010 году под эгидой Министерства природных ресурсов и экологии (МПР РФ) «Российская геологическая энциклопедия» [67] – «запасы твердых полезных ископаемых (a. reserves of solid (hard) mineral resources) – количество твердых полезных ископаемых в недрах Земли, установленное по данным геологоразведочных работ или в процессе разработки месторождений». Далее энциклопедия, равно как и перечисленные выше правовые документы, раскрывает основные характеристики, особенности учета и классификации запасов.

По мнению авторов наиболее совершенное и строгое определение термина «запасы» содержится в «Международном Шаблоне публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых в недрах», [97] подготовленном Объединенным комитетом по разработке международных стандартов публичной отчетности (CRIRSCO).

Шаблон CRIRSCO указывает, что «ресурсы твердых полезных ископаемых (mineral resources) определяются как концентрация (проявление) минерального вещества, представляющего определенный экономический интерес, в земной коре или на ее поверхности, в такой форме и при таком количестве и качестве, которые дают основания предполагать возможность его рентабельного извлечения из недр в обозримой перспективе».

Используемый в русскоязычной версии шаблона термин «ресурсы» формально должен, при переводе с английского языка, указываться как «запасы» на что прямо указывает «Российская геологическая энциклопедия» [67].

В дальнейшем, учитывая полное смысловое совпадение отечественного понятия «запасы» и англоязычного «ресурсы», авторы будут использовать определение шаблона CRIRSCO, пользуясь русским термином «запасы». Ключевым моментом понятия «запасы» является то, что под ними понимается не просто количество полезного ископаемого в недрах, а только то их количество, которое по экономическим соображениям может быть вовлечено в промышленное освоение.

Возможность освоения запасов оценивается с учетом условий залегания, характера размещения и свойств полезных ископаемых в недрах. Все эти параметры изучаются на стадии геологоразведочных, уточняются в процессе горно-эксплуатационных работ и представляются в виде комплекта горно-геометрических моделей месторождения. Именно эти модели и являются основой подсчета запасов, в процессе которого определяется тоннаж либо объем находящихся в недрах полезных ископаемых.

Поэтому первично не количество запасов, а горно-геометрические модели месторождения, необходимые для оценки промышленной (экономической) значимости запасов, последующего проектирования предприятий, поиска адекватных технических и организационных решений по освоению недр. Если геометризация месторождения выполнена с надлежащим качеством, то и количество его запасов будет определено достоверно. Обратное утверждение неправомерно, поскольку даже высокая точность оценки общих запасов месторождения, достигаемое использованием значительного числа исходных наблюдений и замеров, может сопровождаться значительным уровнем их неподтверждения по локальным контурам добычи.

Отсюда следует, что под оценкой достоверности запасов следует понимать оценку достоверности геометризации (горно-геометрического моделирования) основных параметров месторождения. Именно такой позиции и придерживаются авторы.

Применительно к угольным месторождениям к ним относятся модели гипсометрии и мощности пласта, обеспечивающие определение объема запасов угля в недрах, и зольности, являющейся основой для определения кажущейся плотности угля. Перечисленные факторы являются основными при рассмотрении вопросов выбора способа и технологий добычи угля, формируя основные параметры кондиций, на основе которых выделяются контуры экономических и потенциально экономических запасов.

Во многих случаях, для определения возможных направлений использования угля и его технологической ценности необходимо выполнение оценки точности моделей, характеризующих изменение основных показателей качества угля. К ним, прежде всего, относятся выход летучих веществ и толщина пластического слоя «У» по Л. М. Сапожникову (или тесно коррелирующий с ним показатель пластичности по Гизелеру – DDPM), а также высшая теплота сгорания угля, определяющие соответственно марочный состав угля и степень его окисления.

Достоверность геометризации моделей различных характеристик, значения которых определены по одной и той же сети измерений, определяется их изменчивостью, что предполагает возможность правомерности свертывания признакового пространства при выполнении обобщающих оценок достоверности. Такой подход, пожалуй, впервые был в явном виде сформулирован еще в 1937 году В. М. Крейтером в его известном принципе «Если же определена высокая категория запасов для наиболее капризно распределенного компонента, то можно не производить исчисления ошибки для более простых компонентов» [23].

Несмотря на то, что количество факторов и, соответственно моделей, влияющих на степень достоверности запасов весьма велико, в практических целях нет необходимости оценивать достоверность всего комплекса моделей – достаточно ограничиваться оценкой качества моделирования только наиболее значимых и изменчивых признаков.

Существующая технология проектирования горных предприятий и уровень погрешностей технико-экономических расчетов не позволяют при их реализации осуществлять «тонкий», индивидуальный учет конкретной погрешности горно-геометрической модели.

В связи с этим совершенно логичным представляется признание равноправности и условной постоянности отдельных диапазонов погрешности, что предопределяет возможность и целесообразность перехода от количественной оценки достоверности к ранговой.

Такая практика имеет глубокие исторические корни, общепринята и реализуется мировым горно-геологическим сообществом в форме разделения запасов на категории разведанности.

Так по шаблону CRIRSCO запасы (mineral resources) по мере роста их достоверности разделяются на три категории: «inferred mineral resource» (предполагаемые), «indicated mineral resource» (исчисленные, которые иногда переводят как «выявленные») и «measured mineral resource» (измеренные, в редких случаях переводят как «оцененные», хотя именно последний вариант перевода в большей степени отвечает определениям шаблона CRIRSCO).

Обозначение категорий в словесной форме было впервые международно зафиксировано в 1913 году XIII Международным геологическим конгрессом (по углю) который рекомендовал выделение трех категорий: «possible reserves» (возможные запасы, определение которых в цифрах невозможно): «probable reserves» (вероятные запасы, определение может быть выполнено лишь приближенно) и «actual reserves» (действительные запасы, вычисления которых основаны на знании действительной мощности и протяжении пластов).

До 1927 года в России и в СССР также использовалась словесная форма кодирования категорий. С принятием первой советской системы категоризации был осуществлен переход на буквенное обозначение категорий.

Наименования категорий были заимствованы из решений XI Международного геологического конгресса 1910 года (по железным рудам): категория С – месторождения, запасы которых не могут быть представлены в цифрах, В – месторождения, для которых можно выполнить лишь весьма приближенное определение размеров запасов, и А – месторождения, по которым могут быть сделаны надежные вычисления их размеров, основанные на действительных исследованиях.

Причины перехода к буквенному обозначению категорий были детально изложены в преамбуле к классификации: «Полагая, что со словесным обозначением категорий запасов неизбежно будут связываться субъективные представления, укоренившиеся или вновь возникающие у лиц, ими пользующихся, и имея в виду условное значение этих обозначений, Геологический Комитет нашел более правильным вовсе отказаться от словесного их выражения, заменив в новой схеме термины буквами алфавита, обозначающими категории запасов по их назначению» [22]. Следует особо подчеркнуть, что каждому рангу достоверности (категории) должен соответствовать определенный диапазон погрешностей горно-геометрической модели.

Достоверность геометризации (моделирования) каждого из рассматриваемых при оценке значимых факторов в пределах одного и того же контура в большинстве случаев может быть различна даже при сглаживающем влиянии ранговых оценок. Так, например, по участку пласта, с «идеально» изученной гипсометрией, уровень достоверности геометризации мощности может оказаться недостаточным для принятия обоснованных технических решений и «точного» подсчета количества запасов и т. д.

Отсюда следует, что помимо индивидуальной оценки достоверности геометризации каждого из изучаемых в ходе разведки показателей, нужна и интегральная, объединяющая их оценка.

Логично предположить, что итоговая оценка запасов должна формироваться не путем «голосования» индивидуальных оценок, а путем принятия в ее качестве оценки по наименьшему (в плане достоверности) рангу.

Важной особенностью определения достоверности запасов пластовых и особенно угольных месторождений намечаемых к отработке подземным способом, является необходимость минимизации контуров выполнения оценки. Технологии угледобычи чрезвычайно чувствительны к изменению условий залегания пластов.

Так встреча в пределах намеченного к отработке контура даже небольшой по площади аномалии (например, разрывного нарушения, размыва или участка с аномально высокими углами падения) может привести к полной невозможности его отработки в целом. Следует помнить, что в каждый конкретный отрезок времени осуществляется отработка не всего месторождения, а лишь отдельной незначительной его части.

В связи с этим на практике оценка достоверности выполняется не по месторождению или шахтному полю в целом, а по отдельным, относительно однородным его частям, именуемым «подсчетные блоки». Количество данных, относимых к таким блокам, незначительно и редко превышает десяток измерений и определений, что существенно снижает возможность применения методов, основанных на выявлении статистических закономерностей.

Значимость малоразмерности контуров оценки запасов угля многократно увеличивается высокой промышленной опасностью технологий добычи угля, связанной с проявлением различных газо- и геодинамических явлений, отсутствием крепления выработанного пространства и т. д., прогнозируемых и управляемых на основе использования геологических данных.

Все это позволяет рассматривать установление степени достоверности запасов не только в качестве инструмента оценки степени экономического риска освоения месторождения, но и в качестве инструмента обеспечения промышленной безопасности [63].

Как известно, наиболее значимым явлением, примерно на 50 % определяющим уровень травматизма на угольных шахтах мира, является внезапное обрушение пород кровли. В большинстве случаев причиной внезапного обрушения является несоответствие принятых технических решений реальным горно-геологическим условиям, недостоверно оцененным в процессе геологического изучения и прогноза.

В настоящее время наметились явные предпосылки к возникновению совершенно новой проблемы обеспечения промышленной безопасности – недостаточного уровня достоверности геологической информации, используемой при планировании и проектировании горных работ. Уровень и качество геологической информации по фрагментам участков месторождений, в пределах которых предполагается нахождение людей, должен быть существенно выше, чем требуется для принятия решений по управлению бизнес-процессами горного промысла.

Оценка достоверности запасов в этих целях также должна быть ориентирована на малоразмерные контуры, обеспечивающие максимально возможную ее детализацию.

Понятно, что оценка достоверности в целях контроля уровня геологического обеспечения промышленной безопасности должна производиться преимущественно на стадии освоения месторождения и предполагает более высокое его качество. Контроль качества оценки запасов должен производиться непрерывно и обеспечивать возможность изменения ранее выполненных оценок на основе их корректировки по результатам сравнения результатов горно-геометрического моделирования с фактическими данными.

Такой подход можно охарактеризовать как мониторинг достоверности запасов [60], т. к. он включает в себя все три присущие ему компоненты (наблюдения, анализ и прогноз) и постоянно должен реализовываться по мере развития горных работ, непрерывно актуализируя технологию оценки достоверности запасов.

Таким образом, авторы полагают, что оценка достоверности запасов угля:

- должна основываться на оценке достоверности горно-геометрических моделей месторождения;
- может выполняться только по ограниченному числу наиболее значимых и изменчивых признаков;
- должна завершаться оценкой ранга достоверности (категории) запасов по каждому рассматриваемому показателю, определяемому по заданному диапазону погрешностей его горно-геометрической модели;
- в качестве обобщающего результата должен использоваться ранг достоверности, определенный для наименее изученного признака;
- должна обеспечивать возможность детализации результатов для малоразмерных участков недр, изученных по незначительному количеству измерений и определений;
- должна обладать инструментами настройки, адаптирующими ее технологию к особенностям геологического объекта и характеру их изменения, в пространстве недр.

1.2. Основные теоретические положения количественной оценки достоверности запасов угля

Количественная оценка достоверности запасов должна отвечать перечисленным в предыдущем подразделе принципам и базироваться на определенных теоретических положениях.

Собственно задача определения достоверности результатов моделирования месторождения в конечном итоге 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 этой задачи может осуществляться только косвенными методами, т. е. на основе неких эвристических методов.

Содержательная основа этих методов должна соответствовать известным общетеоретическим представлениям, используемым при геометризации месторождений.

В России в основу практики геометризации месторождений положена теория геохимического поля проф. П. К. Соболевского. Ключевые положения этой теории были опубликованы им в 1927 году [71] и окончательно оформлены в работе 1932 года [72] после подготовки более сотни инженеров и техников, реально применивших эту теорию в ходе построения горно-геометрических моделей месторождений и участков Урала.

Поскольку основополагающая работа [72] давно стала библиографической редкостью и излагается в современной технической литературе в форме пересказа (подчас с наслоением не всегда корректных интерпретаций), в данном издании теория (а, строго говоря, гипотезы) П. К. Соболевского приводится в виде развернутого цитирования первоисточника.

Так П. К. Соболевский пишет:

«Допустим установленным, что недра Земли – сложный комплекс геохимических полей и форм залегания, включая сюда и формы (поверхности) нарушения (первоначальных форм).

Далее примем как исходное положение для дальнейшего, что геохимическое поле вообще является полным аналогом геофизического поля, т. е. если характерные свойства этого поля выразить для любой точки соответствующим числом V , то эти свойства могут быть рассматриваемы как функции точки и времени, т. е.

$$V = f(x, y, z, t).$$

Причем функция V удовлетворяет следующим четырем условиям:

- конечности, т. е. значение V не может быть равно бесконечности;
- однозначности, т. е. для данной произвольной точки поля (x, y, z) и для данной эпохи t функция V имеет только одно определенное значение;

- непрерывности, согласно которому с незначительным (бесконечно убывающим) перемещением точки наблюдения соответственно незначительно (т. е. тоже порядка бесконечно убывающей) изменится и количественная характеристика поля;

- плавности, согласно которому поверхности одинаковых значений для V не имеют ни острых углов, ни особых точек.

Если геохимическое поле, или точнее, функция V , выражающая количественную характеристику этого поля, удовлетворяет вышеприведенным условиям, то такое поле, как то доказывается в общей теории силового поля, имеет слоисто-струйчатую структуру.

Это первое интересующее нас следствие говорит нам, что характеризуемые определенным числом геохимические свойства поля вообще могут быть соединены в систему непрерывных поверхностей, изоповерхностей и что эти изоповерхности или яснее – изо- V -поверхности не пересекаются между собой (как бы близко они друг к другу не подходили) и равным образом они не могут и касаться друг друга.

Геометрическое место нормалей к названным изоповерхностям составляет своего рода геохимический поток (что является полным аналогом соответствующего физического силового потока)».

Несложно заметить, что используемое П. К. Соболевским определение «геохимическое поле» значительно шире его современного понимания и более соответствует современному понятию «поле геологического показателя» или «геополе». Анализируя сущность топографической поверхности, П. К. Соболевский особо выделяет проблему достоверности ее построения с точки зрения установления необходимого и достаточного количества исходных наблюдений:

«Система изогипс обладает еще целым рядом особенных качеств, которые делают эту систему совершенно незаменимой, а именно – эта система служит надежным, наиболее простым и вполне естественным критерием (контролем) правильного соотношения между заданной степенью точности и количеством необходимых для этого наблюдений (наблюденных точек).

Основываясь на изложенном, я ограничусь лишь окончательной формулировкой этого самоконтроля, напомнив читателю, что из четырех основных условий, которым должна удовлетворять топографическая поверхность в пространстве, а вместе с тем и ее изображение изогипсах, главную роль критерия в рассматриваемом случае играет условие плавности. Если наблюдения, подчиненные той или иной исходной графической системе координат (системе инвариантов-скатов, системе эквивалентного многоугольника, системе профилей или системе несвязанных между собой точек), будучи нанесены на план в определенном масштабе, приводят к системе изоступенчатых точек, которые в порядке интерполирования без всякой натяжки могут быть соединены в систему кривых линий, удовлетворяющих условию плавности, как в отношении каждой отдельной изогипсы, так и в отношении последовательного изменения промежутков между ними (горизонтальных заложений), то мы имеем дело с необходимым и достаточным количеством точек наблюдений (и руководящих скатов и инвариантов)».

Изложенная идея П. К. Соболевского по оценке точности моделирования, состоящая в установлении факта соблюдения теоретически ожидаемой «плавности», безусловно, конструктивна, но, обеспечивая лишь два варианта оценки («достоверно – не достоверно»), не позволяет дифференцировать достигнутый уровень точности. При этом следует иметь в виду, что технологические потребности горной промышленности того времени такой дифференциации и не требовали.

Несколько отклоняясь от темы монографии, хотелось бы подчеркнуть, что сформулированные на основе теории практические рекомендации позволили П. К. Соболевскому предложить решения многих задач, которые не утратили своего значения и по сей день. К ним, в частности, относятся методы геометризации содержаний компонентов коренных и россыпных месторождений основанные на технологии сглаживания.

Особо интересен в историческом плане и метод подсчета запасов (метод объемной палетки П. К. Соболевского), при котором все тело полезного ископаемого разделялось на блоки (преимущественно размером 20×20 м), по каждому из которых, по результатам геометризации устанавливались необходимые подсчетные характеристики (рис. 1.1). Этот метод можно считать предтечей современного цифрового и блочного моделирования. В тридцатых годах прошлого века данный метод был основным методом подсчета запасов месторождений Урала и одним из главенствующих в СССР.

Однако постепенно, по причине его высокой трудоемкости и в связи с равноточностью с более простыми полигональными методами, он утратил свое значение. Причем эта равноточность вытекала лишь из того, что он использовал модели, основанные на линейной интерполяции признаков, которую фактически используют и все полигональные методы.

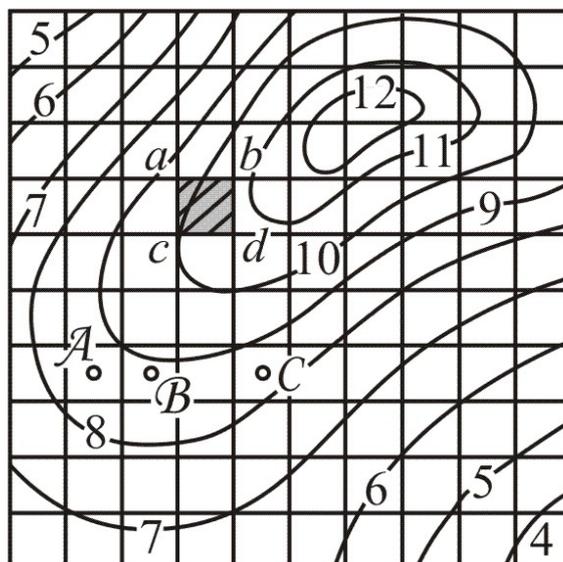


Рис. 1.1. Иллюстрация к методу объемной палетки П. К. Соболевского (рисунок 6 из работы [35] 1931 года)

Доля применения метода объемной палетки при подсчете запасов к концу сороковых годов прошлого века снизилась до 1 %, а с пятидесятых годов он вообще перестал использоваться.

Столь незавидная судьба этого метода была связана с тем, что он намного обогнал свое время, т. к., по сути дела, был ориентирован на применение не существовавших тогда компьютерных технологий.

Весьма продуктивными представляются и, к сожалению, не опубликованные идеи П. К. Соболевского (на наличие которых устно указывал один из его учеников – В. А. Букринский), касающиеся введения и практического использования еще одного свойства геополя – свойства симметрии, которое все в большей степени рассматривается современным естествознанием как всеобщий закон природы.

Возвращаясь к теме исследования, укажем, что один из авторов настоящего издания обратил внимание [86] на то, что в основу разработки метода дифференцированной количественной оценки достоверности геометризации может быть положено иное, не использованное П. К. Соболевским в этих целях условие, а именно – условие однозначности.

Основанием для этого является то, что если реальное поле геологического показателя обладает свойством однозначности, то и модель, идеальным образом его описывающая, также должна им обладать. И, следовательно, возникновение неоднозначности построений в процессе моделирования является свидетельством неадекватности создаваемой модели реальному объекту. 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. Понятно, что при помощи определенных геологических соображений или вообще случайно, даже в условиях высокой неопределенности построений, может быть выбран действительно правильный вариант.

Таким образом, оценка достоверности геологических материалов может основываться на оценке степени неоднозначности модели и носит вероятностный характер.

Собственно неоднозначность любых построений может быть оценена лишь при наличии избыточных измерений или определений, т. е. в ситуации, когда для определенной точки геологического пространства получено как минимум два возможных значения одного и того же признака. Такая практика широко используется в системах геодезических и маркшейдерских измерений, предполагающих повторное многократное измерение одних и тех же величин.

При изучении недр избыточные измерения и определения возникают крайне редко и нежелательны, так как являются следствием избыточной разведки объекта исследований и приводят к значительным материальным затратам. Так в 2011 году стоимость одного метра разведочной скважины на уголь (с учетом всех видов испытаний и исследований) находится на уровне 6 тыс. руб. (примерно 15 евро).

Поэтому подход к созданию метода измерения степени неоднозначности модели может основываться еще на одной, экономически оправданной идее искусственного создания косвенных избыточных определений в сетях геологоразведочных скважин [86].

Таким образом, теоретический подход к количественной оценке достоверности геологических данных угольных месторождений должен состоять в определении количественной степени неоднозначности анализируемой модели и в последующем переходе от степени неоднозначности модели к ранговой оценке достоверности (погрешности) модели.

Общая схема выполнения количественной оценки достоверности, учитывающая сформулированные в предыдущем подразделе принципы, состоит в следующем (рис. 1.2).

На первом этапе из N характеризующих участков недр моделей выбирается K подлежащих оценке моделей. Выбор моделей определяется значимостью и изменчивостью отображаемых ими признаков.

На втором этапе контур изучаемого участка недр фрагментируется на малоразмерные участки оценки.

На третьем этапе в пределах каждого из участков искусственно создаются косвенные избыточные определения, а на четвертом с их помощью количественно оценивается степень неоднозначности выделенных фрагментов модели.

На пятом этапе, на основании полученной оценки неоднозначности по неким правилам (которые могут адаптироваться к технологии добычи и к особенностям геологического объекта) каждый контур оценки рассматриваемого признака относится к определенному рангу (категории) достоверности. И, наконец, на шестом этапе формируется итоговая ранговая оценка запасов оцениваемых фрагментов участка недр, путем принятия для них наименьшего из рангов, установленных по каждому из значимых признаков.

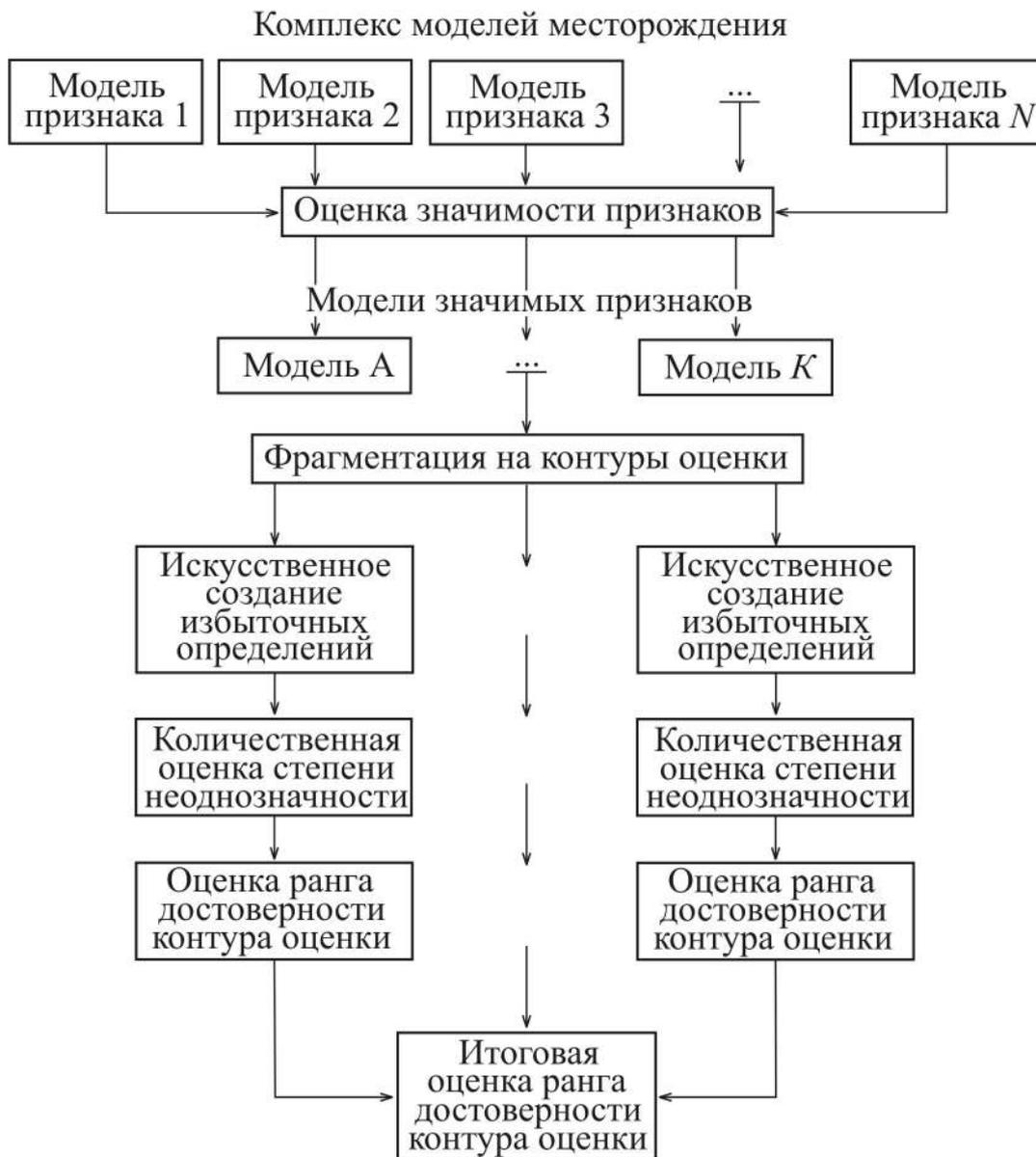


Рис. 1.2. Общая схема выполнения количественной оценки достоверности

2. Количественная оценка достоверности горно-геометрических моделей

2.1. Основные признаки, достоверность геометризации которых подлежит обязательной количественной оценке

В ходе выполнения геологоразведочных работ на угольных месторождениях выполняется изучение значительного количества различных характеристик, определяющих технологичность запасов, а также направления и эффективность дальнейшего использования извлекаемого угля. В соответствии с принципом В. М. Крейтера, при выполнении количественной оценки достоверности запасов можно ограничиться рассмотрением наиболее значимых и изменчивых признаков. Логично предположить, что к их числу следует отнести признаки, определяющие балансовую (экономическую) значимость запасов угля, а также те из них, которые определяют достоверность оценки их количества. Разделение запасов по балансовой значимости осуществляется по так называемым параметрам кондиций, в качестве которых, в соответствии с требованиями, изложенными в «Методических рекомендациях...» [32] используются:

– минимальная истинная мощность пластов угля в пластопересечении, определяемая по сумме мощностей вынимаемых совместно угольных (сланцевых) слоев, внутрипластовых породных прослоев и непосредственно залегающих в почве или кровле углистых пород, а при необходимости дополнительной присечки других пород – с включением мощностей присекаемых пород;

– максимальная истинная мощность внутрипластовых породных прослоев или разубоженных интервалов разреза угольных пластов, включаемая в пластопересечение;

– минимальная истинная мощность породных прослоев, разделяющих пласты угля в зонах расщепления на объекты самостоятельной разработки и промышленной оценки;

– максимальная зольность угля по пластопересечению с учетом засорения вынимаемыми совместно с углем породами внутрипластовых и прикровельных (припочвенных) слоев;

– максимальная зольность угля по которой при наличии в разрезе пласта слоев высокозольного угля постепенно переходящих в углестые породы, выделяются интервалы для подсчета запасов угля (сланца) в недрах;

– границы подсчета запасов углей: глубина подсчета, предельный коэффициент вскрыши или требования, обуславливающие проведение подсчета запасов в установленных ТЭО кондиций контурах разработки (границах карьера);

– границы участков, намеченных к первоочередной отработке.

Кроме того, при необходимости разработки эксплуатационных кондиций в процессе отработки месторождений параметры кондиций, могут дополнительно включать в себя [32]:

– минимальную выемочную мощность;

– минимальную протяженность ненарушенного выемочного столба;

– углы падения пласта;

– крепость и устойчивость пород кровли;

– предельно допустимое качество угля.

Исходя из перечисленных требований, в качестве обязательной для оценки на всех месторождениях можно рассматривать модель гипсометрии пласта (формы его размещения в недрах) на основании которой устанавливаются глубина и границы подсчета, углы падения пласта, степень дизъюнктивной нарушенности.

К обязательным для оценки можно также отнести модели размещения в недрах мощности пласта, а также мощностей внутрипластовых прослоев (в том числе и отдельного прослоя, если он в связи с закономерным возрастанием, разделяет пласт угля на объекты самостоятельной разработки и промышленной оценки). Кроме того, к ним должна относиться так же и модель размещения пластовой зольности.

Разумеется, модели перечисленных характеристик должны обязательно оцениваться только в случае, если в пределах анализируемого контура пласта они используются для разделения запасов на участки различной балансовой значимости.

Крепость и особенно устойчивость кровли и почвы оцениваются на основании построения моделей производных от указанных, а также с использованием характеристик (например, физико-механических свойств) определяемых по более редкой сети замеров, чем вышеперечисленные. Это означает признание за ними меньшей степени изменчивости, чем у основных параметров, и предполагает возможность их исключения из оценки на основании применения принципа В. М. Крейтера.

Степень достоверности моделей показателей качества угля (таких например, как выход летучих, показатели коксующести, степень окисления и т. д.) должна изучаться в случаях, если в пределах контура оценки происходит их значимое изменение, приводящая к смене марочного состава, изменению направления использования углей или к возможным проблемам с выполнением условий контрактов на поставку угля. В связи с этим модели данных показателей нельзя отнести к оцениваемым в обязательном порядке.

Перечень моделей, которые обеспечивают качество и достоверность подсчета запасов угля, определяется технологией подсчета и включает в себя:

– модель гипсометрии, на основе которой определяются границы подсчетных блоков, расположенных в пределах контурах однородных структурных элементов, вычисляются их площади и углы падения;

– модель мощности чистых угольных пачек и пласта в целом, по которым определяется производительность (линейный запас) пласта, используемый при подсчете запасов по чистым угольным пачкам (являющихся предметом государственного учета) и количества горной массы, учитывающей 100 % засорение угольных пачек внутрипластовыми прослоями (используемую при выполнении проектных работ);

– модели зольности чистых угольных пачек и пласта, на основании которых с помощью устанавливаемой зависимости между этими показателями и кажущейся плотностью угля (горной массы) осуществляется пересчет объема запасов в подсчетных блоках в их тоннаж.

Таким образом, в качестве основных, подлежащих количественной оценке моделей следует рассматривать:

- модель гипсометрии пласта;
- модели мощностей чистых угольных пачек и пласта в целом;
- модели основных показателей качества угля (прежде всего зольности).

2.2. Создание косвенных избыточных определений

в сетях геологоразведочных скважин

и оценка степени неоднозначности геометрической модели

Сеть геологоразведочных скважин окончательно формируется на завершающих стадиях разведки месторождения и представляет собой систему преимущественно параллельных разведочных линий, ориентированных по падению свиты пластов, и отдельных, размещенных вне этих линий, замеров.

На ее основе создаются модели гипсометрии пласта, мощностей, зольностей, других показателей качества угля. В качестве ориентировочных параметров разведочной сети обеспечивающих оценку запасов по промышленным категориям при проектировании геологоразведочных работ, используются обобщенные данные о плотности сетей, применявшихся в странах СНГ (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Ориентировочные расстояния между скважинами
в плоскости пласта в тектонически однородных блоках
(пункт 24 «Методических рекомендаций...» [30])

Выдержанность морфологии пластов	Расстояния по категориям запасов между, м					
	А		В		С ₁	
	лини- ями	сква- жина- ми	лини- ями	сква- жина- ми	лини- ями	сква- жина- ми
Выдержан- ные	600–800	200–400	800–<...>	400–600	до 2000	до 1000
Относительно выдержанные	300–400	150–250	400–600	200–300	до 1000	до 500
Невыдер- жаные	–	–	250–300	150–250	до 500	до 300

Примечание.

На месторождениях 2-й группы сложности с невыдержанным качеством угля расстояния между линиями и скважинами на линиях для категории В принимаются аналогичными указанным для категории А.

На месторождениях 3-й группы сложности с невыдержанным качеством угля расстояния между линиями и скважинами на линиях для категории С₁ принимаются аналогичными указанным для категории В.

На оцененных месторождениях разведочная сеть для категории С₂ по сравнению с сетью для категории С₁ разрежается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

Следует иметь в виду, что эти рекомендации не являются универсальными, и для конкретного месторождения они уточняются по результатам изучения участков детализации с учетом специфических особенностей его геологического строения и характера угленосности.

Разделение пластов по выдержанности мощности осуществляется в зависимости от их мощности и предполагаемого способа добычи. В практике разведки и промышленной оценки угольных месторождений России это разделение производится для тонких (мощностью от 0,71 до 1,2 м для подземной и менее 2,0 м для открытой добычи) и для средней мощности пластов (от 1,21 до 3,5 м для подземной добычи и от 2,01 до 15–20 м для открытой) [30]. Степень выдержанности пластов обычно устанавливается для площади размером не менее 4 км².

К выдержанным относятся пласты, для которых отклонения от среднего значения общей мощности на оцениваемой площади для тонких пластов, как правило, не превышают 20 %, для пластов средней мощности – 25 %, при этом для тонких пластов наименьшее значение должно превышать установленную кондициями минимальную мощность на величину возможной ошибки определения; участки с нерабочим значением мощности отсутствуют, строение пласта однородно, показатели качества угля (сланца) не имеют существенных отклонений от средних величин.

Для относительно выдержанных пластов отклонения от среднего значения общей мощности на оцениваемой площади для тонких пластов, как правило, не должны превышать 35 %, а для пластов средней мощности – 50 %; закономерности пространственного изменения морфологии пласта и качества угля должны быть установлены.

К невыдержанным относятся пласты, по которым, вследствие резкой изменчивости мощности или строения, а также вследствие близости мощности к пределам кондиций, наблюдаются многочисленные нерабочие по мощности локальные участки.

Как уже отмечалось, неоднозначность построений может быть оценена лишь при наличии избыточных определений. Создать такие определения, в условиях оговоренной конфигурации сети замеров, можно в пределах четырехугольной ячейки сети скважин следующим образом [76].

Рассмотрим выпуклый четырехугольник с вершинами – точками замеров изучаемого признака (рис. 2.1).

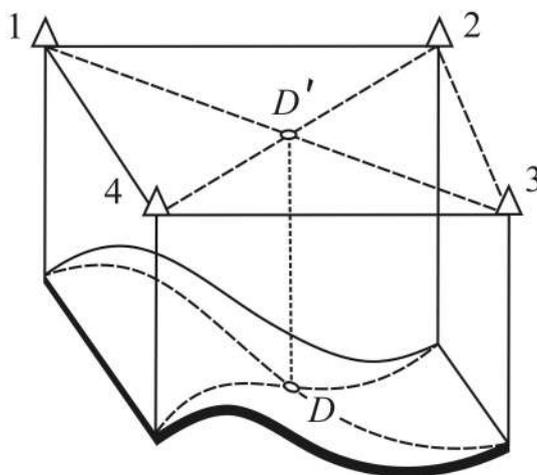


Рис. 2.1. Искусственное создание косвенных избыточных определений в контуре четырехугольной ячейки сети замеров

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 D . Изучаемый признак P , в соответствии с постулированным П. К. Соболевским свойством однозначности геополя, должен иметь в точке D одно единственное значение.

Используя некоторый метод интерполирования, можно определить значение признака в точке D 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 разведанности изучения признака в контуре четырехугольника сети измерений может быть определен выражением

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

Разумеется, на практике форма четырехугольной ячейки скважин не может быть произвольной и должна отвечать определенным условиям, содержание которых будет рассмотрено в подразделе 2.3.

Предлагаемый подход, имея совершенно иное теоретическое обоснование, внешне – прежде всего в части формы оценочного блока (четырёхугольника сети измерений) – напоминает подход А. И. Осецкого [38]. Поэтому следует особо выделить элементы, отличающие «красные числа» А. И. Осецкого от критерия K_p :

– критерий А. И. Осецкого ориентирован на оценку многовариантности определения только объема полезного ископаемого, а K_p на оценку неоднозначности горно-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_p возможна оценка неоднозначности модели любого количественно определяемого признака.

Метод интерполяции, используемый при расчетах критериев K_p , должен по точности соответствовать методу, использованному при построении модели размещения признака. Однако, возможно применение критерия и в случае, когда эти методы значительно 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_p ,

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

$$K_p = f |P_{1-3} - P_{2-4}| \quad (2.3)$$

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.

Таким образом, предлагаемый подход к 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 кригинга, аппроксимацией различными аналитическими функциями, методом блуждающего окна и т. д.

Рассмотрим применение предложенного подхода к оценке достоверности моделей основных оцениваемых признаков.

2.3. Оценка неоднозначности модели гипсометрии угольного пласта

Гипсометрия угольного пласта является одним из наиболее значимых горно-геологических факторов, определяющим, во многом, 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 формализовано 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 [83].

Поэтому, несмотря на то, что теоретически расчет критерия разведанности 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 нежелательной, 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 Уильяма 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 методологии геометризации недр.

Таким образом, в качестве рабочей гипотезы о виде интерполяционной функции, применимой при интерполяции высотных отметок пласта в межскважинном пространстве, может быть принято предположение об использовании для этих целей кубической сплайн-функции (рис. 2.2).

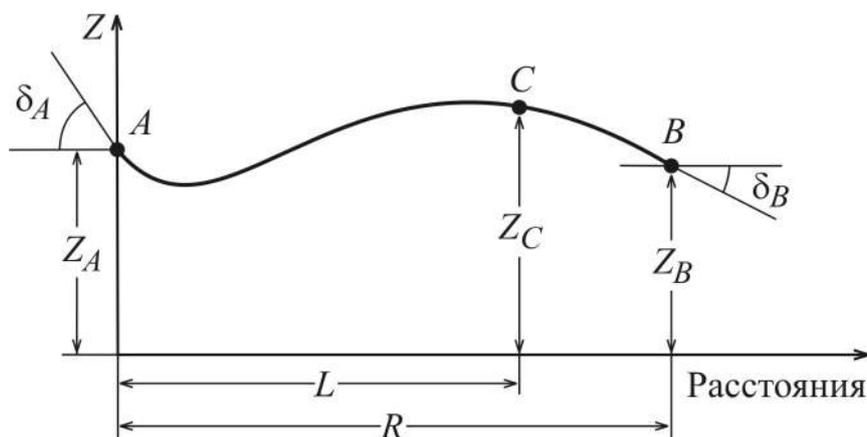


Рис. 2.2. Сплайн-интерполяция высотных отметок пласта в межскважинном пространстве

Если имеются два, удаленных друг от друга на горизонтальное расстояние R , замера (A и B – рис. 2.2) 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

$$Z_C = [F_1(x)T(\delta_A) - F_2(x)T(\delta_B)]R + (Z_A - Z_B)F_3(x) + Z_A, \quad (2.4)$$

где $T(\delta_j)$ – тангенс угла падения пласта по направлению линии разреза, причем, если направление падение пласта совпадает с направлением оси «Расстояние» (рис. 2.2), то тангенс берется со знаком «минус», а в противном случае – со знаком «плюс» (рис. 2.3);

$$x = \frac{L}{R}; \quad (2.5)$$

$$F_1(x) = (1-x)^2 x; \quad F_2(x) = (1-x)x^2; \quad F_3(x) = (3-2x)x^2. \quad (2.6)$$

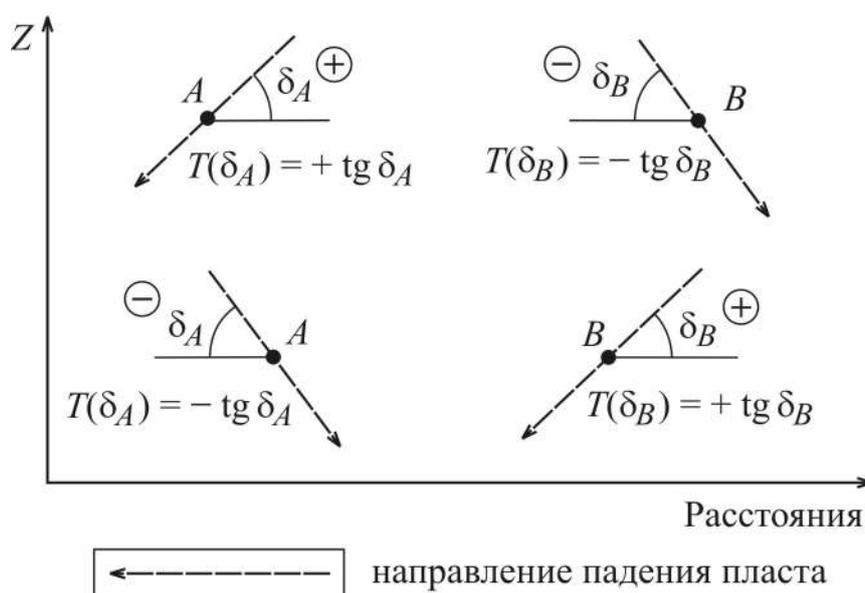


Рис. 2.3. Определение значений функции $T(\delta_j)$

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 [6]. 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 углереззам 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. 2.4, указывают на наличие между отклонениями тесной (коэффициент корреляции 0,81) корреляционной связи.

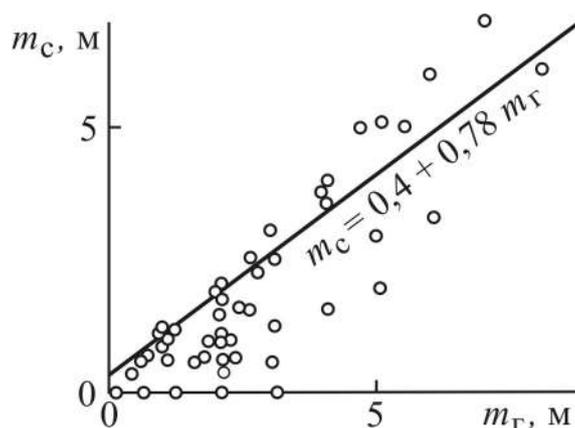


Рис. 2.4. Взаимосвязь погрешностей сплайн-интерполяции отметок (m_c) и погрешности традиционных геологических построений (m_r)

Однако приведенное на рисунке уравнение связи указывает лишь на незначимое преимущество сплайн-интерполяции в плане точности, т. е. на их равнозначность.

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

$$\lambda_{\theta} = \left| \begin{aligned} & [F_1(x)T(\delta_1) - F_2(x)T(\delta_3)]R_1 + (Z_3 - Z_1)F_3(x) + Z_1 - \\ & - [F_1(x')T(\delta_2) - F_2(x')T(\delta_4)]R_2 - (Z_4 - Z_2)F_3(x') - Z_2 \end{aligned} \right|, \quad (2.7)$$

где R_1, R_2 – длины проекций диагоналей 1–3 и 2–4 четырехугольника (рис. 2.5); x, x' – отношения длин, определенные по формулам (2.5); Z_i – высотная отметка пласта в точке i -го пластоподсечения; δ_j – угол падения пласта в точке производства j -го замера в направлении прилегающей к ней диагонали. Функции F_j определяются по значениям параметров x или x' по формулам (2.6).

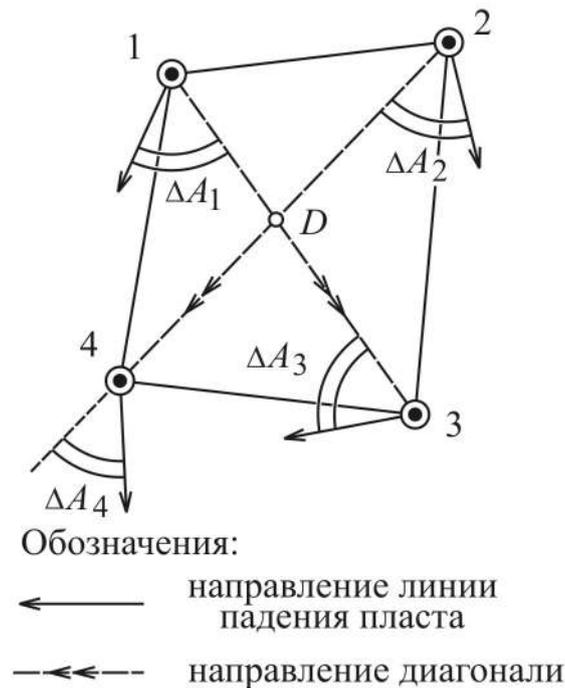


Рис. 2.5. Расчетная схема порядка определения лямбда-критерия разведанности

Формула (2.7) записана, исходя из условия, что каждой из вершин четырехугольного оценочного блока присваивается условный номер i ($i = 1, 2, 3, 4$).

Условный номер присваивается, начиная с произвольной вершины блока, и увеличивается по мере обхода его контура по или против направления движения часовой стрелки.

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

$$\delta_j = \arctg(\operatorname{tg}\delta'_j \cos \Delta A_j), \quad (2.8)$$

где δ'_j – угол падения пласта в точке производства j -го замера; ΔA_j – острый угол между направлением диагонали и направлением линии падения пласта.

Ламбда-критерий $\lambda_{\text{в}}$, как это следует из формулы (2.7), оценивает неоднозначность построений гипсометрии пласта в направлении вертикали. По-видимому, такой подход далеко не всегда справедлив, поскольку для не горизонтально залегающих пластов, особенно для пластов крутого залегания, одна и та же вертикальная неопределенность в положении пласта приводит к различным смещениям в положении пласта на разрезе (рис. 2.6).

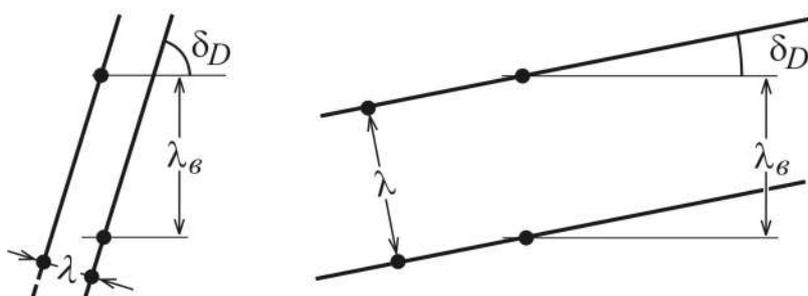


Рис. 2.6. К необходимости пересчета критерия разведанности $\lambda_{\text{в}}$ в нормальное к пласту направление

Поэтому гораздо более приемлемой представляется оценка неоднозначности моделей гипсометрии не в вертикальном, а в нормальном к пласту направлении.

Как показал проведенный авторами специальный опрос главных маркшейдеров и геологов всех шахт Кузбасса, такой подход совпадает с их представлениями и отвечает практическим требованиям угледобывающих предприятий [52].

При известном угле падения пласта (δ_D) в точке D пересечения диагоналей четырехугольника сети замеров, значение лямбда-критерия в нормальном к пласту направлении вычисляется по формуле

$$\lambda = \lambda_B \cos \delta_D. \quad (2.9)$$

Значение угла δ_D в точке D 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). Для условий сплайн-интерполяции функции $T(\delta)$, описанные в формуле (2.6), равны

$$T_{1-3} = (1 - 4x + 3x^2)T(\delta_1) - (2x - 3x^2)T(\delta_3) + \frac{6}{R}(Z_3 - Z_1)(1 - x)x, \quad (2.10)$$

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

Практически, решение задачи по определению δ_D сводится к задаче об определении угла падения плоскости по известным углам ее падения в двух не параллельных направлениях.

Аналитически решение может быть произведено по формулам [7]:

$$\operatorname{ctg} \alpha_D = \frac{\operatorname{ctg} \delta_{1-3} \cos \alpha_{1-3} - \operatorname{ctg} \delta_{2-4} \cos \alpha_{2-4}}{\operatorname{ctg} \delta_{1-3} \sin \alpha_{1-3} - \operatorname{ctg} \delta_{2-4} \sin \alpha_{2-4}}, \quad (2.11)$$

$$\operatorname{ctg} \delta_D = \operatorname{ctg} \delta_{1-3} \sin (\alpha_{1-3} - \alpha_D), \quad (2.12)$$

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 (в направлении от скважины с меньшим условным номером к большему); 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.

Расчет лямбда-критериев разведанности оценочного блока по формуле (2.7) осуществляется по схеме, приведенной в табл. 2.2 (разумеется, на практике расчет выполняется с использованием средств вычислительной техники, реализующей приведенную в таблице последовательность действий).

Таблица 2.2

Таблица расчета лямбда-критерия разведанности
Условные и фактические номера скважин, вершин оценочного блока:

1 – 3975;

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– D	303	23	L' – расстояние 2– D	305
3	$x = L / R$	0,603	24	$x' = L' / R'$	0,614
4	$F_1(x) = (1 - x)^2 x$	0,095	25	$F_1(x') = (1 - x')^2 x'$	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	$T(\delta'_1) = \pm \operatorname{tg}\delta_1 \cos \Delta A_1$	+0,267	30	$T(\delta'_2) = \pm \operatorname{tg}\delta_2 \cos \Delta A_2$	+0,347

№	Формула	Число	№	Формула	Число
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
19	$(Z_3 - Z_1)$	+86	40	$(Z_4 - Z_2)$	+73
20	(6)×(19)	+56,0	41	(27)×(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)×(44)	-0,086	56	(30)×(53)	-0,113
48	(12)×(45)	+0,003	57	(33)×(54)	-0,003
49	(19)×(46) / (1)	+0,246	58	(40)×(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	α_{1-3} или α_{3-1}	349°	61	α_{2-4} или α_{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)×(62) – (60)×(64)	-4,018	67	(51)×(63) – (60)×(65)	-5,022
68	$\text{tg} \alpha_D = (67) / (66)$	1,250	69	α_D	231°
70	$\varphi = (52) - [(69) + 90^\circ]$	28°	71	$\cos [(70)]$	0,883
72	$\text{tg} \delta_D = (50) / (71)$	0,185	73	$\delta_D = \text{arctg} [(72)]$	10°
74	$\lambda = \lambda_B \cos \delta_D = (43) \times (73)$	3,8 м			

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 ламбда-критерия в вертикальном направлении по формуле (2.7), а ячеек 44–74 – перевычисление его в нормальное к пласту направление по формулам (2.9)–(2.11) и несколько преобразованной формуле (2.12).

При заполнении ячеек 52, 61 используются, дополнительно определяемые с помощью горно-геометрической модели, дирекционные углы диагоналей четырехугольника сети замеров.

В ячейках 52 и 61, в зависимости от знаков чисел в ячейках 51 и 60 и в соответствии с комментариями к формуле (2.12), приводятся значения дирекционных углов направления 1–3 (или 3–1 – α_{1-3} или α_{3-1}) и направления 2–4 (или 4–2 – α_{2-4} или α_{4-2}).

При определении величины дирекционного угла α_D линии простирания пласта в точке пересечения диагоналей D (ячейка 69) по значению его тангенса, указанного в ячейке 68, пользуются правилами, приведенными в таблице 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 D (ячейка 70). В первую очередь, определяется направление линии падения α_{Π} (указанное в ячейке 70 в виде формулы $[(69) + 90^\circ]$), путем увеличения угла α_D на 90° . В рассматриваемом примере оно равно 321° ($231^\circ + 90^\circ$). Если полученная величина α_{Π} превысила бы 360° , то из результата следовало бы вычесть 360° .

Таблица решений при вычислении угла α_D

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

Например, при $\alpha_D = 311^\circ$, угол α_n составил бы $311^\circ + 90^\circ = 401^\circ$ или, после вычитания $360^\circ - 41^\circ$. После расчета величины α_n определяется собственно острый угол φ между направлениями α_n 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° (рис. 2.7). Естественно, что угол φ всегда положителен.

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

Следует подчеркнуть, что «ручной» вариант расчета лямбда-критериев приведен только с целью иллюстрации алгоритма его выполнения. При выполнении реальных расчетов используется компьютерная технология обработки данных.

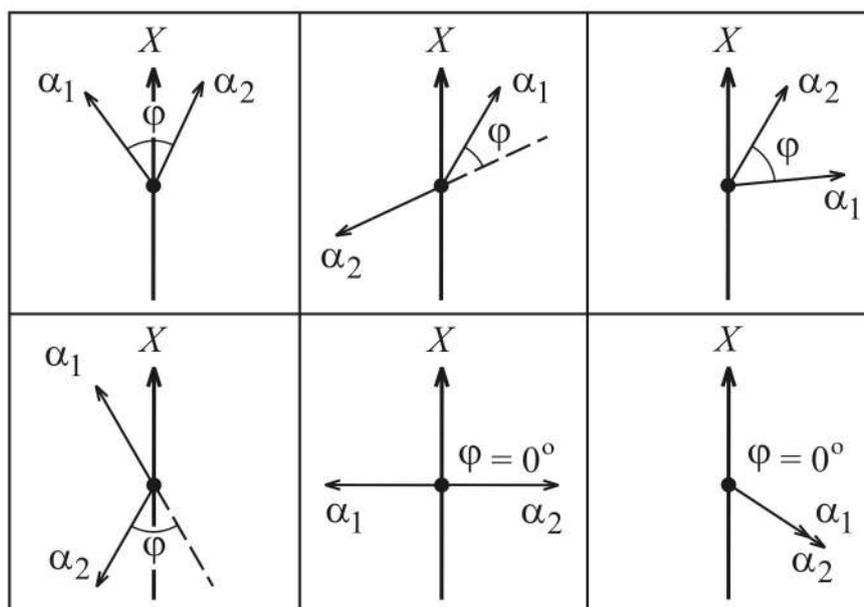


Рис. 2.7. Таблица решений при определении значения острого угла φ между двумя направлениями α_1 и α_2

Перечень и порядок подготовки необходимой для ее производства информации будет рассмотрен в разделе 3. При оценке неоднозначности моделей гипсометрии пластов крутого и круто-наклонного залегания (подсчет запасов которых выполняется в проекции на вертикальную плоскость) рекомендуется предварительно отстраивать их изофронтальные проекции. Положение почвы пласта изображается в этом случае системой изофронталей, т. е. линий равного удаления его почвы от выбранной вертикальной плоскости проектирования.

Расчеты лямбда-критериев ведутся аналогично рассмотренной схеме на основе рассмотрения изофронтальной проекции в виде аналога гипсометрического плана. При этом вместо углов падения фактически используются зенитные углы, а вместо высотных отметок пластоподсечений – расстояния до плоскости проектирования.

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.

Выборка формировалась по материалам разведки девяти шахт Кузбасса, относящихся ко всем трем выделяемым группам сложности геологического строения: «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.

Объем выборки является явно избыточным для установления парной зависимости «значение лямбда-критерия – категория запасов».

Разнообразие сложности геологического строения объектов и значительное количество авторов категоризации, обеспечивают получение наиболее представительной оценки значений критериев для различных категорий запасов.

В результате обработки материалов установлены наивероятнейшие диапазоны изменения лямбда-критериев для категорий А и В: $0 \leq \lambda \leq 7$ м – для категории А; $7 < \lambda \leq 13$ м – для категории В [87]. В среднем эти значения соответствуют предельной погрешности гипсометрического плана в контуре запасов категории А ± 4 м, а в контуре запасов категории В – ± 8 м.

Отметим, что геометризация гипсометрии пластов с погрешностью до ± 4 м признается руководителями маркшейдерских и геологических служб угледобывающих предприятий вполне приемлемой для обеспечения планирования ведения горных работ [52].

К сожалению, в связи с незначительным количеством оконтуренных скважинами подсчетных блоков категории С₂, верхнюю границу для категории С₁ статистически установить невозможно. На основании обобщения опыта практической работы авторов в ее качестве рекомендуется величина 42 м, которая соответствует ожидаемой погрешности отметок гипсометрического плана ± 25 м.

По результатам расчетов лямбда-критериев разведанности гипсометрии с использованием лямбда-критериев разведанности выполняется построение картограммы разведанности, на которой указываются контуры запасов различных категорий. Ее построение предшествует выделению по пласту подсчетных геологических блоков.

При сложном характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма выполняется в графической форме (рис. 2.8), в виде плана в произвольном масштабе, на котором различными условными знаками (цветом или штриховкой) указываются границы контуров различных категорий запасов.

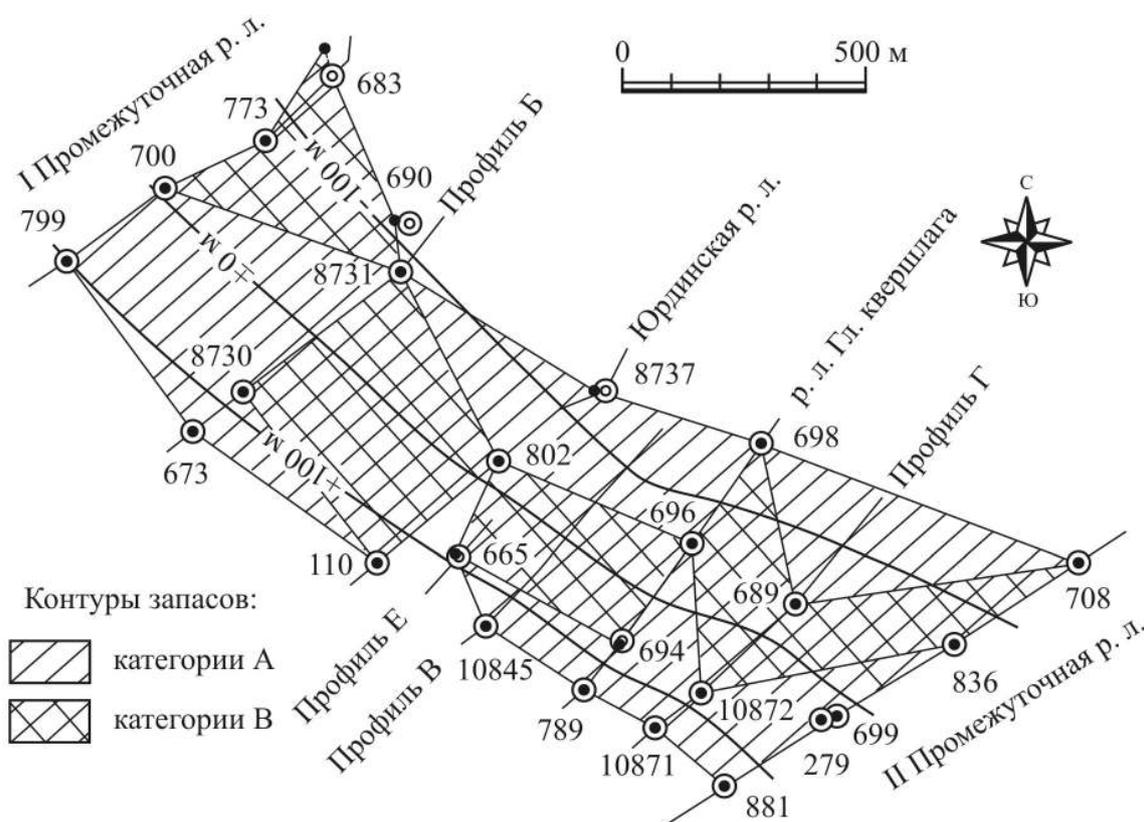


Рис. 2.8. Картограмма разведанности гипсометрии пласта Наддальний участка «Колмогоровский Глубокий»

При простом характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма может выполняться в форме текстового описания границ их размещения.

При оценке достоверности запасов месторождений 2-й и 3-й групп сложности геологического строения, на которых действующей «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [19] не предусмотрено выделение, соответственно, запасов категорий А и А+В, картограммы выполняются с учетом данного обстоятельства, путем понижения рекомендуемых количественной оценкой высоких категорий запасов до уровня допустимых к применению.

Рассматривая приведенный на рис. 2.8 пример картограммы следует обратить внимание на два обстоятельства.

Во-первых, в пределах картограммы могут возникать контуры, в пределах которых количественная оценка не выполнялась (контур в районе скважин 110 и 802 по Юрдинской разведочной линии). Возникновение таких контуров связано с невозможностью выделения четырехугольников сети скважин отвечающих определенным требованиям к их геометрической форме.

Во-вторых, на картограмме могут выделяться незначительные по площади контуры повышенной степени разведанности (например, запасов категории А в треугольнике скважин 673, 8730 (на Профиле Б), 110 (на Юрдинской разведочной линии). Собственно треугольная форма контура возникает вследствие частичного пересечения двух четырехугольных блоков оценки, имеющих различную категорию достоверности (в примере на рис. 2.8 – четырехугольников 673 – 8730 – 802 – 110 и 8730 – 8731 – 802 – 110).

Учет данных обстоятельств осуществляется на завершающей стадии выполнения количественной оценки достоверности при построении итоговой картограммы разведанности.

2.4. Требования к геометрической форме оценочного четырехугольника сети скважин

Выделение системы четырехугольников (квадриангулирование) в реальных сетях геологоразведочных скважин 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 явно должна увеличиваться 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 по четырем разрезам Кузбасса: «Краснобродскому», «Новосергеевскому», «Киселевскому» и «Бачатскому», содержащие данные о фактическом положении угольных пластов установленных по результатам инструментальной съемки. На этих профилях было выделено 302 участка (256 моноклиналиного и 46 замкового типа), по которым производилась сплайн-интерполяция отметок пластов.

Расстояния между узлами интерполирования в плане 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. 2.9 приведены полигоны распределения частот встречи максимальных погрешностей на различных расстояниях от узлов.

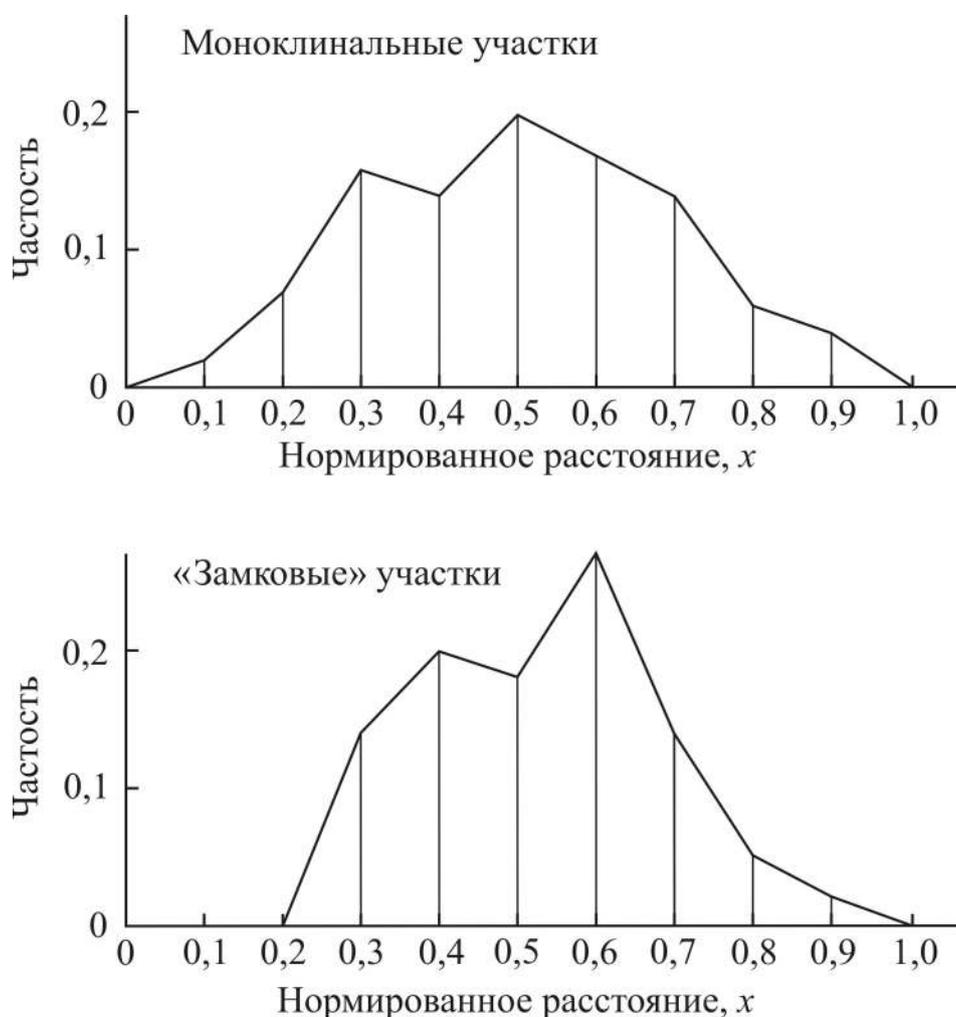


Рис. 2.9. Полигоны распределения расстояний, при которых имеет место максимальная погрешность интерполяции

Как и следовало ожидать, наиболее вероятна встреча максимальной погрешности на середине расстояния между узлами (скважинами).

Исходя из характера распределения, 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. 2.4. Из нее следует, что появление максимальной погрешности в точках, удаленных от узлов интерполяции на нормированное расстояние от 0,3 до 0,7, практически равновероятно. Вероятность же появления максимальной погрешности в интервалах длин от 0 до 0,2 и от 0,8 до 1 пренебрежительно мала.

Таблица 2.4

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
Моноклиальные 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

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 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 прогнозирования, приведенная в табл. 2.5, свидетельствует о явной бесперспективности такого подхода.

Таблица 2.5

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

Таким образом, ранее сформулированные требования к нахождению параметров x и x' в пределах от 0,3 до 0,7 сохраняют свою силу. Эти характеристики предлагается именовать характеристиками «деформированности» оценочного блока.

Интересно отметить, что С. Г. Бишарян [5], исследуя точность оконтуривания 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 не промышленной скважинами – прямой аналог параметра x) находится 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, 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. 2.10). Частично они могут принимать форму четырехугольника с достаточно острыми углами или, при значительном расхождении в длинах диагоналей – ромбовидную форму. Поэтому даже в условиях нахождения 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 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 предельно допустимое значение внутреннего угла оценочного блока β (рис. 2.10).

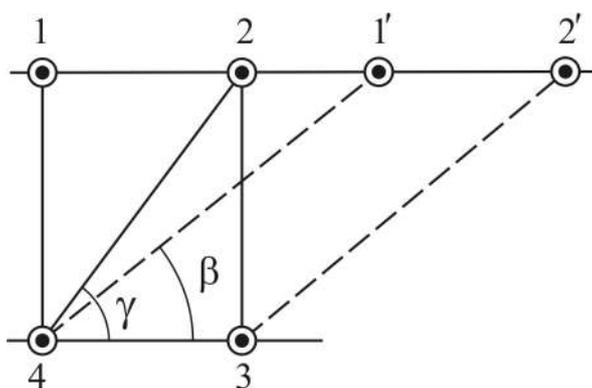


Рис. 2.10. К оценке допустимой «косоугольности» оценочного блока

Несложно показать, что

$$\operatorname{ctg}\beta = \sqrt{\frac{V^2}{\sin^2\gamma} - 1} - \operatorname{ctg}\gamma . \quad (2.13)$$

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. На рис. 2.11 приведены два примера таких зависимостей. Общее число выполненных интерполяций составило 1106.

Во всех случаях графики демонстрировали рост дисперсии значений максимальных погрешностей по мере увеличения расстояний. На каждом графике были проведены прямые, ограничивающие максимальные ($P_{\text{б}} = al$) и минимальные ($P_{\text{м}} = bl$) погрешности. Таким образом, для одного и того же расстояния l максимальная погрешность может меняться в диапазоне от al до bl .

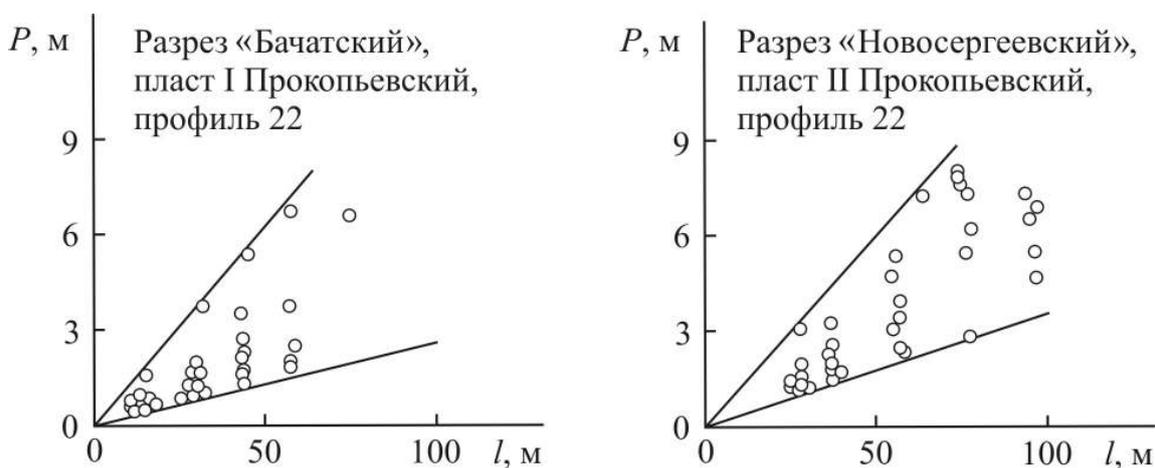


Рис. 2.11. Зависимость величины максимальной погрешности интерполирования P от расстояния между замерами l .

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 раз (в среднем 4,0). Исходя из этого, в качестве лимитирующего значения V разумно принять наименьшее – 2,6. Данное отношение можно характеризовать в качестве показателя «ромбовидности» оценочного блока. Отсюда отношение длин диагоналей (большой к меньшей) не должна превышать 2,6. На рис. 2.12 приведена зависимость значения угла β от $\text{tg}\gamma$ 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° (которая характеризует предельную «косоугольность» оценочного блока).

Три приведенные выше ограничения предложены Шаклеиным С. В. и, по его мнению, полностью обеспечивают выполнение контроля геометрической формы блока.

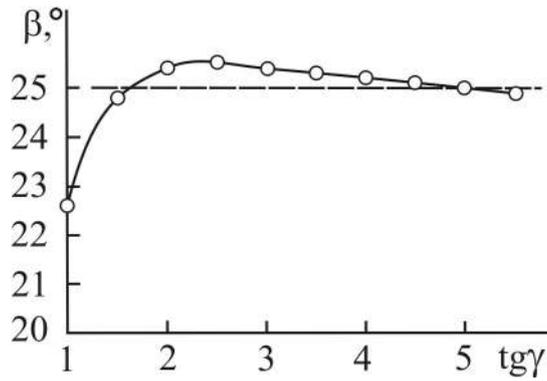


Рис. 2.12. Зависимость допустимого значения внутреннего угла оценочного блока β от $\text{tg}\gamma$ при $V = 2,6$

Роговой Г. Б. обращено внимание на то, что означенные характеристики оценочных четырехугольных блоков не учитывают ограничения по их «вытянутости» B , под которой понимается отношение средней длины двух самых протяженных его сторон к средней длине двух коротких (которые определяются в плоскости пласта).

При условии, что наименьшими длинами четырехугольника являются стороны 1–2 и 3–4 (рис. 2.5) расчет B производится по формуле

$$B = \frac{L_{1-4} + L_{2-3}}{L_{1-2} + L_{4-3}}, \quad (2.14)$$

где

$$L_{1-4} = \sqrt{(X_1 - X_4)^2 + (Y_1 - Y_4)^2 + (Z_1 - Z_4)^2};$$

$$L_{2-3} = \sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2 + (Z_2 - Z_3)^2};$$

$$L_{1-2} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2};$$

$$L_{4-3} = \sqrt{(X_4 - X_3)^2 + (Y_4 - Y_3)^2 + (Z_4 - Z_3)^2}.$$

Необходимость ограничения блоков по «вытянутости» следует из следующих соображений.

Пусть в пределах контура оценки выделены два четырехугольных блока 1–2–3–4 и 4–3–6–5 (рис. 2.13). Оба этих блока, с позиции выше приведенных ограничений на их «деформированность», «косоугольность» и «ромбовидность» являются практически идеальными. В тоже время их «вытянутость» B существенно различна.

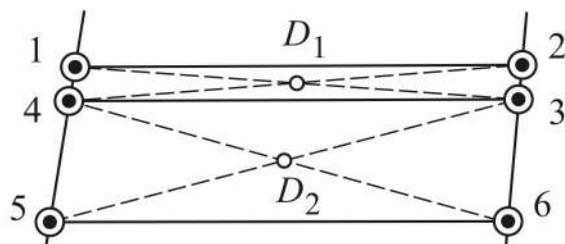


Рис. 2.13. К необходимости учета «вытянутости» блоков

Представим себе, что расстояния между вершинами 1–4 и 2–3 постоянно уменьшаются и становятся пренебрежительно малыми. В этом случае исходные данные по скважинам 1 и 4, а также 2 и 3 будут практически совпадать, а диагонали 1–3 и 2–4 «сольются».

Совершенно очевидно, что в этом случае разница в значениях признака в точке D_1 , полученная из интерполяции вдоль диагоналей 1–3 и 2–4, будет равна нулю для модели любого качества. Таким образом, высокая «вытянутость» блока приводит к нарушению основного предлагаемого принципа оценки, состоящего в создании косвенных избыточных измерений, т. к. они становятся в рассматриваемой ситуации зависимыми друг от друга. Отсюда следует необходимость установления такого уровня «вытянутости» четырехугольника сети скважин, при которой результаты интерполяции по диагоналям допустимо считать независимыми.

В качестве исходных данных для проведения исследований влияния «вытянутости» на результаты оценки использованы материалы горных работ, которые можно, в сравнении с геологоразведочными данными, считать безошибочными.

В рамках исследований по результатам маркшейдерских съемок между удаленных и ориентированных по падению пласта горных выработок выделялась серия оценочных блоков с одной общей «длинной» стороной блоков – рис. 2.14).

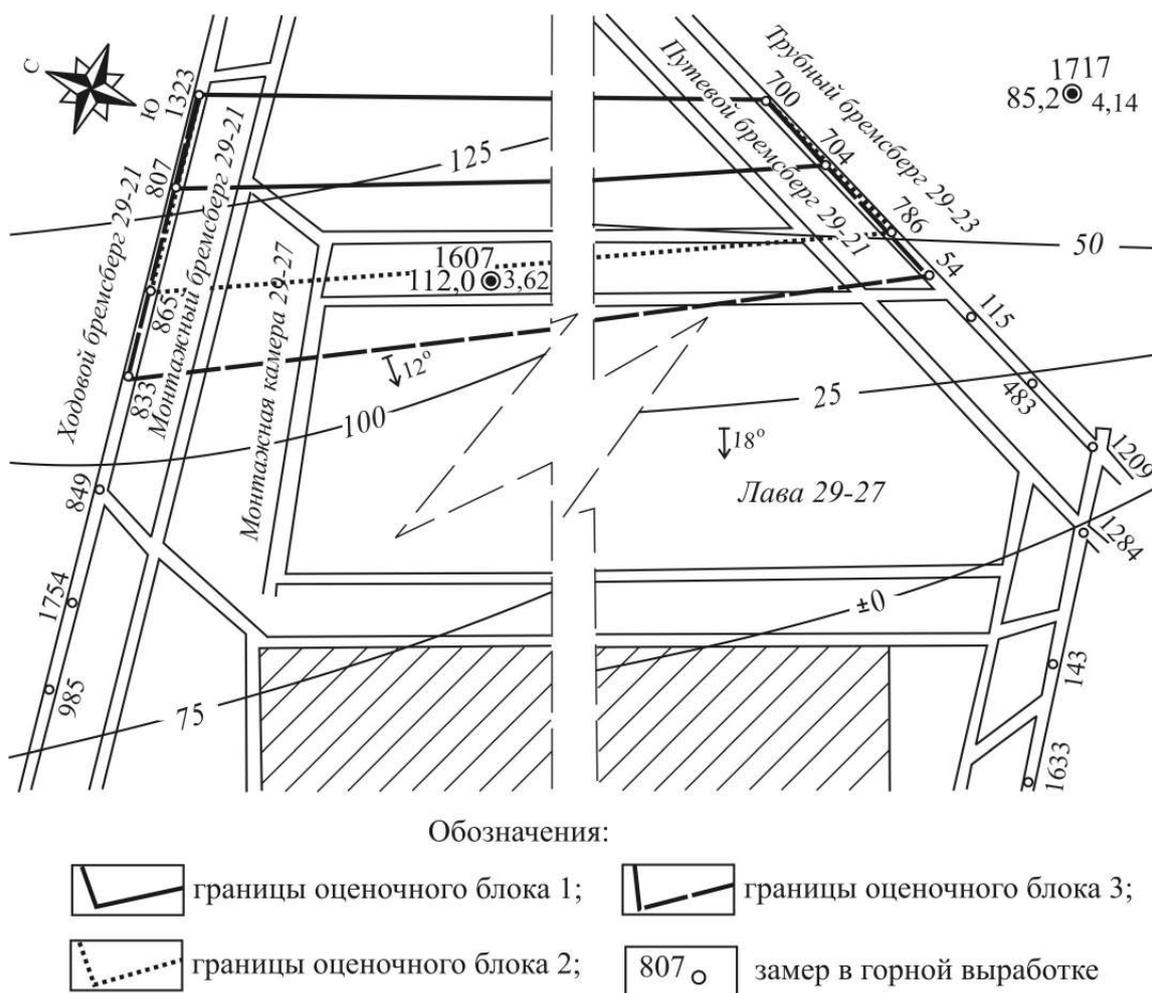


Рис. 2.14. К методике определения предельной «вытянутости» блока (шахта «Антоновская», пласт 29а)

Так, применительно к рис. 2.14 последовательно выделялась серия оценочных четырехугольников, «опирающихся» на одну сторону (точка маркшейдерской сети 1323 – ходовой бремсберг 29-12 и точка 700 – трубный бремсберг 29-23): 1323 – 700 – 704 – 807, 1323 – 700 – 785 – 805, 1323 – 700 – 54 – 833 и т. д., характеристика вытянутости B которых постоянно уменьшалась.

Теоретически при значительной вытянутости блоков (при которой диагонали практически «сливаются») между параметром B и величиной критерия не должно наблюдаться значимой зависимости (точнее она должна характеризоваться постоянными, не зависящим от степени вытянутости, значениями критериев). Такую зависимость будем, в целях дальнейшего изложения, называть зависимостью первого типа.

При незначительной вытянутости такая зависимость должна проявляться, демонстрируя явную зависимость значений критериев от степени вытянутости, т. е. от площади ячейки сети измерений (ее плотности). Именно в условиях действия такой зависимости (которую будем именовать зависимостью второго типа) полученные критерии разведанности следует рассматривать как информативные, т. е. реально отражающие степень неоднозначности построений.

Понятно, что должен существовать третий, переходный тип зависимости, при котором одновременно значимо действуют как фактор «слияния» диагоналей, так и фактор неоднозначности построений. Совокупное влияние всех трех типов зависимости должно приводить к гиперболической форме зависимости, при которой ветви аппроксимирующей гиперболы будут соответствовать двум первым типам, а часть, тяготеющая к фокусу, – к третьему типу.

Для проведения исследования были использованы материалы по пластам шахт «Антоновская», «Березовская», «Первомайская», «Красноярская», «Ольжерасская», «Костромовская», которые имеют различную сложность строения, нарушенность и степень разведанности.

Использованные точки маркшейдерской сети в наклонных выработках (ориентация которых совпадает с ориентацией разведочных линий) были расположены на удалении 40–50 м друг от друга, что позволило выделять оценочные блоки с различной вытянутостью. Для каждого из выделенных оценочных блоков осуществлялся расчет лямбда-критериев разведанности и характеристика вытянутости B .

По результатам расчетов построена серия графиков зависимости значений лямбда-критериев от характеристики вытянутости блоков (две из которых приведены на рис. 2.15).

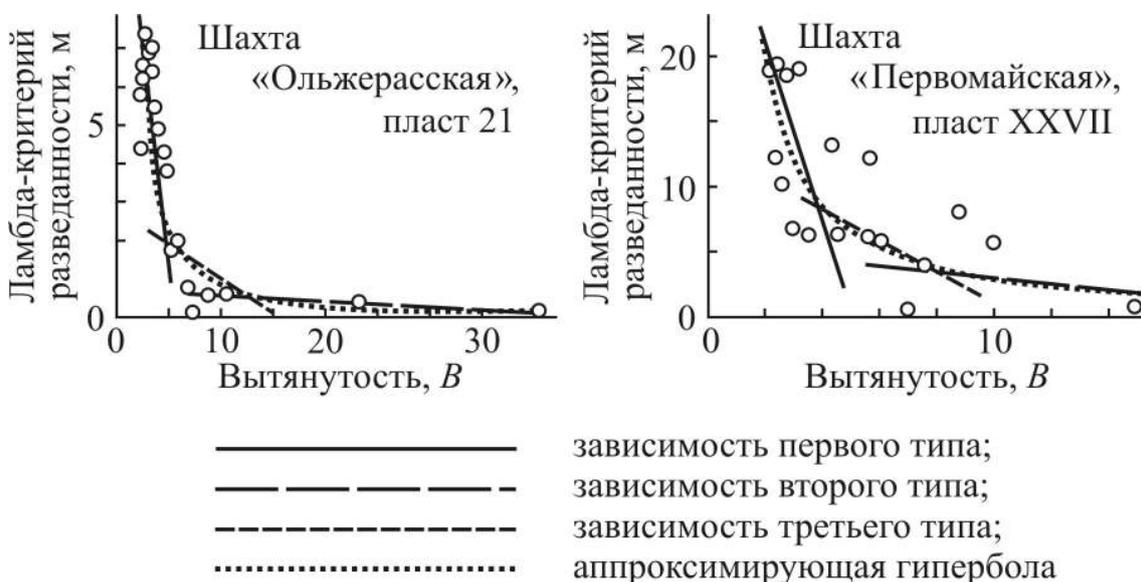


Рис. 2.15. Характер изменения значений лямбда-критериев разведанности в зависимости от «вытянутости» оценочных четырехугольных блоков

Для реализации процесса разделения полученных точек графиков (рис. 2.15) по типам зависимостей использовано предварительное построение гипербола, аппроксимирующей зависимость «критерий – вытянутость». В качестве точки, соответствующей предельно допустимой вытянутости B , следует рассматривать точку пересечения линейных зависимостей типа один и три.

По результатам проведенных исследований параметр B для различных объектов изменялся от 20 до 4. Таким образом, в качестве предельного значения характеристики «вытянутости» рекомендуется принять наименьшее из наблюдаемых значений, т. е. 4.

Данная величина обеспечивает возможность практически без ограничений выделять оценочные блоки по разведочным сетям, формируемым на четвертой стадии геологического изучения недр (разведка месторождения [44]), поскольку, возвращаясь к табл. 2.1, преимущественная предельная вытянутость блоков на данной стадии, применяемая только для запасов категории А выдержанных по мощности пластов составляет 4. Следует ожидать, что преимущественное влияние степени «вытянутости» будет наблюдаться в сетях скважин, формируемых на второй и третьей стадиях геологического изучения недр (соответственно, поисковые и оценочные работы [44]).

Отметим, что практически аналогичная по смыслу задача решалась проф. В. А. Букринским при разработке метода установления оптимального окна сглаживания по результатам построения зависимости между показателем сложности кривой, описывающей характер изменения признака вдоль некоторого направления, и размером оптимального окна сглаживания [7].

Однако при ее решении автор не предполагал наличия переходной зоны между зависимостями типа один и два и выбирал в качестве оптимального размера окна сглаживания точку, соответствующую положению фокуса гиперболы. Данный подход, вероятно, несколько превышает размеры окна сглаживания и увеличивает его степень в сравнении с оптимальным.

В целом форма оценочного блока признается корректной в случае, если одновременно выполняются следующие геометрические условия:

– отношения x и x' находятся в диапазоне от 0,3 до 0,7 (условие «деформированности»);

- внутренние углы четырехугольника находятся в пределах от 25 до 155° (условие «косоугольности»);
- отношение проекции длины наибольшей диагонали к проекции длины наименьшей не превышает 2,6 (условие «ромбовидности»);
- вытянутость четырехугольного блока B не превышает 4 (условие «вытянутости»).

2.5. Оценка правомерности интерполяции высотных отметок

Значения лямбда-критериев разведанности могут реально отражать 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. 2.16).

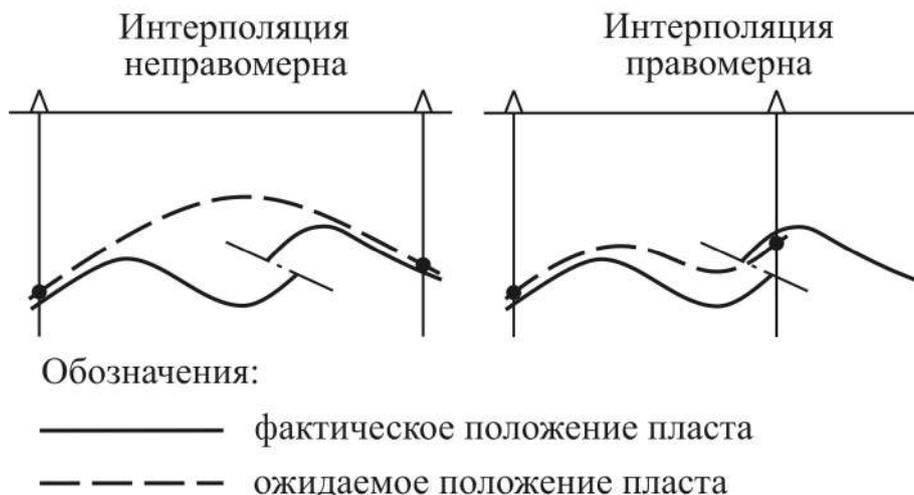


Рис. 2.16. К понятию правомерности интерполяции отметок

Термин «правомерность интерполяции» нормативно введен в современный оборот п. 72 «Методических рекомендаций...» [30], регламентирующей требование к запасам угля категории А: «разведочная сеть обеспечивает правомерность интерполяции между скважинами высотных отметок почвы пласта, мощностей и основных показателей качества, определяющих марочный состав угля».

С позиций теории геометризации месторождений полезных ископаемых, сформулированной в рамках теории геохимического поля П. К. Соболевским, можно, на основе пространной цитаты из работы [72] (приведенной в подразделе 1.2) отождествить оценку правомерности интерполяции с предложенным П. К. Соболевским подходом к выполнению самоконтроля построений. С этой точки зрения правомерность интерполяции достигается в случае, когда имеющаяся сеть наблюдений позволяет однозначно определить систему инвариантов-скатов восстанавливаемой топографической поверхности, в данном случае – гипсометрии пласта.

В связи с тем, что лямбда-критерии разведанности являются информативными только в условиях правомерности интерполяции высотных отметок в межскважинном пространстве, установление факта ее соблюдения является 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 авторами рекомендуется [83] выполнить построение функции (условно названной кривой разведанности), связывающей средние значения лямбда-критериев разведанности и средние площади проекций оценочных четырехугольников ($S_{6л}$), т. е. функции $\lambda = f(S_{6л})$.

Построение кривой предусматривается производить путем последовательного двукратного разрезания разведочной сети (рис. 2.17).

Исходная сеть скважин разделяется на систему четырехугольников, по каждому из которых рассчитывается площадь его проекции и лямбда-критерий (рис. 2.17, а), определяются средние арифметические значения лямбда-критерия – λ_1 и площади – S_1 . Затем производится разрезание исходной сети путем «игнорирования» при формировании четырехугольников каждой второй скважины в линии (рис. 2.17, б). Рассчитываются средние значения критериев и площадей λ_2 и S_2 . И, наконец, сеть подвергается еще более существенному разрезанию путем «игнорирования» каждой второй скважины в линии и каждой второй линии (рис. 2.17, в) с последующим вычислением по его результатам средних значений λ_3 и S_3 .

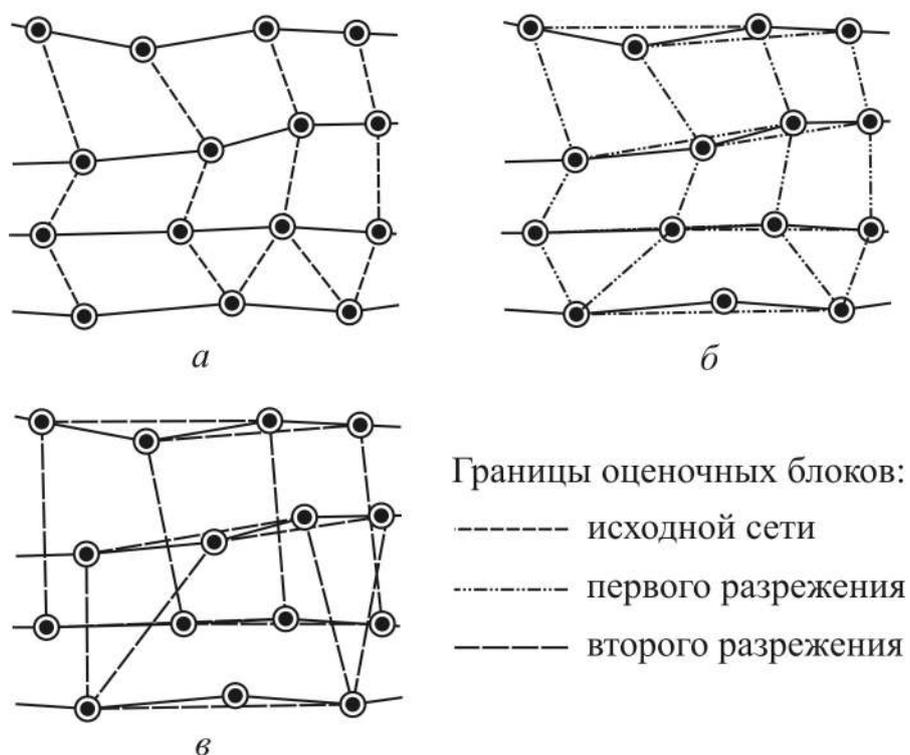


Рис. 2.17. Пример выполнения квадриангулирования при разрезании сети скважин

При выполнении разрежений допускается произвольное взаимное пересечение оценочных блоков с целью использования при выполнении блокировки максимально возможного количества пласто-подсечений. По «координатам» λ_i и S_i на график наносятся три точки кривой A , B и C (рис. 2.18) которые соединяются плавной или ломаной линией – кривой разведанности.

Использование такой 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, при построении функции $\lambda = f(S_{\text{бл}})$ необходимо нейтрализовать действие фактора сложности.

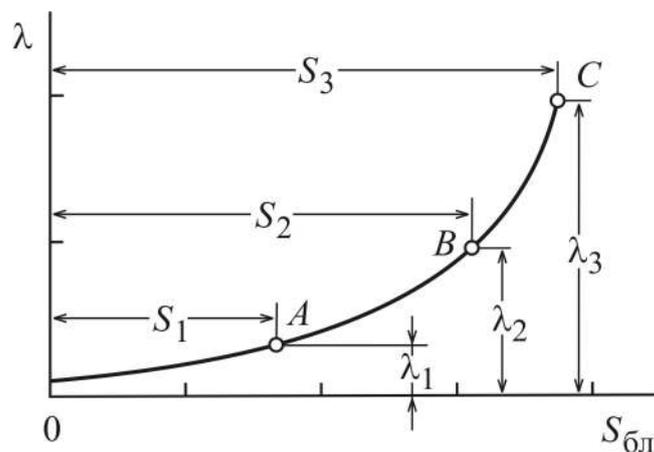


Рис. 2.18. Порядок построения кривой разведанности

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 усреднение получаемых значений охватывает весь исследуемый объект, средняя сложность объекта для всех точек графика будет постоянной.

Построение кривой разведанности без разрежений (простое построение 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: $\lambda = f(S_{\text{бл}}) = \text{const}$, отражая, тем самым, идеально постоянный уровень достоверности запасов.

Всякое частное отклонение от этого уровня должно квалифицироваться либо как переразведка, либо как недоизученность. Естественно, что кривая теоретически должна иметь характер монотонно возрастающей функции (как это показано на рис. 2.18), т. к. по мере снижения плотности сети наблюдений достоверность результатов горно-геометрического моделирования должна постоянно уменьшаться.

Экспериментально установлено, что на практике встречаются несколько основных типов кривых разведанности (рис. 2.19).

К основному, первому типу (рис. 2.19, *a*) 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.

Второй тип кривых разведанности (рис. 2.19, *в, е*) имеет вид совершенно противоречащий теоретическому.

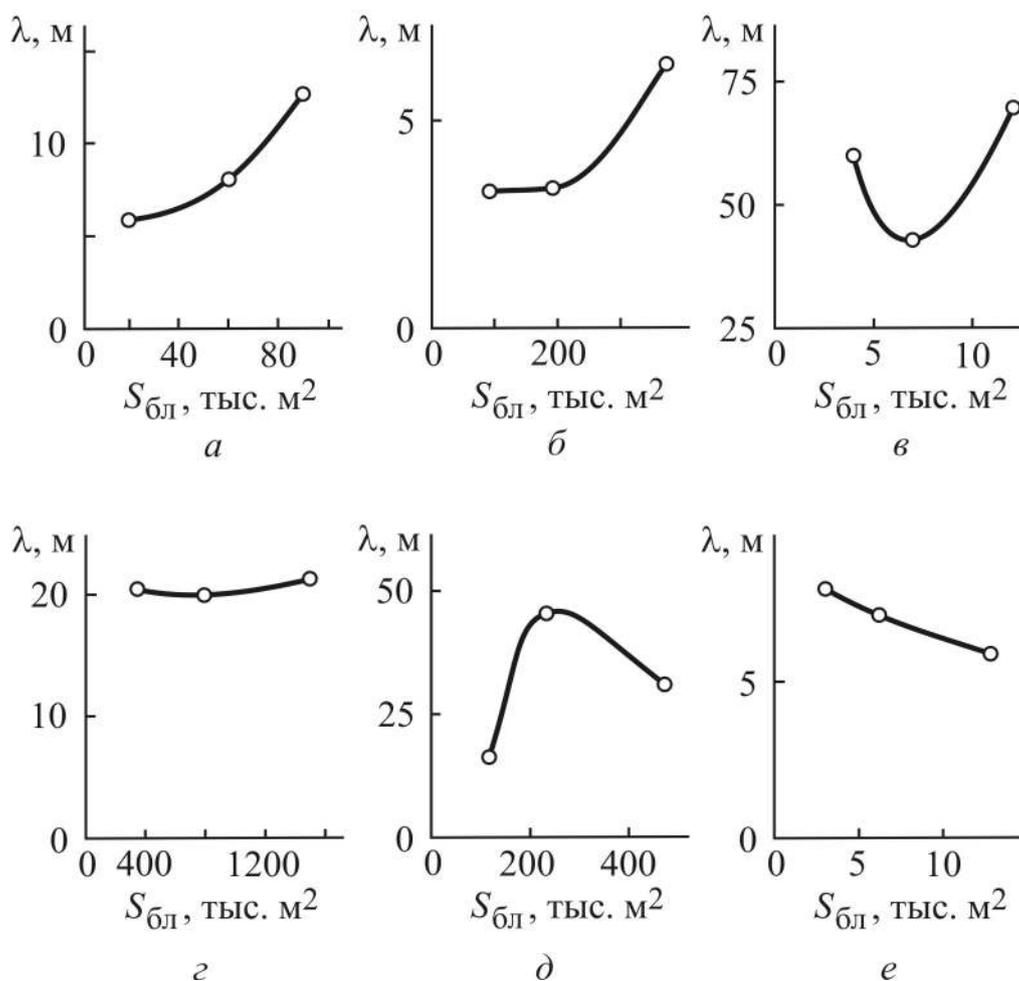


Рис. 2.19. Примеры кривых разведанности:

a – участок «Глушинский», пласт Волковский; *б* – шахта «Первомайская», пласт XXVII, висячее крыло нарушения II; *в* – участок «Ургунский», пласт Двойной-2; *г* – участок «Новоказанский 1-2», пласт 78; *д* – участок «Ровненский», пласт XXVII; *е* – шахта № 12, пласт IV Внутренний, фигура 6

Анализируя такие кривые, можно было бы сделать абсолютно абсурдный вывод о падении точности горно-геометрической модели пласта при увеличении плотности разведочной сети. Понятно, что такое поведение кривой возможно лишь в случае, когда незначительное разрежение исходной сети повсеместно и постоянно приводит к полной потере информации о положении отдельных структурных элементов пласта. Причем, нет никакой гарантии и того, что исходная сеть замеров действительно вскрыла все крупные структурные элементы.

Поэтому такие кривые характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым не обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве.

Следующий промежуточный тип кривой (рис. 2.19, д) объединяет в себе оба предшествующих типа. В начале, 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 относительно слабо разведанных объектов и вполне естественен. Исходная сеть наблюдений позволяет, с той или иной погрешностью, выявить основные структурные элементы пласта, но при ее значительном разрежении наступает момент, когда информация о них начинает теряться. Естественно, что к такому типу можно придти путем производства четвертого и последующих разрежений исходной сети замеров.

Поэтому, для кривых данного типа следует сделать вывод об ограниченной правомерности интерполирования высотных отметок в межскважинном пространстве: для оценочных блоков с площадью меньшей некой критической ($S_{кр}$) она существует, а для большей – отсутствует. При получении кривой рассматриваемого типа, среди 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.

Помимо трех перечисленных типов кривых встречаются типы, в которых средние значения критериев разведанности постоянны либо у всех точек кривой (рис. 2.19, з), либо у отдельных их пар (рис. 2.19, б). Такие формы кривых наблюдаются по «переразведанным» объектам (которые характеризуются небольшими значениями критериев – рис. 2.19, б) или изученным в недостаточной степени (которые характеризуются значительными значениями критериев – рис. 2.19, з).

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 не правомерна».

Таблица решений, позволяющая производить их выбор, приведена на рис. 2.20. Таблица разделяет все кривые разведанности на три основных типа.



Рис. 2.20. Таблица решений по оценке правомерности интерполяции высотных отметок

К первому типу (типы 1а, 1б и 1в на рис. 2.20) относятся кривые разведанности, имеющие вид, соответствующий теоретически ожидаемому (снижение степени разведанности по мере уменьшения плотности разведочной сети). Они характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве.

Второй тип кривых разведанности (типы 3а, 3б и 3в на рис. 2.20) имеет вид явно противоречащий теоретическому. Такие кривые характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым не обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве. При данной форме кривой разведанности лямбда-критерии являются неинформативными и не подлежат интерпретации. Запасы таких объектов рекомендуется квалифицировать по категории C_2 .

Третий, промежуточный тип кривой (типы 2а, 2б и 2в на рис. 2.20) объединяет в себе оба предшествующих типа. В начале кривой, по мере роста площадей оценочных блоков, происходит рост неоднозначности построений (теоретически ожидаемая тенденция – кривая разведанности первого типа), а затем – ее снижение (кривая разведанности второго типа). Данный тип характерен для относительно слабо разведанных объектов, исходная сеть наблюдений для которых позволяет выявить основные структурные элементы пласта, но при ее значительном разрежении наступает такой момент, когда информация о них начинает теряться.

Тип 2в «кривой разведанности» может проявляться и в случае существенной переразведки объекта, т. е. в условиях повсеместной правомерности интерполяции отметок. При проявлении данного типа кривой разведанности проверка предположения о переразведке осуществляется только для объектов первой и второй групп геологической сложности в случае, если величина λ_{3H} не превышает, соответственно, 3 м и 4 м.

В этом случае обычно выполняются два дополнительных разреза сети скважин с использованием полученной кривой разведанности для окончательных выводов. При получении кривой промежуточного типа (рис. 2а, 2б, 2в), среди оценочных блоков выделяются блоки с площадями менее $S_{кр}$, для которых правомерно осуществлять расчет и интерпретацию значений лямбда-критериев. По остальным («закритическим») блокам сети такой расчет выполнять нецелесообразно в связи с его низкой надежностью, запасы таких блоков квалифицируются по категории C_2 . Собственно величина критической площади $S_{кр}$ определяется на основе результатов расчета средней площади всех оценочных блоков первого разряжения сети S_2 . За величину $S_{кр}$ принимается средняя площадь блоков сети первого приближения, вычисленная без учета блоков, площадь которых равна или превышает S_2 .

«Закритические» по площади блоки могут размещаться в пределах участка либо концентрировано, либо хаотически. В первом случае участок 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, не применимы.

В случае хаотичного характера размещения «закритических» оценочных блоков и при их значительной доле (более 30 % от общего количества четырехугольников сети замеров) делается вывод о неинформативности лямбда-критериев разведанности. Запасы таких объектов должны квалифицироваться по категории C_2 . При меньшей доли «закритических» оценочных блоков все запасы участка квалифицируются по категории C_1 при условии последующего выполнения опережающего геологического изучения.

При пользовании таблицей следует обратить внимание на то, что сопоставляемые средние значения лямбда-критериев являются статистическими величинами, различия между которыми могут носить случайный характер.

В связи с этим в случае, если последующая точка графика имеет среднее значение лямбда-критерия меньше чем предыдущая, проверяется гипотеза о статистическом равенстве этих значений. Проводить ее проверку целесообразно лишь в случае, когда средние критерии по соседним точкам кривой разведанности отличаются незначительно (менее чем на 20 % от среднего значения).

Статистические гипотезы о равенстве значений λ_k и λ_j проверяются стандартными методами математической статистики. Для этого определяются параметры

$$\sigma_{k-j} = \sqrt{\frac{n_k \sigma_k^2 + n_j \sigma_j^2}{n_k + n_j - 2}}, \quad (2.15)$$

$$t_0 = \frac{|\lambda_k - \lambda_j|}{\sigma_{k-j} \sqrt{\frac{1}{n_k} + \frac{1}{n_j}}}, \quad (2.16)$$

где σ_k и σ_j – среднеквадратические отклонения значений лямбда-критериев от средних для k -ой и j -ой точек кривой; n_k и n_j – число оценочных блоков, использованных при расчетах средних значений критериев в k -ой и j -ой точках кривой; λ_k и λ_j – средние значения лямбда-критериев для k -ой и j -ой точек кривой.

Если t_0 меньше, чем величина t , определенная по табл. 2.6, то делается вывод о статистическом равенстве рассматриваемых средних значений λ_k и λ_j .

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.

Таблица t -распределения при уровне значимости 0,2

$n_j + n_k - 2$	t	$n_j + n_k - 2$	t
1	3,078	18	1,330
2	1,886	19	1,328
3	1,638	20	1,325
4	1,533	21	1,323
5	1,476	22	1,321
6	1,440	23	1,319
7	1,415	24	1,318
8	1,397	25	1,316
9	1,383	26	1,315
10	1,372	27	1,314
11	1,363	28	1,313
12	1,356	29	1,311
13	1,350	30	1,310
14	1,345	40	1,303
15	1,341	60	1,293
16	1,337	120	1,289
17	1,333	∞	1,282

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

Однако, поскольку геологоразведочные работы по первому участку находились лишь на стадии оценочных работ, а по второму – уже на стадии разведки, данные которых обладают различной степенью достоверности, простое сравнение их гипсометрических планов является явно не корректным.

Для того чтобы учесть при принятии решения об инвестировании проекта различие в степени геологической изученности участков, были построены их кривые разведанности в единой системе координат (рис. 2.21).

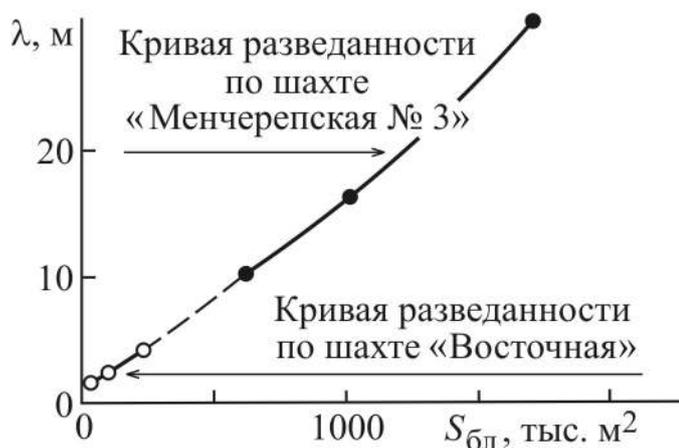


Рис. 2.21. Совмещенные кривые разведанности участков шахты «Восточная» и № 3 Менчерепского УДК

Из анализа рис. 2.21 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 шахты «Восточная» является мнимой и обусловлена не природными свойствами данного объекта, а лишь более высокой степенью их изучения.

2.6. Оценка неоднозначности модели мощности и показателей качества угольного пласта

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 ее оценку также предлагается осуществлять в контуре четырехугольника разведочных скважин. Разность значений мощности или показателя качества угля в точке D пересечения диагоналей четырехугольной ячейки сети скважин, полученных по результатам интерполирования вдоль них (рис. 2.1), будем в дальнейшем именовать абсолютным дельта-критерием разведанности (Δ).

В качестве метода интерполирования признаков вдоль диагоналей предлагается использовать простую линейную интерполяцию. Выбор данного метода обусловлен двумя обстоятельствами.

Во-первых, в практике геометризации мощности и показателей качества угля в России используется именно данный метод.

Во-вторых, известные исследования [91, 99] оценки точности моделей мощности и показателей качества угля показывают, что в условиях угольных месторождений геостатистический подход не имеет каких-либо преимуществ по точности в сравнении с традиционным, основанным на линейной интерполяции.

По-видимому, данное обстоятельство связано с особенностями строения угольных пластов, представляющих собой суперпозицию отдельных угольных линз [93]. Наличие линз, каждая из которых вскрыта лишь единичными скважинами, исключает возможность корректного применения процедур крайгинга из-за отсутствия необходимого количества наблюдений. Известно, что качественного построения полувариограммы требуется от 400 [98] до 1000 [100] замеров.

Расчет абсолютного дельта критерия осуществляется на основе использования линейной интерполяции:

$$\Delta = (P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2 , \quad (2.17)$$

где P_j – значение изучаемого признака в точке производства j -го замера; x, x' – определяются по формуле (2.7).

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

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{\bar{P}}, \% , \quad (2.18)$$

где $\bar{P} = \frac{(P_3 - P_1)x + P_1 + (P_4 - P_2)x' + P_2}{2}$ – 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 использованы при моделировании. Поэтому, в отличие от процесса анализа разведанности гипсометрии, требуется более глубокая предварительная отбраковка исходных данных. Ее сущность должна состоять в выделении и исключении из обработки замеров, выполненных с грубыми ошибками, подходы к выделению которых будут рассмотрены в главе, излагающей технологию сбора и подготовки исходных данных для расчета критериев.

В целом, 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.

Расчет дельта-критериев разведанности оценочного блока по формулам (2.13) и (2.14) осуществляется по схеме, приведенной в табл. 2.7 (на практике расчет выполняется с использованием средств вычислительной техники, реализующей приведенную в таблице последовательность действий).

Таблица 2.7

Таблица расчета дельта-критериев разведанности

Наименование признака: нормальная мощность пласта

Условные и фактические номера скважин, вершин оценочного блока:

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– D	303	10	L' – расстояние 1– D	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	$(P_3 - P_1) x$	– 0,04	15	$(P_4 - P_2) x'$	0,06
8	$P_1 + (P_3 - P_1) x$	2,20	16	$P_2 + (P_4 - P_2) x'$	2,17
17	$\Delta = |(8) - (16)|$	0,03 м			
18	$\bar{P} = [(8) + (16)] / 2$	2,19			
19	$\delta = 100\Delta / \bar{P}$	1 %			

Последовательность вычислительных действий при заполнении таблицы 2.7 соответствует номерам ячеек, а обозначения данных – указанным в табл. 2.2. В результате расчетов в ячейках 8 и 16 записываются значения признака в точке D 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.

Предельные значения значений относительных дельта-критериев разведанности для категории А рекомендованы авторами, исходя из результатов опроса главных специалистов угледобывающих предприятий [52], и составляют для мощности и зольности чистых угольных пачек угля для:

- шахт с крутым залеганием пластов и разрезов с крутым (углы падения свыше 55°) и крутонаклонным (углы падения от 36 до 55°) залеганием пластов, соответственно, 20 и 26 %;

- комплексно-механизированных шахт (применяющих длинно-столбовые технологии) и разрезов, отрабатывающих пласты горизонтального (до 3°), пологого (углы падения от 4 до 18°) и наклонного (углы падения от 19 до 35°) залегания, соответственно, 13 и 26 %;

- прочих шахт с горизонтальным, пологим и наклонным залеганием пластов, соответственно, 26 и 33 %.

Для запасов категории В указанные предельные критерии увеличиваются в 1,9 раза.

В случае, если ожидаемые погрешности определения мощности и зольности чистых угольных пачек превышают предельные значения, установленные для категории В, запасы квалифицируются по категории С₁.

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 планового положения изолинии, является необходимым элементом оценки достоверности моделей угольных месторождений.

В качестве числовой характеристики степени несовпадения фактического и ожидаемого по материалам геометризации положения изолинии авторами предложено [53] использовать измеренную на плане среднюю величину отстояния фактического положения изолинии от ожидаемого T (рис. 2.22).

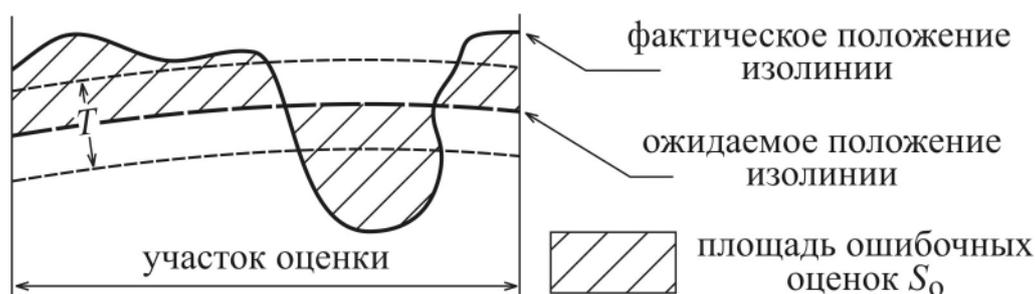


Рис. 2.22. Характеристика точности положения изолиний

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

$$T = \frac{S_0}{L}, \quad (2.19)$$

где S_0 – площадь ошибочных оценок значения признаков, границами которой являются контур участка оценки и изолинии по данным горных и разведочных работ (рис. 2.22); L – длина изолинии, построенной по материалам геологоразведочных работ.

Естественно предположить, что погрешность T должна быть связана с расстоянием между точками измерений, точностью прогноза значения признака 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 шахты «Алардинская» – 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 Кузбасса).

В ходе работы производилось сравнение положений изолиний мощности, отстроенных по материалам только разведочных и только эксплуатационных работ (например, рис. 2.23). Погрешности положения изолиний (T), оцениваемые по формуле (2.19), изменялись по отдельным пластам от 305 до 47 м.

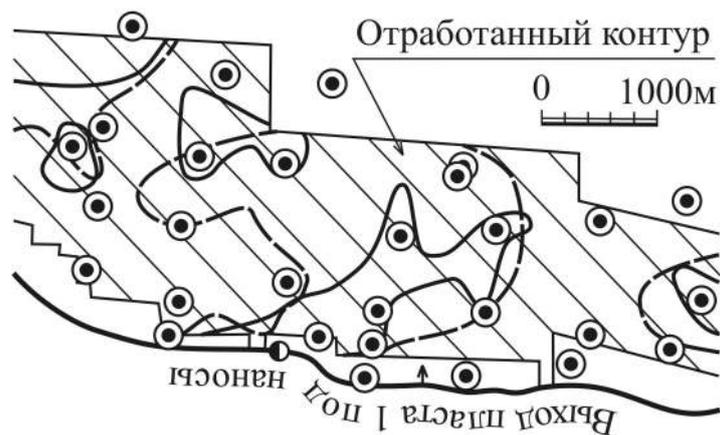


Рис. 2.23. Сравнение положения изолинии «1,8 м», построенной по геологоразведочным (пунктирная линия) и эксплуатационным (сплошная линия) данным по пласту 1 поля шахты «Алардинская»

В результате статистической обработки материалов удалось выявить наличие тесной корреляционной связи (коэффициент корреляции равен 0,9) погрешности T с параметром F (рис. 2.24).

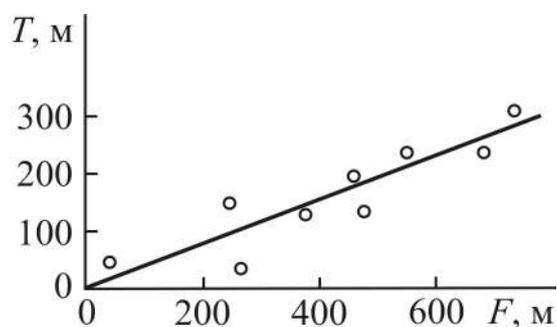


Рис. 2.24. Корреляционная зависимость погрешности положения изолинии (T) от параметра F

$$T = 0,41F, \quad (2.20)$$

при

$$F = \frac{\bar{L} \bar{\Delta}}{\sigma}, \quad (2.21)$$

где \bar{L} – среднее арифметическое расстояние между геологическими замерами, используемыми при интерполировании в ходе построения изолинии, м; $\bar{\Delta}$ – среднее арифметическое значение дельта-критериев разведанности, характеризующих случайную (негеометризируемую) составляющую изменчивости признака; σ – среднеквадратическое отклонение значений признаков от их среднего значения, характеризующее общую изменчивость признака.

Среднеквадратическое отклонение σ определяется по известной формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n}}, \quad (2.22)$$

где P_i – значение признака по i -ой точке измерений; \bar{P} – среднеарифметическое значение признака в пределах участка оценки; n – общее число измерений признака.

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

$$k_{\text{М-К}} = 1 + \left(\frac{1}{1+n} \right) \sqrt{\frac{n}{n-3}}, \quad (2.23)$$

С помощью формулы (2.20) можно осуществлять решение как прямых, так и обратных задач, т. е. предрассчитывать ожидаемую погрешность положения изолиний (с последующим ее использованием при построении возможных вариантов состояния горно-геологической обстановки).

Допустимым для категории В является возможное смещение изолиний, приводящее к изменению запасов блоков этой категории не более, чем на 10 %.

Для блоков категории А изолинии значений признаков не могут приниматься в качестве таких границ. Величину T для запасов категории C_1 лимитировать не следует.

В условиях относительного равенства среднеквадратических отклонений σ и средних дельта-критериев разведанности $\bar{\Delta}$, построение изолиний по результатам непосредственно произведенных измерений вообще не правомерно и представление о характере изменения признака в пространстве недр может быть получено только методами сглаживания или блочного моделирования. Это связано с тем, что отношение $\bar{\Delta}$ к 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 $\bar{\Delta}$ и σ разнородны, то необходим переход от показателя неоднозначности $\bar{\Delta}$ к случайной составляющей изменчивости, который может быть произведен через взаимосвязь между степенью неоднозначности и случайной погрешностью, характер которой будет рассмотрен в разделе 5.

На основании вида этой взаимосвязи, с вероятностью 0,68, можно сформулировать следующее важное условие: построение изолиний правомерно, если

$$\frac{\bar{\Delta}}{\sigma} \leq 0,8. \quad (2.24)$$

Проверка выполнения условия 2.24 является необходимым элементом проведения исследований. В случае его невыполнения расчет и тем более интерпретация значений дельта-критериев разведанности не правомерны. Данное условие выполняется 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.

Использование дельта-критериев разведанности при категоризации запасов допустимо только в случае, если имеющаяся сеть разведочных выработок обеспечивает правомерность интерполирования значений оцениваемых признаков в межскважинном пространстве. Поэтому в блоках категорий А и В должна существовать правомерность осуществления интерполяции мощностей и зольностей чистых угольных пачек пласта в межскважинном пространстве. При отсутствии правомерности интерполяции мощностей и зольностей чистых угольных пачек невыдержанных по мощности пластов повсеместно имеющих кондиционное значение запасы оценочных блоков могут квалифицироваться только по категории C_1 .

Однако при незначительной изменчивости признаков необходимость в построении их изолиний может отсутствовать, в связи с тем, что колебания их значений реально не скажутся на результаты принимаемых технологических решений.

Поэтому оценка запасов контура, изученного даже в условиях неправомерности интерполяции зольностей и мощностей чистых угольных пачек выдержанных и относительно выдержанных пластов повсеместно имеющих кондиционное значение, возможна:

- по категории А в случае, если коэффициент вариации параметров не превышает 10 % для мощности и 15 % для зольности;
- по категории В в случае, если коэффициент вариации параметров не превышает 20 % для мощности и 25 % для зольности;
- по категории С₁ в остальных случаях.

В случае если среднеквадратическое колебание не превышает величины 0,1 м для мощности и 5 % для зольности (в процентах зольности), в целях выполнения оценки величина коэффициента вариации условно принимается равной нулю. Данное правило введено в связи с тем, что для маломощных и, особенно, для малозольных пластов указанные величины, близкие к величинам погрешностей скважинных определений (составляющих для мощности 5–15 см [77] и 3–5 % для зольности [34]), могут приводить к получению относительно высоких коэффициентов вариации.

Исходя из опыта экспертной деятельности, оценка запасов контура, изученного в условиях неправомерности интерполяции зольности и мощности чистых угольных пачек выдержанных и относительно выдержанных по мощности пластов, часть из которых имеет значения ниже кондиционных, возможна по категории С₁ только в случае, если доля замеров с некондиционными значениями мощности чистых угольных пачек не превышает 30 %. В противном случае запасы оцениваются по категории С₂.

Поскольку методика предрасчета плановой погрешности положения изолиний опирается на характер геометрических, а не геологических закономерностей, это дает основание для ее применения при оценке точности моделирования не только мощности и зольности пласта, но и других аналогично геометризиремых признаков.

Проверка данного обстоятельства производилась на материалах сравнения фактических и прогнозных размещений основных показателей качества углей разреза «Междуречье».

Сравнение фактических и расчетных (определенных по формуле (2.23) погрешностей положений изолиний зольности (фактическая погрешность 64 м, ожидаемая 71 м) и толщина пластического слоя «У» (фактическая погрешность 114 м, ожидаемая 91 м) подтверждают выдвинутое предположение об универсальности предложенного подхода.

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 большое значение как в условиях ведения открытых, так и подземных горных работ.

В качестве примера применения методики рассмотрим оценку точности положения границы зоны окисленного угля по запланированному к строительству разрезу «Н-й» (истинное наименование предприятия и пласта не приводится в связи с отсутствием соответствующего разрешения собственника предприятия), ориентированного на отработку одной пачки пласта. Непосредственно определенная по подсечениям высшая теплота сгорания угля рассматриваемого пласта изменяется в пределах от 7130 до 7450 ккал/кг. В соответствии с ГОСТ 50904-96 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 предложенного подхода, 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 угла 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. Кроме того, при проектировании горных работ подошву последнего добычного уступа «окисленных» углей следует разместить на 4 м (учитывая проектную высоту «угольного» подустапа – 5 м) ниже официально указанной границы.

По результатам количественной оценки достоверности изучения мощности и показателей качества угля с использованием дельта-критериев разведанности выполняется построение картограмм разведанности, на которых указываются контуры запасов различных категорий разведанности. Правила построения картограмм полностью соответствуют подходам, ранее описанным при рассмотрении методики построения картограммы построения гипсометрии.

2.7. Построение итоговой картограммы разведанности

Построение итоговой картограммы разведанности является завершающей стадией количественной оценки запасов участка недр, выполняемой путем «наложения» картограмм разведанности всех рассмотренных признаков с принятием в пределах каждого оцененного контура наименьшего из рангов (категории), установленных по каждому из признаков.

Порядок построения итоговой картограммы целесообразно рассмотреть на примере, в качестве которого использована оценка достоверности пласта «Наддальный» участка «Колмогоровский Глубокий» (картограмма разведанности гипсометрии которого была приведена на рис. 2.8).

В результате расчетов дельта-критериев мощности пласта установлено, что по всем оценочным блокам их относительная величина не превышает 11 %, т. е. все запасы участка относятся по фактору мощности к категории А. В этом случае выполнять картограмму разведанности в графическом виде нет необходимости, она может быть представлена в текстовой форме: «все запасы пласта по фактору разведанности мощности относятся к категории А».

Расчет критериев разведанности зольности, показал наличие на участке двух категорий: А и В, размещение которых представлено на картограмме разведанности этого признака (рис. 2.25).

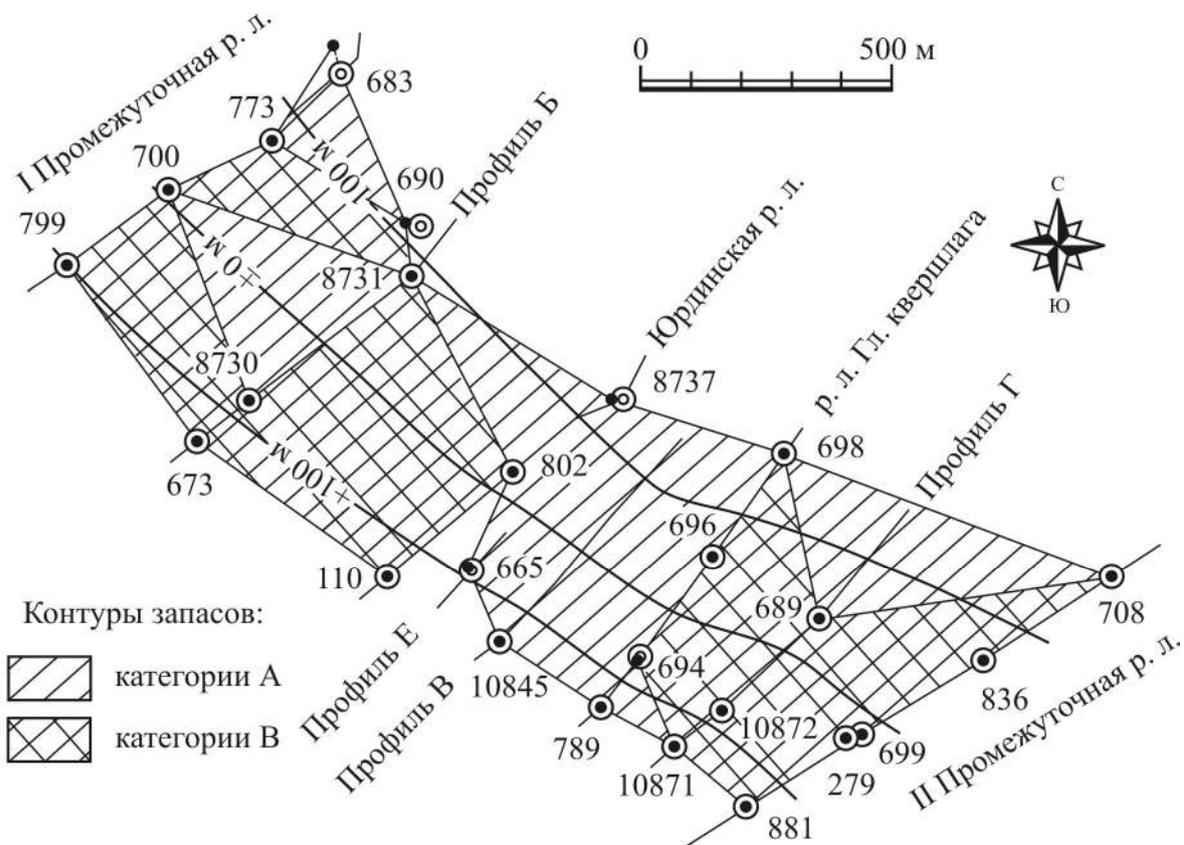


Рис. 2.25. Картограмма разведанности зольности пласта «Наддальный» участка «Колмогоровский Глубокий»

На первом этапе построения итоговой картограммы осуществляется наложение картограмм разведанности гипсометрии и зольности.

В результате принятия в пределах каждого оцененного контура наименьшей из категорий разведанности гипсометрии и зольности, формируется предварительная (формальная) картограмма разведанности (рис. 2.26).

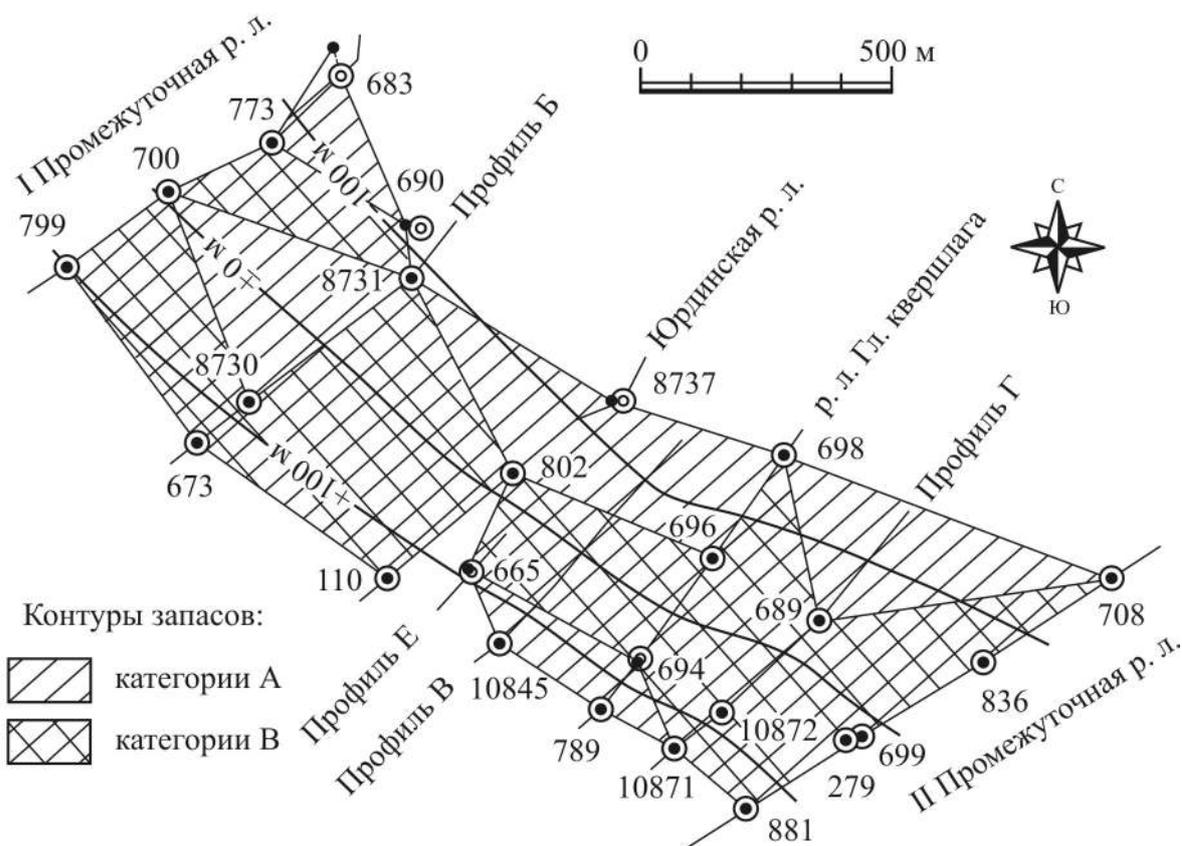


Рис. 2.26. Предварительная итоговая картограмма разведанности пласта «Надальный» участка «Колмогоровский Глубокий»

На втором этапе формируется окончательная итоговая картограмма разведанности пласта. В рамках этой работы определяется категория запасов в пределах участков, которые количественно не оценивались в связи с невозможностью выделения корректных по форме оценочных четырехугольных блоков.

На рис. 2.26 таким контуром является контур скважин 111, 802 (Юрдинская разведочная линия), 665 (профиль Е) и 10845 (профиль В).

Исходя из того, что примыкающие к этому контуры запасы отнесены к категории В, логично предположить, что и его запасы следует квалифицировать по категории В.

В случае, если бы рассматриваемый контур примыкал к запасам различных категорий, то его запасам следовало бы присвоить наименьшую из категорий.

Далее, контуры оценки приводят к контуру границ участка. В данном случае такими границами по глубине являются горизонты «+100 м» и «-100 м», а в плане – вертикальные плоскости, проходящие через разведочные линии I Промежуточная и II Промежуточная.

После этого выделяются участки повышенной разведанности не имеющие самостоятельного значения. К ним относятся незначительные по площади зоны, для которых установлена повышенная (в сравнении с окружающим контуром) разведанность, наличие которой не может быть реально учтена при планировании развития горных работ.

Применительно к рис. 2.27 к ним относятся две расположенные выше горизонта «-100 м» зоны: контуры скважин 773 – 683 (I Промежуточная разведочная линия) – 690 (профиль Б) и 698 (разведочная линия Главного квершлага) – 689 (профиль Г), 708 (II Промежуточная разведочная линия), а также расположенная ниже горизонта «+100 м» часть оценочного контура скважин 665 (профиль Е) 10845 (профиль В), 789 и 694 (разведочная линия главного квершлага).

Относить к зонам «не имеющим самостоятельного значения» участки категории А между разведочной линией Главного квершлага и профилем Б (в районе горизонта «-100 м») и треугольный контур между I Промежуточной разведочной линией и профилем Б нецелесообразно, поскольку в их пределах будут размещены значительные по площади фрагменты выемочных столбов, выемка которых будет осуществляться на протяжении более полугода.

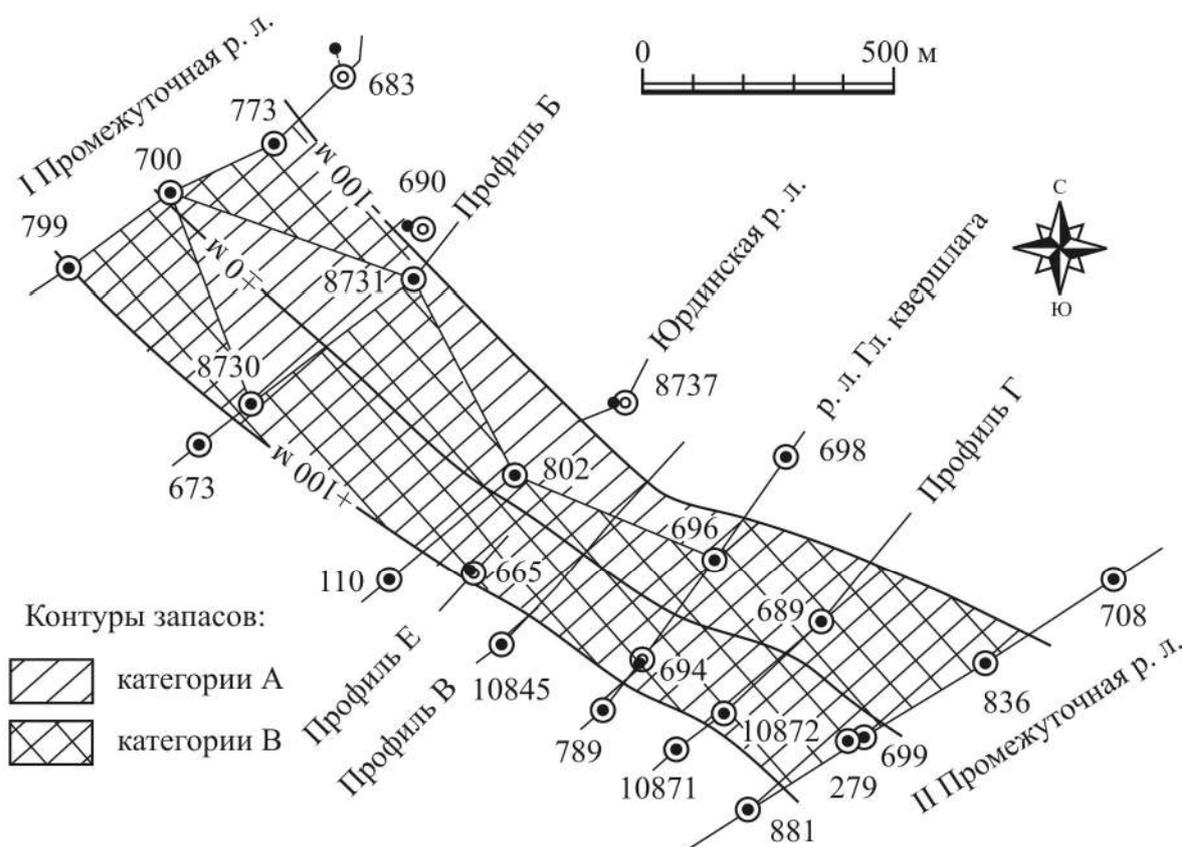


Рис. 2.27. Итоговая картограмма разведанности пласта «Наддальный» участка «Колмогоровский Глубокий»

Дополнительно, для отдельных зон повышенной разведанности «не имеющих самостоятельного значения» анализируется соотношение значений их критериев разведанности с критериями в окружающих зону блоках.

В рассматриваемом примере к такой зоне может быть отнесен треугольный контур скважин 700–8731–8730 расположенный между I Промежуточной разведочной линией и профилем Б. Данный контур сформирован в результате пересечения двух четырехугольных оценочных блоков 700–773–8731–8730 (значение лямбда-критерия 2 м) и 700–773–690–8731 (значение лямбда-критерия 9 м). Значения критерия отличаются значительно и величина второго из них, вероятно, связана с некой аномалией, расположенной в районе скважины 690. Поэтому принятое отнесение треугольного контура к категории А можно считать оправданной.

Однако если бы значение ламбда-критерия в контуре скважин 700–773–8731–8730 незначительно бы отличалось от граничного для категории А (равного, как было указано ранее 7 м) и составляло бы, например, 6 м, то было бы разумно снизить оценку рассматриваемого треугольного контура до категории В.

При формировании итоговой картограммы учитывается также группа сложности геологического строения объекта (в части допустимости выделения высоких категорий запасов). Так если рассматриваемый участок «Колмогоровский Глубокий» относился бы ко второй группе сложности, контуры запасов категории А должны были бы быть переквалифицированы в запасы категории В (в связи с тем, что запасы категории А на месторождениях второй группы не подлежат выделению).

Несложно заметить, что подготовка итоговой картограммы разведанности предполагает неформальный анализ результатов количественной оценки, что еще раз подчеркивает то, что количественные критерии разведанности являются не более чем «инструментом» эксперта, но ни в коем случае не должны подменять его.

Итоговая картограмма используется при подсчете запасов в процессе формирования системы подсчетных блоков (одно из требований к которым является обеспечение постоянной степени разведанности в их пределах). Разумеется, границы подсчетных блоков далеко не всегда могут совпадать с границами оценочных четырехугольников. Поэтому при выделении подсчетных блоков, включающих в себя границы между оценочными четырехугольниками, их категория устанавливается по категории основной их части, составляющей не менее 70 % площади блока.

3. Исходные данные для проведения количественной оценки достоверности запасов

3.1. Источники информации

Основными носителями информации, используемыми для подготовки исходных данных, являются геологический отчет, текстовые и графические приложения к нему.

Следует сразу оговорить, что нижеописываемый порядок сбора и подготовки данных ориентирован на российскую практику геометризации угольных месторождений, состоящую в общем виде в первоначальном построении геологических разрезов, на основе которых впоследствии осуществляется построение 2D моделей размещения пласта в недрах (на основе применения метода «ступенчатых отметок» [83, 7]). Такой порядок гарантирует очень низкую взаимозависимость представлений о характере залегания угольного пласта в окрестностях отдельных скважин, что необходимо для корректного применения предложенных критериев разведанности.

Многие современные, преимущественно иностранные, компьютерные системы геометризации используют прямо противоположную технологию, а именно построение 2D или 3D моделей по системе выполненных измерений и лишь впоследствии – построение по ним сечений, носящих уже чисто информационный характер. В условиях применения такой технологии, особенно при аппроксимации гипсометрии пласта сплайн-функциями, элементы залегания пласта становятся взаимозависимыми, что приводит к некорректности применения лямбда-критериев для оценки достоверности гипсометрических построений (порядок оценки достоверности запасов в этих условиях будет рассмотрен в следующей главе).

Однако практика показывает, что подобные технологии эффективны только в условиях простых месторождений, характеризующихся низкой степенью пликативной и дизъюнктивной нарушенности. Подавляющее большинство угольных месторождений России этим условиям не отвечают.

Одним из основных графических документов, используемых для сбора исходных данных является геологический разрез, фрагмент которого показан на рис. 3.1.

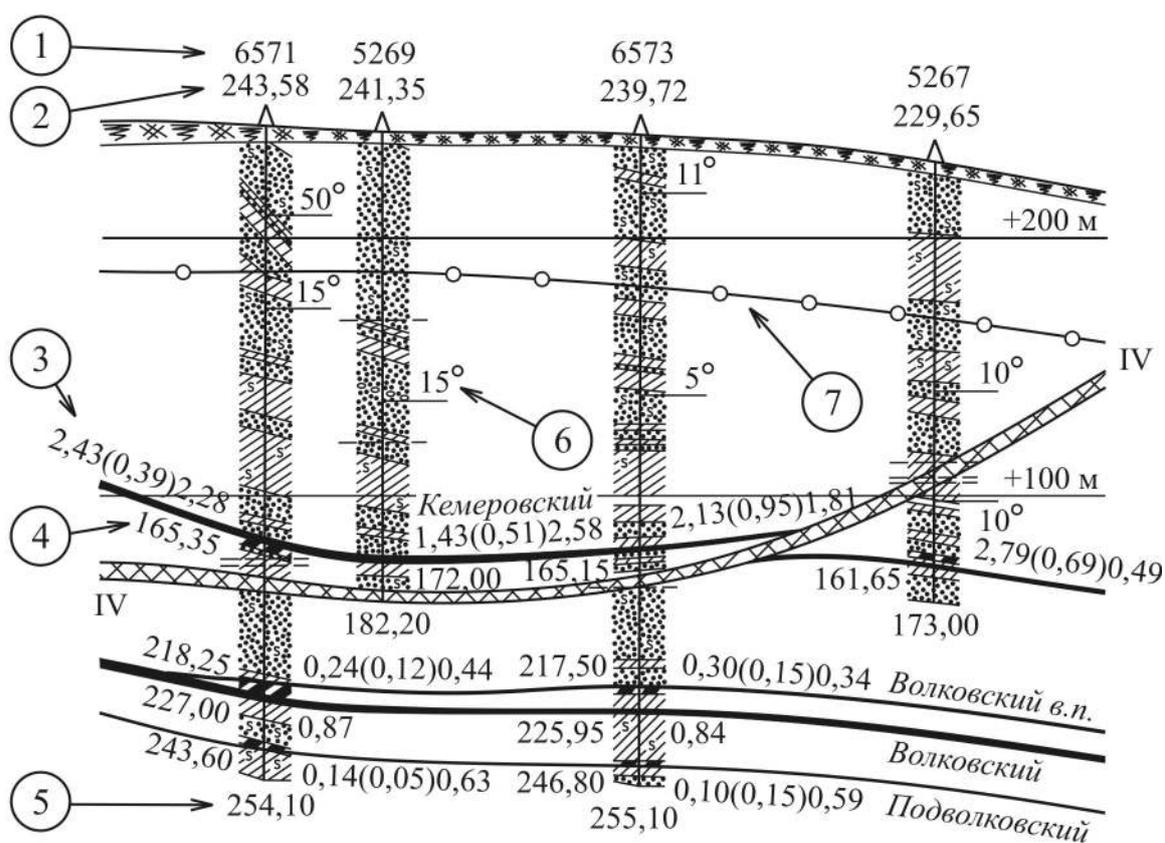


Рис. 3.1. Фрагмент геологического разреза по разведочной линии (разведочная линия XIIIа участка «Щегловский»)

1 – номер разведочной скважины; 2 – высотная отметка устья скважины; 3 – нормальные мощности угольных пачек (в направлении сверху вниз) и мощности внутрипластовых прослоев (в скобках); 4 – осевая глубина подсечения почвы пласта; 5 – осевая глубина забоя скважины; 6 – измеренный угол напластования пород; 7 – граница зоны окисления

На разрезе условными знаками показываются типы пересекаемых скважинами пород, положение стволов скважин, угольные пласты, разрывные нарушения, оси складок, границы зоны окисления (по участкам, предназначенным для открытой добычи, указываются две границы – для первой и второй групп окисленности) и т. д.

У каждого плаstopодсечения, под которым понимается точка встречи скважиной почвы пласта, указывается его осевая глубина (расстояние от устья до подсечения, измеренное вдоль оси скважины). Рядом с точкой плаstopодсечения также приводится информация о нормальной мощности пласта и его строении.

Для пласта простого строения одной цифрой указывается его мощность, для пласта сложного строения – последовательность мощностей пачек и породных прослоев в направлении от кровли к почве. При этом мощности породных прослоев указываются в скобках. Кроме того, на разрезы выносятся информация об углах напластования пород.

Не следует отождествлять эти углы с углами падения пластов. Уже более 20-ти лет назад достоверно установлено, что углевмещающие породы Кузбасса имеют более крутой угол напластования, чем падение угольных пластов и самой толщи. Разница в углах может достигать $2-3^\circ$ для регрессивной фазы осадконакопления и $10-15^\circ$ для трансгрессивной.

Таким образом, геологические разрезы фактически содержат информацию, позволяющую определить высотные отметки точек плаstopодсечений, мощности пластов в них, а также углы падения пластов в их плоскости. Для построения разрезов преимущественно используется масштаб 1:2000.

Вторым видом используемых для сбора исходных данных графических материалов являются структурные и подсчетные планы.

На структурных планах детально отображается гипсометрия пластов (включая дизъюнктивные нарушения), на подсчетных планах гипсометрия может отражаться менее детально (за счет отображения на них лишь части изогипс, приводимых на структурном плане) в целях «высвобождения» поля чертежа для размещения на нем данных по подсчетным блокам.

Современная практика подготовки геологических отчетов предусматривает объединение этих планов в единый, именуемый подсчетным планом (рис. 3.2). Раздельное представление подсчетных и структурных планов характерно для части графической документации, подготовленной в советский период.

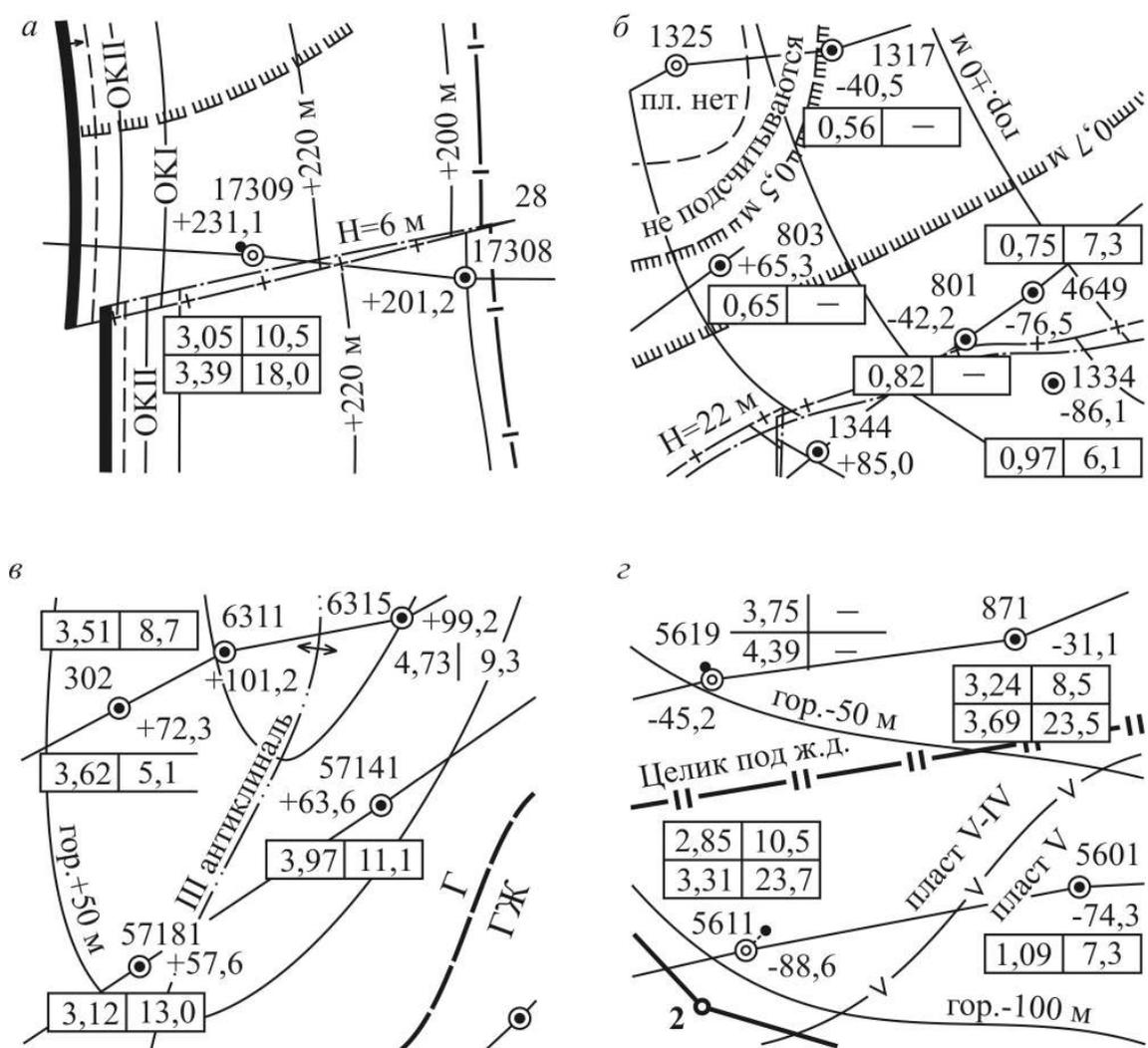


Рис. 3.2. Характерные примеры графической основы подсчетных планов

При построении планов используются специальные условные обозначения, перечень которых обязательно приводится в геологическом отчете. Современный рекомендуемый их вид приведен на рис. 3.3.

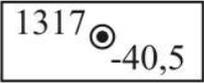
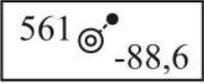
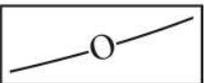
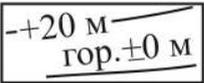
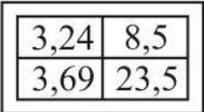
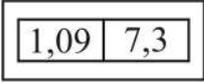
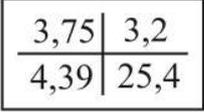
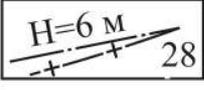
	положение устья скважины и точки пластоподсечения (вертикальная скважина), номер скважины и высотная отметка почвы пласта в балтийской системе
	положение устья скважины и точки пластоподсечения (наклонная скважина)
	выход пласта под наносы
	граница распространения негодного угля
	граница распространения окисленного угля II группы
	граница распространения окисленного угля I группы
	граница распространения окисленного угля (для подземных горных работ)
	изогипсы почвы пласта
	мощность и зольность, принятые к подсчету запасов, для пластов сложного строения
	мощность и зольность угля пластов простого строения, принятые к подсчету запасов
	данные о мощности и зольности, не принятые в подсчет запасов
	линии скрещения разрывного нарушения с почвой пласта по висячему (верхняя линия) и лежащему крыльям, номер и амплитуда нарушения
	техническая граница угледобывающего предприятия

Рис. 3.3. Условные обозначения на подсчетных планах

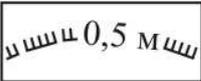
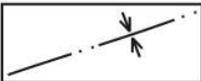
	лицензионные границы участка недр
	граница предохранительного целика
	линия выклинивания пласта
	линия расщепления пласта
	граница смены марочного состава угля
	изолиния мощности или зольности, являющаяся границей контура балансовых или забалансовых запасов
	ось антиклинальной складки
	ось синклинальной складки

Рис. 3.3. Условные обозначения на подсчетных планах (продолжение)

В зависимости от угла падения пласта структурный график пласта выполняется на горизонтальную (обычно при углах падения менее 45°) или вертикальную плоскость. В первом случае карта именуется структурным (подсчетным) планом, во втором – проекцией пласта на вертикальную плоскость. Построение планов обычно выполняется в масштабе 1:5000 (значительно реже – в 1:2000, а на поисково-оценочных стадиях – в 1:10000).

На структурном плане пласта отображаются положения устьев скважин, разведочных плаstopодсечений (с указанием высотных отметок точек встречи скважиной почвы пласта), мощности пласта и паек угля, выход пласта под наносы, изогипсы почвы пласта, оси пликативных нарушений и линии скрещения пласта с дизъюнктивными нарушениями.

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

Рядом с каждым пластоподсечением в форме «таблицы» указываются мощность пласта и зольность. Для пластов сложного строения в верхней строке приводятся данные по мощности и зольности совокупности чистых угольных пачек, а в нижней – по мощности пласта и его зольности (с учетом включаемых в подсчет породных прослоев). В случае если приведенные характеристики используются при подсчете запасов, то они обводятся рамкой (например, у скважины 17309 на рис. 3.2, *а*), в противном случае рамка таблицы не изображается (скважины 6315 на рис. 3.2, *в* и 5619 на рис. 3.2, *г*). В том случае, если скважина пересекает пласт в зоне перекрытия разрывного нарушения несколько раз, на плане приводятся данные, относящиеся к каждому пересечению, с указанием наименования крыла дизъюнктива, к которому они относятся («л к.» – для лежачего крыла, «в. к.» – для висячего). При пересечении скважиной крыльев нескольких нарушений дополнительно указывается и номер нарушения (например, «л. к. II»).

На подсчетном плане обязательно показываются технические границы угледобывающего предприятия и лицензионные границы участка (с указанием положения и номера угловых точек). Несовпадение этих границ имеет место преимущественно на участках ведения открытых горных работ при вертикальных границах горного отвода. В этом случае подсчет запасов отдельно выполняется в «технических границах» и «вне технических границ». При совпадении указанных границ преимуществом пользуется условный знак лицензионных границ. При наличии на момент подсчета запасов утвержденных границ предохранительных целиков они также показываются на плане.

В случае если в пределах участка происходит смена марочного состава угля, эта граница показывается утолщенным пунктиром с указанием наименования разделяемых ею марок.

Если по пласту марка представлена несколькими группами и (или) подгруппами, наименования последних также указываются на плане.

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

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

В этом случае подсчетный план разделяется на отдельные фрагменты, именуемые деталями. Например, для условий пласта E_9 (рис. 3.4) его подсчетный план мог бы быть представлен двумя деталями: деталь 1 (висячее крыло нарушения H) и деталь 2 (лежащее крыло нарушения H).

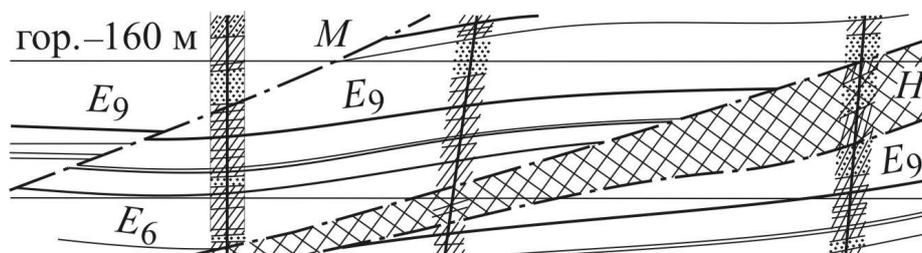


Рис. 3.4. Фрагмент геологического разреза по XI–V разведочной линии участка «Осинниковский Восточный»

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

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

Для обеспечения выполнения подсчета запасов на структурную карту пласта наносится специальная информация, в результате чего структурный план приобретает характер графической основы подсчетного плана. В дальнейшем на эту основу выносятся дополнительные сведения, имеющие непосредственное отношение как к подсчету запасов, так и к отражению его результатов.

К числу наносимой на основу дополнительной информации относятся границы зоны распространения негодного угля и окисленных углей I и II групп окисления (на участках недр, предназначенных для подземной отработки, зона распространения окисленных углей по группам окисления не фрагментируется и указывается единым контуром с использованием специального условного знака).

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

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

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

Как уже указывалось, при выполнении подсчета запасов пластов крутого залегания (с углами падения более 45°) графическая основа подсчета выполняется в проекции на вертикальную плоскость (рис. 3.5).

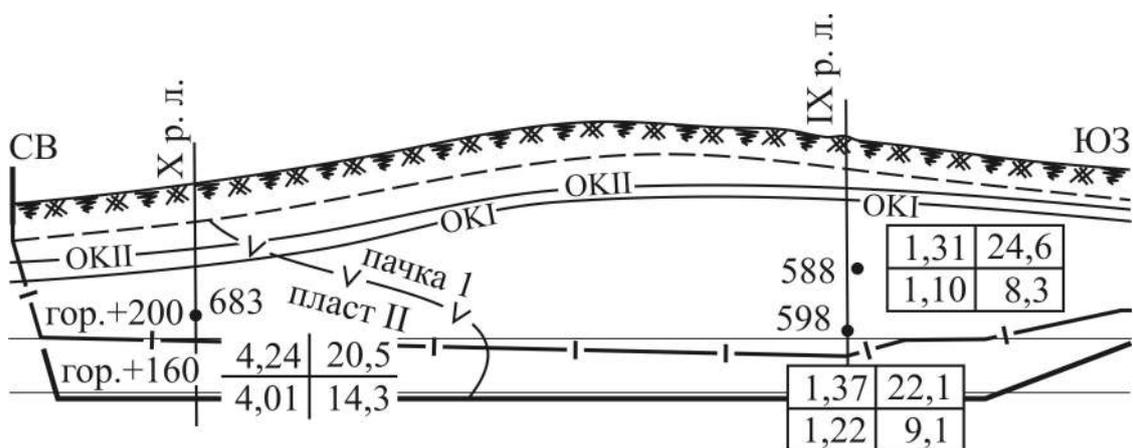


Рис. 3.5. Пример графической основы подсчета запасов пласта в проекции на вертикальную плоскость

На графическую основу при проектировании на вертикальную плоскость наносятся те же данные, что и на план подсчета запасов, с использованием аналогичных обозначений, обязательно указываются положения проекций точек плаstopодсечений и линий пересечения с плоскостями геологических разрезов.

Нетрудно заметить, на сколько мала информативность такой основы, фактически не зависящей от реальной гипсометрии изучаемого пласта.

Для обеспечения полной корректности модели гипсометрии пласта, выполненной в проекции на вертикальную плоскость, рекомендуется осуществлять построение изолиний расстояний почвы пласта от заданной вертикальной плоскости проектирования (изофронталей) по методике детально изложенной в работе [61].

На полях подсчетных планов или на отдельных листах графических приложений к геологическому отчету приводятся структурные колонки (которые иногда именуется «стопками»). Представленные на рис. 3.6, *а* колонки соответствуют современным требованиям, а на 3.6, *б* – ранее действующим. Обычно колонки выполняются в масштабе 1:100.

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

Справа от колонки приводятся нормальные мощности пачек угля (0,75 и 1,40 м) и рядом с ними, через дефис (ранее – в скобках) – нормальные мощности керна угля (0,52 и 1,05 м на рис. 3.6). С некоторым смещением от них (ранее в левой части) указываются нормальные мощности прослоев (0,24 м на рис. 3.6) и, через дефис (ранее в скобках), нормальные мощности поднятого керна (0,21 м на рис. 3.6).

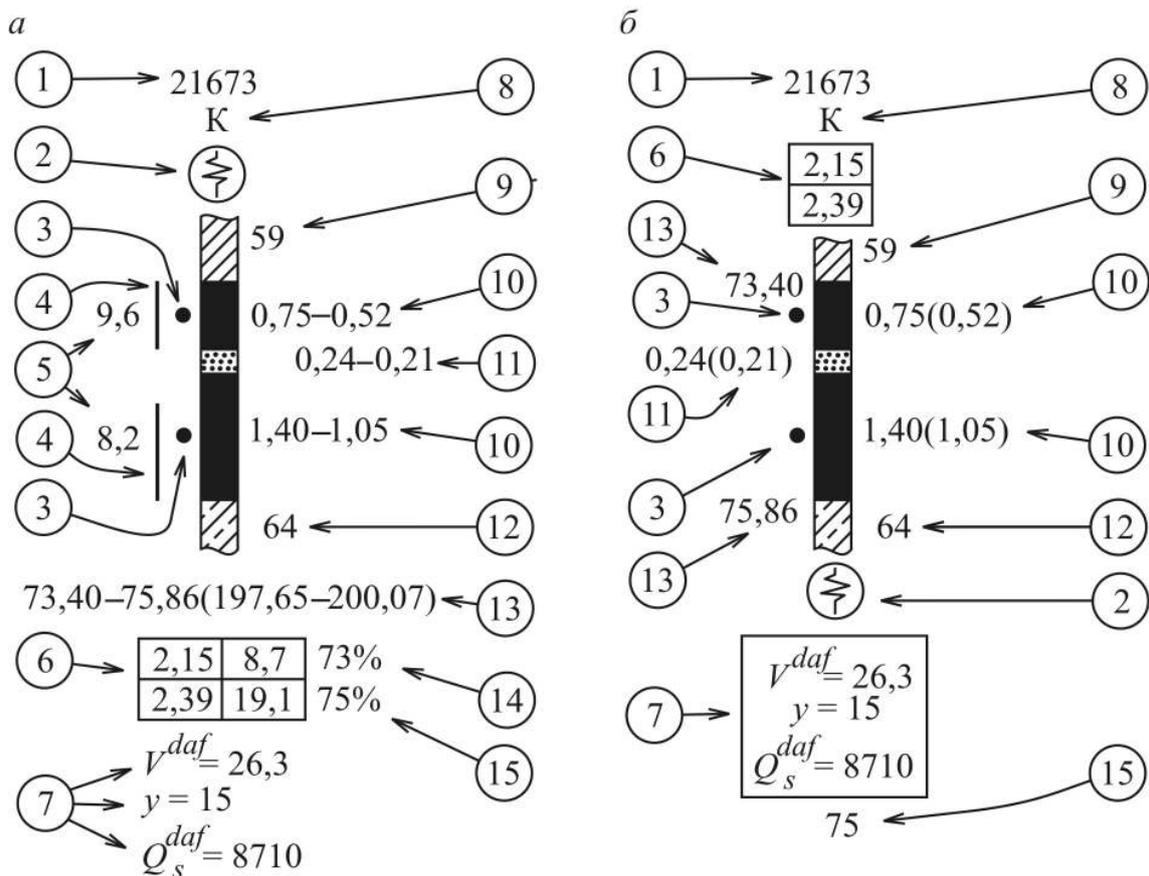


Рис. 3.6. Структурная колонка пласта:

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

Слева от пачек угля точками отмечаются те из них, которые приняты для подсчета запасов, т. е. те, которые входят в состав пласта. Напротив пачек изображаются опробованные интервалы керна и величина зольности по ним (9,6 и 8,2 % на рис. 3.6). В случае если по группе пачек была сформирована только одна проба, указывается только одно значение зольности. Справа от показанных на колонке пород кровли и почвы подписывается процент выхода керна по ним (ранее указывался выход керна только по пласту в целом).

Под колонкой отдельной строкой показываются осевые глубины скважины, на которых она встретила кровлю (73,40 м) и почву (75,86 м на рис. 3.6), и, в скобках, абсолютные высотные отметки точек их встречи. Ниже приводятся данные о мощности и зольности угольных пачек и пласта (в случае, если они были приняты для подсчета запасов, они обводятся рамкой), под которыми указываются значения основных показателей качества угля. Таким образом, в графической документации осуществляется тройное дублирование данных о мощностях, двойное о высотных отметках и зольности.

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

Основным источником информации о показателях качества угля служат соответствующие таблицы текстовых приложений к геологическому отчету, прежде всего – таблицы теханализов. Хотя значения отдельных показателей, как уже было отмечено (рис. 3.6), приводятся и на структурных колонках пластов.

3.2. Подготовка исходных данных для расчета критериев разведанности гипсометрии

Основными исходными материалами для подготовки данных, необходимых для расчета критериев разведанности по результатам геологоразведки, являются структурные (подсчетные) планы пластов и геологические разрезы по разведочным линиям, для расчетов критериев по результатам измерений в горных выработках – планы горных работ. Форма таблицы основных исходных данных, ориентированных на последующую компьютерную обработку, приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Таблица основных исходных данных для расчета ламбда-критериев разведанности

Участок: _____

Пласт: _____

Масштаб 1: __000

№	Номер скважины или замера	Координаты			Направление падения, градус	Угол падения, градус
		X	Y	Z		
1	2	3	4	5	6	7

Работа с табл. 3.1 начинается с занесения наименования объекта исследований (строки «Участок» и «Пласт») и указания масштаба плана (строка «Масштаб»). Плоские координаты X и Y выписываются либо из соответствующих каталогов координат (в метрах), либо определяются графически по плану (в миллиметрах плана). Полученные значения координат записываются в колонки 3 и 4 табл. 3.1.

Масштаб плана указывается только в случае, если координаты замеров определяются по плану графически. Необходимость выполнения подобных измерений возникает достаточно часто в связи с отсутствием доступа к каталогам координат, определяемого необходимостью соблюдения принятого режима секретности. Для определения плоских координат X и Y производится оцифровка координатной сетки плана (рис. 3.7).

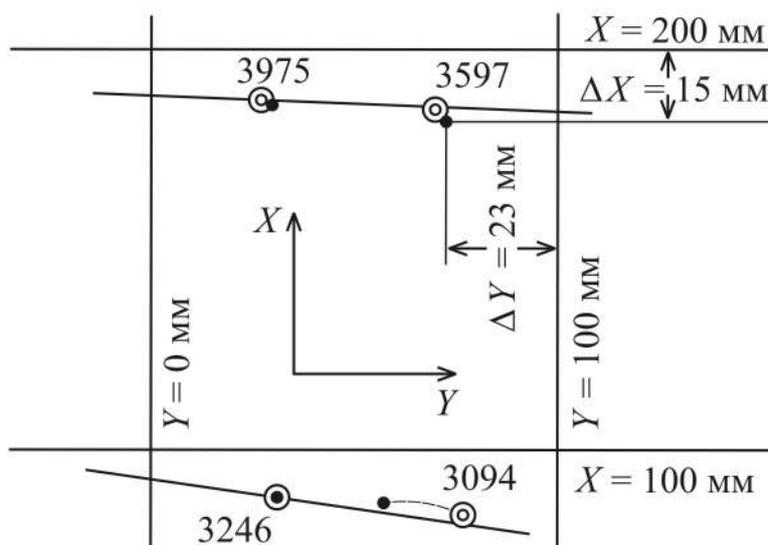


Рис. 3.7. Графическое определение координат X и Y

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. Для скважин и точек замеров в горных выработках принимается единая система координат. При графическом определении координат измеряются приращения ΔX и ΔY от ближайших линий координатной сетки до центра точки замера.

Выполнение измерений именно от ближайших координатных линий осуществляется с целью минимизации погрешностей измерений, связанных с деформацией прозрачной основы графических материалов при светокопировании (которая применялась до перехода на компьютерные технологии).

Окончательные значения координат получают путем сложения или вычитания приращений и координат соответствующих линий сетки. Например, подсечение 3597 на рис. 3.7 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). В столбце 2 указываются истинные номера скважин или замеров.

В колонку 5 табл. 3.1 заносятся высотные отметки замеров (пластоподсечений) Z_i (в метрах). Высотные отметки пластоподсечений по скважинам выписываются с подсчетного плана. Однако, к сожалению, подсчетные планы часто содержат цифровые ошибки и описок. Поэтому необходимо производить контроль указанных значений высотных отметок.

Контроль выполняется поэтапно.

На первом этапе анализируется соответствие указанных отметок подсечений с отображенным на плане положением изогипс почвы пласта (горизонтов) или осей складок. Контролируется и взаимное расположение подсечений относительно изогипс. Таким способом выявляются наиболее грубые ошибки.

Например, в случае, когда между горизонтами «–100 м» и «–200 м» «появляется» пластоподсечение с отметкой +145 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 его изогипс на планах «описки» совершить, в принципе, невозможно.

На втором этапе контроль отметок производится с помощью геологических разрезов. При его выполнении высотные отметки пластоподсечений определяются графически, путем измерения расстояния от линии горизонта до почвы пласта в точке подсечения.

Кроме того, так как на геологическом разрезе указаны высотные отметки устьев скважин и глубины плаstopодсечений, то возможна и арифметическая проверка отметок. Например, отметка устья вертикальной скважины равна 236,1 м, а глубина подсечения пласта – 206,76 м. Тогда отметка подсечения составляет: $236,1 - 206,8 = 29,3$ м.

Аналогичные отметки и глубины по наклонным скважинам использовать несколько сложнее.

Ориентировочное значение отметки подсечения может быть оценено по формуле

$$Z = Z_y - H \cos \theta, \quad (3.1)$$

где Z_y – высотная отметка устья скважины; H – глубина плаstopодсечения; θ – средний зенитный угол ствола скважины (угол между осью ствола скважины и вертикалью).

Если разрешить наблюдаемую неопределенность в отметках не удастся, то используется первичная документация, сконцентрированная в комплекте документов, именуемом «Дело скважины».

Элементы залегания пласта (колонки 6 и 7 таблицы 3.1): дирекционный угол направления падения пласта (азимут падения) α и угол падения пласта δ принимаются либо по результатам прямых измерений (выполненных с помощью методов наклонометрии, ориентированного керна, замера в горной выработке и т. д.), либо, при отсутствии таких данных, по результатам структурных построений. Именно последний метод является основным в связи с тем, что прямые измерения имеют крайне ограниченное распространение.

При использовании результатов структурных построений определение направления линии падения пласта в точке производства замеров осуществляется на плане, путем проведения из нее перпендикуляра к ближайшей изогипсе.

Его построение может производиться «на глаз» или с помощью зеркала (рис. 3.8).

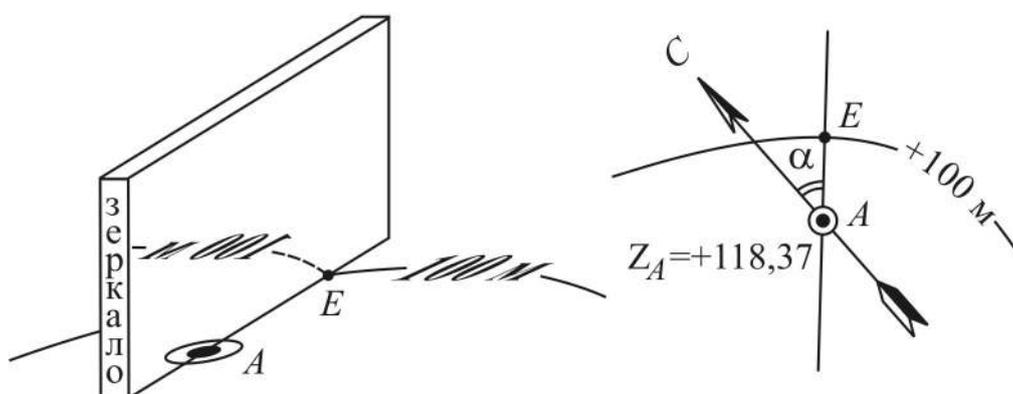


Рис. 3.8. Построение линии падения пласта на плане

При этом зеркало вертикально устанавливается на центр рассматриваемого замера A , а затем производится его вращение вокруг этой точки до тех пор, пока реальное и отраженное изображение изогипсы в точке E не сольются в одну единую плавную кривую, не имеющую в точке E излома. Это положение грани зеркала соответствует направлению линии падения, которая и прочерчивается, используя зеркало как линейку. Далее, на плане определяется значение дирекционного угла этой линии в направлении уменьшения высотных отметок пласта (углол α).

После этого, обращаются к геологическим разрезам по разведочным линиям и измеряют по ним углы падения пласта $\delta_i^{\text{л}}$ в точках плаstopодсечений. Для этого (применительно к определению угла падения пласта Кемеровской в плоскости разреза изображенного на рис. 3.1 в скважине 6571) в точке пересечения почвы пласта со стволом скважины A (рис. 3.9) проводится касательная к пласту AB и горизонтальная линия AC , угол между которыми и является искомым.

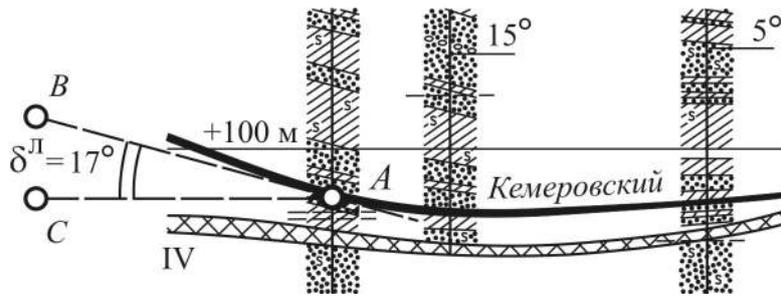


Рис. 3.9. Определение угла падения по разведочной линии

Построение касательной может выполняться как «на глаз», так и с помощью зеркала.

В последнем случае с помощью зеркала, описанным выше способом проводится перпендикуляр к пласту в точке пластоподсечения A . Искомая касательная отстраивается, исходя из того, что угол между нею и перпендикуляром составляет 90° .

Кроме того, по ранее построенным линиям падения для каждого подсечения измеряется острый угол ΔB_i между направлением падения и разведочной линией (рис. 3.10). Зная углы ΔB_i и δ_i^L , по формуле:

$$\delta_i = \arctg \frac{\text{tg} \delta_i^L}{\cos \Delta B_i} \quad (3.2)$$

рассчитываются «истинные» углы падения пласта в точках пластоподсечений.

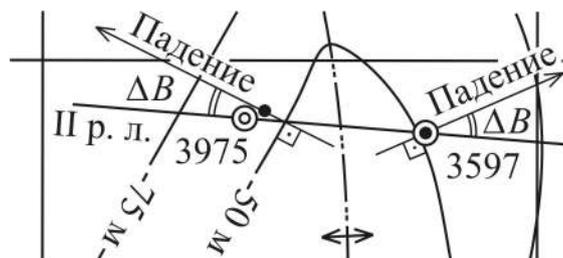


Рис. 3.10. Определение острого угла ΔB

При работе с графической документацией, для упрощения процесса определения углов δ_i по формуле (3.2) разработана специальная палетка-номограмма, выполняемая на прозрачной основе (рис. 3.11).

Для пересчета угла падения пласта $\delta_i^{\text{л}}$, измеренного на разрезе по разведочной линии, в его значение по направлению линии падения палетка-номограмма накладывается на план так, чтобы начало координат (точка M) совпадала с точкой замера, а ось MP – с направлением линии падения пласта (рис. 3.12). По оцифрованной шкале углов (расположенной вдоль оси MP) отыскивается точка A , положение которой соответствует значению угла $\delta^{\text{л}}$ по разведочной линии (24° на рис. 3.12).

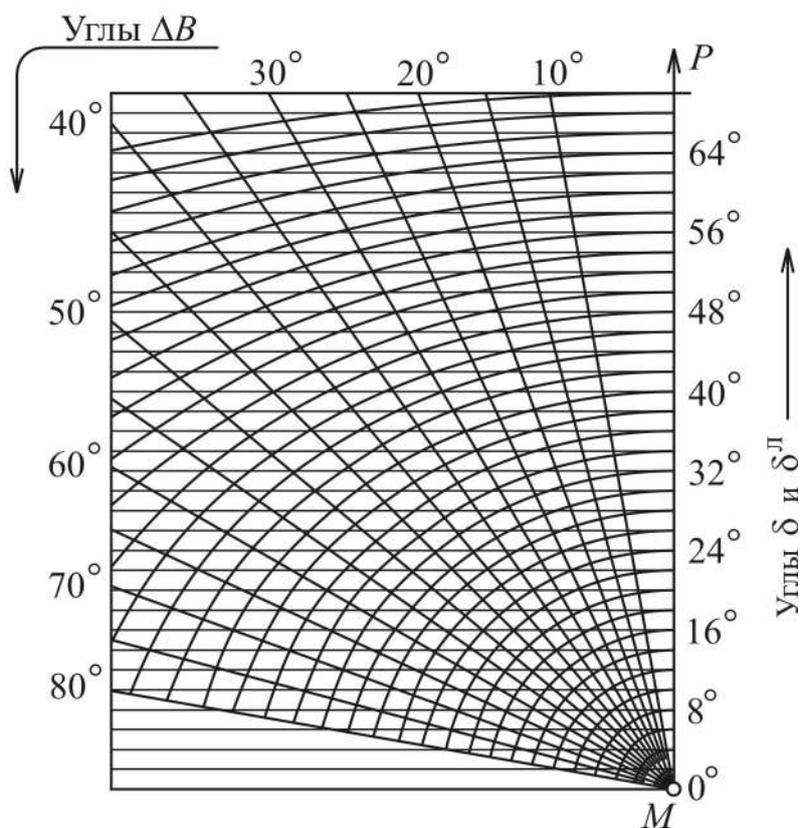


Рис. 3.11. Палетка-номограмма для определения углов падения

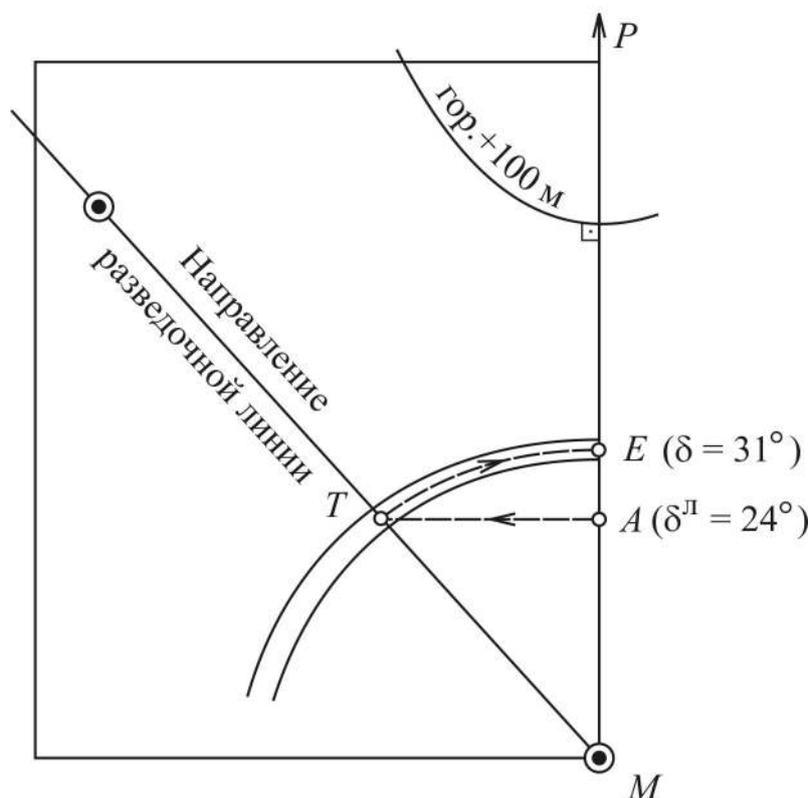


Рис. 3.12. Порядок работы с палеткой-номограммой при определении углов падения

Из точки A восстанавливается перпендикуляр к MP до пересечения с линией геологического разреза в точке T . Путем проектирования положения точки T на шкалу углов параллельно криволинейными шкалами номограммы, определяется положение точки E (на рис. 3.12 линия переноса показана пунктирной линией). Отсчет, «взятый» по шкале углов в точке E соответствует значению «истинного» угла падения δ (31° на рис. 3.12).

Помимо скважин, входящих в состав разведочных линий, существуют и отдельно расположенные скважины (рис. 3.13), определение угла падения пласта в которых, в силу отсутствия отстроенного геологического разреза, осуществить вышеописанным способом невозможно.

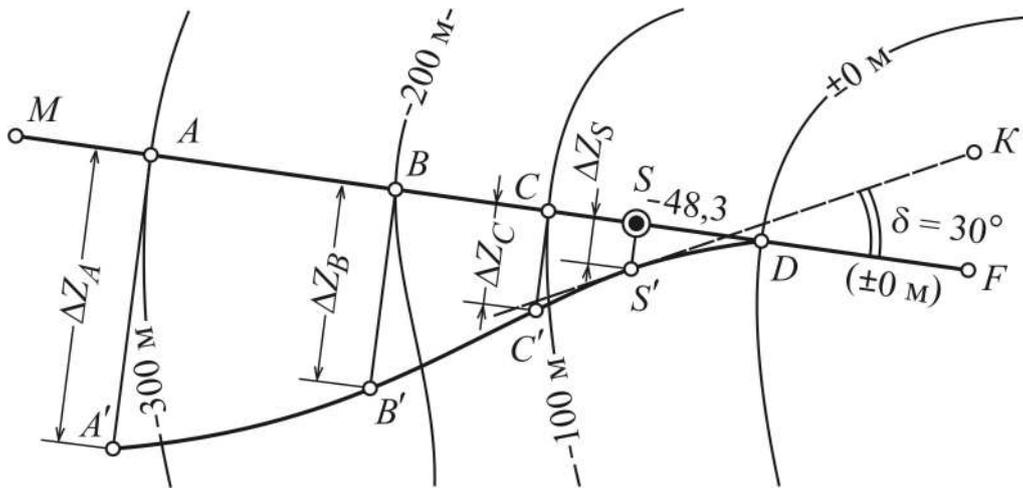


Рис. 3.13. Определение углов падения по замерам, расположенным вне разведочных линий

В данной ситуации поступают следующим образом. Через точку замера (скважину S на рис. 3.13), желательно по направлению падения, т. е. перпендикулярно ближайшей изогипсе, проводится линия падения пласта MF , по направлению которой строится совмещенный с планом разрез. Протяженность линии MF выбирается 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 рис. 3.13) и на ней отмечаются точки ее пересечения с изогипсами пласта (точки A , B , C и D).

Для всех этих точек определяется разность ΔZ_i их высотных отметок (соответствующих отметкам изогипс, к которым они принадлежат) и отметки условного горизонта линии MF . Аналогичная разность рассчитывается и для самого замера, положение которого обозначено на линии MT точкой S .

Для условий рис. 3.13: $\Delta Z_A = 300$ м; $\Delta Z_B = 200$ м; $\Delta Z_C = 100$ м; $\Delta Z_D = 0$ м и $\Delta Z_S = 48$ 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' (совпадающая с точкой D) и S' .

Через эти точки 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 KS' .

Угол между KS' и MT равен углу падения пласта δ в точке S . В случае, если линия разреза MT проводилась не по направлению падения, то полученный угол рассматривается как угол падения по разведочной линии (δ^I) и пересчитывается в «истинный» угол δ по формуле (3.2).

Аналогичным способом определяются углы падения пласта в точках замеров в горных выработках. При высокой плотности изогипс, которая обычно имеет место на планах горных работ, величина угла падения может определяться по величине заложения изогипс (по расстоянию L между изогипсами, измеренному в направлении линии падения, проведенной через точку замера) по формуле:

$$\delta_i = \arctg \frac{\Delta h}{L_i} \quad (3.4)$$

где Δh – сечение изогипс.

Процесс вычислений по формуле (3.4) может осуществляться графически с использованием линейки заложений.

Линейка заложений изготавливается на плотной основе следующим образом. На основу наносятся две горизонтальные линии, удаленные друг от друга (в масштабе плана) на величину сечения изогипс Δh (рис. 3.14). Под нижней линией (AC) располагается собственно панель линейки. Через точку A , произвольно помещаемую в начале панели линейки, проводится вертикальная линия, соответствующая углу падения 90° .

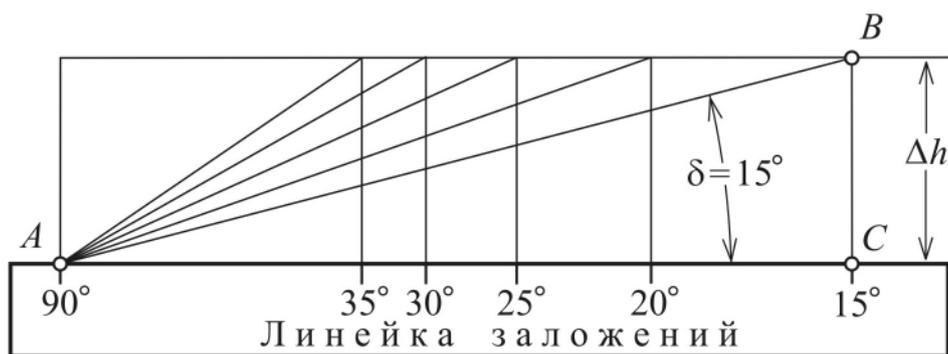


Рис. 3.14. Разметка линейки заложений

Затем из точки A проводится, под планируемыми к нанесению на панель линейки углами падения δ_i , серия наклонных прямых вида AB . Каждая из точек типа B проектируется на линейку в точки типа C , через которые проводятся и оцифровываются шкаловые линии. Измерение углов падения пласта в пространстве между изогипсами производится следующим образом (рис. 3.15).

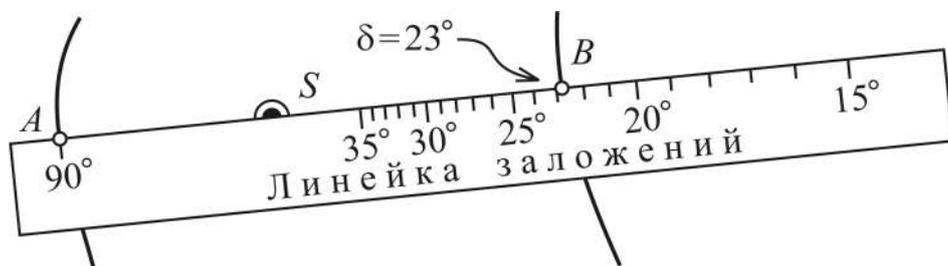


Рис. 3.15. Определение углов падения с помощью линейки заложений

Линейка располагается между изогипсами по направлению линии падения в точке замера S таким образом, чтобы шкаловая линия 90° (точка A) совпадала с одной из изогипс. Затем на линейке отыскивается положение точки B , совпадающей с другой изогипсой, и определяется соответствующий ей отсчет – искомый угол δ падения пласта (на рис. 3.15 он равен 23°). При построении и использовании линейки следует иметь в виду неравномерный характер шкалы углов.

Определение элементов залегания пласта описанными методами затруднено при работе со скважинами, находящимися в замковых частях складок или включенными в линии, ориентированные по направлению простирания пласта. Например, пусть требуется определить элементы залегания пласта в скважине S (рис. 3.16).

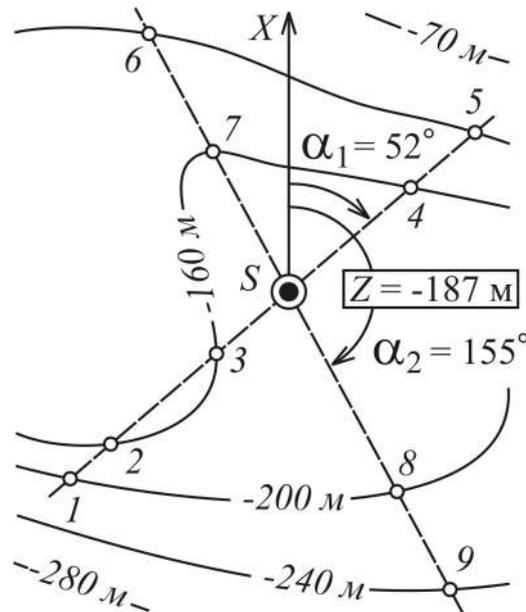


Рис. 3.16. Определение элементов залегания пласта в скважине методом пересекающихся разрезов

Определить направление линии падения с помощью изогипс (как направление нормали к ним) трудно, т. к. скважина расположена в замке достаточно сложной складчатой структуры.

Для определения направления и угла падения пласта через точку плаstopодсечения S проводятся линии двух диагональных разрезов (соответственно, линии точек $1-5$ и $6-9$ на рис. 3.16).

На этих разрезах (построенных по схеме рис. 3.13) определяют углы падения в направлении разреза (δ_1 и δ_2), а на плане – дирекционные углы линий разрезов (α_1 и α_2), в направлении которых происходит падение пласта.

При наличии таких данных «истинные» элементы залегания пласта могут быть вычислены по известным формулам:

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{\operatorname{ctg}\delta_1 \cos\alpha_1 - \operatorname{ctg}\delta_2 \cos\alpha_2}{\operatorname{ctg}\delta_1 \sin\alpha_1 - \operatorname{ctg}\delta_2 \sin\alpha_2}, \quad (3.5)$$

$$\operatorname{ctg}\delta = \operatorname{ctg}\delta_1 \sin(\alpha_1 - \alpha). \quad (3.6)$$

Для обеспечения необходимой точности вычислений по формулам (3.5) и (3.6) желательно итерационно подобрать положение разрезов таким образом, чтобы линия падения пласта проходила в пределах острого угла между ними. Полученные в результате измерений или вычислений элементы залегания пласта в точке плаstopодсечения α и δ записываются в графы 6 и 7 табл. 3.1.

Следует отметить, что необходимое качество определения элементов залегания пласта достигается только в условиях, если принятая величина сечения изогипс обеспечивает качественное отображение анализируемой поверхности гипсометрии. Необходимым и достаточным признаком соблюдения данного условия является величина сечения изогипс, обеспечивающая возможность линейной интерполяции высотных отметок между ними. В связи с этим оценка рациональности принятого при построении гипсометрического плана является необходимым элементом оценки достоверности запасов.

Наиболее простой практический прием выбора сечения изогипс состоит в следующем [81]. 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 последние из отстроенных изогипс уже излишни, так как не изменяют результаты прогнозирования с помощью модели. 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, который реализован рекомендациями [81]

Основная идея этой процедуры совпадает с вышеописанной и состоит в следующем [80]. Пусть по участку уже построены изолинии a и b с рациональным сечением h (рис. 3.17).

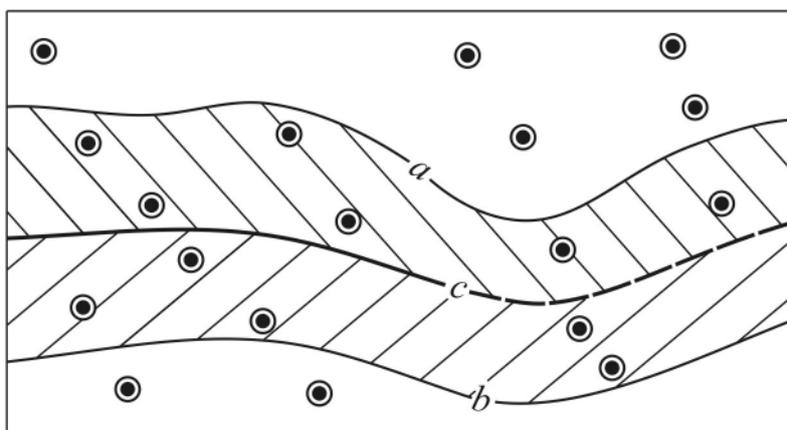


Рис. 3.17. К оценке рациональности сечения изогипс

Тогда промежуточная изогипса c (соответствующая горизонту, отметка которой равна полусумме отметок горизонтов изогипс a и b) должна проходить примерно через середины расстояний между ними. Отсюда следует, что площади, оконтуренные изолиниями $a - c$ и $c - b$, 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 $a-c$ и $b-c$. Исходя из выполнения этого равенства для отдельной пары изолиний, можно говорить и об одинаковом законе распределения числа подсечений, попавших в левые ($a-c$) и правые ($b-c$) части интервалов, а также в сами интервалы ($a-b$), 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 статистического критерия λ академика А. Н. Колмогорова

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{n}}, \quad (3.7)$$

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

Определение D ведется в табл. 3.2.

Во-первых, задается исследуемое значение сечения изогипс – интервал (в рассматриваемом примере – 50 м) и считается число замеров, попавших в каждый интервал (колонка 2), в его левую (колонка 5) и правую (колонка 9) части. В приведенном в табл. 3.2 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 ($4 + 5 = 9$).

Таблица 3.2 (колонки 1–4)

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

Интервал	По интервалу в целом		
	частота	накопленная	
		частота	частость
1	2	3	4
–100 – –50	9	9	0,057
–49,9 – ±0	18	27	0,172
0,1 – 50	20	47	0,299
50,1 – 100	23	70	0,446
100,1 – 150	18	88	0,561
150,1 – 200	28	116	0,739
200,1 – 250	32	148	0,943
250,1 – 300	9	157	1,000
Суммы	157		

Продолжение табл. 3.2 (колонки 5–12)

Интервал	По левой части интервала				По правой части интервала			
	час- тота	накопленная частота		<i>D</i>	час- тота	накопленная частота		<i>D</i>
		факти- ческая	теорети- ческая			факти- ческая	теорети- ческая	
1	5	6	7	8	9	10	11	12
–100 – –50	4	4	3,6	0,4	5	5	5,4	0,4
–49,9 – ±0	6	10	10,7	0,7	12	17	16,3	0,7
0,1 – 50	10	20	18,6	1,4	10	27	28,4	1,4
50,1 – 100	9	29	27,6	1,4	14	41	42,4	1,4
100,1 – 150	6	35	34,8	0,2	12	53	53,3	0,3
150,1 – 200	9	44	45,8	1,8	19	72	70,2	1,8
200,1 – 250	12	56	58,4	2,4	20	92	89,6	2,4
250,1 – 300	6	62	62,0	0,0	3	95	95,0	0,0
Суммы	62				95			

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 (3.7) определяются значения критериев А. Н. Колмогорова для левой

$$\lambda_{\text{л}} = \frac{2,4}{\sqrt{62}} = 0,30$$

и правой

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{2,4}{\sqrt{95}} = 0,25$$

частей интервалов. В дальнейшем используется только максимальное значение критерия $\lambda = 0,30$.

Подобный расчет статистического λ -критерия А. Н. Колмогорова производится несколько раз, при иных вариантах возможного сечения изогипс (например, 25, 75, 100 м).

После этого строится график зависимости λ -критерия А. Н. Колмогорова от величины рассматриваемого сечения (рис. 3.18).

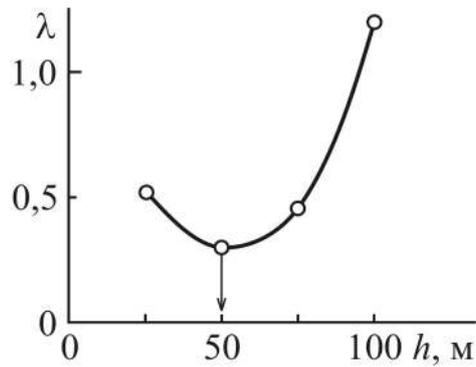


Рис. 3.18. Зависимость значения λ -критерия А. Н. Колмогорова от величины сечения изогипс h (пласт «Рытвинный»)

По графику определяется рациональное сечение изогипс, соответствующее минимуму λ (50 м на рис. 3.18), т. е. в наибольшей степени отвечающее сформулированному условию их рациональности. Фактически гипсометрический план пласта Рытвинный построен при сечении изогипс 100 м и, следовательно, требует производства дополнительных работ по их сгущению до начала выполнения работ по сбору исходных данных. При построении графика следует иметь в виду, что исследование функции $h = f(\lambda)$ должно производиться, начиная с больших сечений.

Такой порядок построения связан с тем, что зависимость между сечением и критерием А. Н. Колмогорова при очень малых сечениях теряет устойчивость, после чего следует катастрофа (в математическом смысле). Поэтому, в случае начала перебора с малых сечений, за отыскиваемый экстремум может быть ошибочно принят локальный экстремум участка потери устойчивости. Если при построении графика все значения критериев А. Н. Колмогорова превысят 0,8, следует обязательно изучить вопрос о правомерности интерполяции между замерами, поскольку она в этом случае весьма сомнительна.

3.3. Подготовка исходных данных для расчета критериев разведанности мощности пласта и показателей качества угля

Основными исходными материалами для подготовки данных, необходимых для расчета дельта-критериев разведанности по результатам геологоразведки, являются подсчетные планы пластов, планы горных работ (при использовании результатов измерений в горных выработках), таблицы результатов технического и элементного анализа углей, определения пластометрических показателей и других исследований углей. Форма таблицы исходных данных, ориентированная на последующую компьютерную обработку, аналогична вышеприведенной в табл. 3.1. Отличие таблиц заключается в том, что при расчете дельта-критериев отсутствует необходимость в знании высотных отметок и элементов залегания пласта и к числу используемых данных относятся только номера скважин (замеров), плоские координаты плаstopодсечений X и Y , а также относимые к ним значения исследуемых признаков (мощности и показатели качества).

Поскольку на практике преимущественно осуществляется совместная оценка гипсометрии, мощности и показателей качества, то реально таблица исходных данных представляет собой табл. 3.1, число колонок которой увеличено для записи в них данных по изучаемым характеристикам (например, добавляется колонка 8 – мощность чистых угольных пачек, 9 – их зольность и т. д.).

Следует отметить, что в отличие от табл. 3.1, для которой предполагается заполнение всех ее ячеек, формируемые дополнительные колонки могут содержать пропуски. Причиной пропусков может являться как прямое отсутствие результатов определения признака в скважине (например, часть показателей качества угля и его элементного состава определяется не по всем пересечениям, а лишь по их части), так и их недостоверное определение (брак).

Мощности, а также зольности пласта и чистых угольных пачек выписываются с подсчетных планов. Для исключения использования ошибочно указанных данных (описок) приведенные на них данные контролируются значениями, приведенными на разрезах (для мощности), в таблицах подсчета средних значений по подсчетным блокам, а также в таблицах технических анализов (для зольности).

Значения показателей качества угля выписываются из соответствующих таблиц, а основные из них – и со структурных колонок при соблюдении перекрестного контроля равенства приведенных в них величин.

Наиболее сложной задачей, возникающей при подготовке данных для расчетов дельта-критериев, является отбраковка данных, призванная исключить из дальнейшей обработки ошибочные данные.

Применительно к мощностям и зольностям пачек и пластов к «подозрительным» на наличие ошибок следует относить результаты измерений, исключенные из подсчета запасов. Как уже отмечалось, не принятые для подсчета запасов (аномальные) значения мощности и зольности приводятся на подсчетных планах без их заключения в обрамляющие рамки (в некоторых «старых» геологических отчетах принятые к подсчету значения обрамлялись двойной рамкой, а не принятые – одинарной).

Исключение замеров из подсчета запасов (который в СССР и в России выполняется в условиях угольных месторождений полигональными методами) может иметь различные причины. Все отбракованные замеры можно условно разделить на три группы.

К первой относятся замеры, содержащие технические ошибки, связанные с неправильным определением принятого угла встречи угольного пласта скважиной, недостоверным определением мощности бурением при отсутствии каротажа и низком выходе керна, определением зольности при низком выходе керна и т. д.

Ко второй группе замеров относятся те из них, аномальное значение признака в которых может быть обусловлено их расположением в пределах точечных геологических «аномалий», факт наличия которых фиксируется разведочными скважинами. Например, наличием конкреций либо локальной карбонатизации угольного слоя, расположением пластопересечений в зонах влияния нарушений и т. д.

Замеры этих двух групп не должны использоваться при вычислении критериев разведанности.

Третья группа аномалий приурочена к относительно небольшим зонам площадного аномального поведения пласта. Необходимость их отбраковки определяется технологией полигонального подсчета запасов предполагающей, что объем полезного ископаемого в пределах контура подсчета (геологического блока) рассчитывается путем умножения истинной площади пласта S в пределах этого контура на среднеарифметическое значение мощностей m_i по относимым к нему n скважинам

$$V = S\bar{m} = S \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{S}{n}. \quad (3.7)$$

Из формулы (3.7) следует, что такая технология подсчета запасов предполагает распространение каждого выполненного замера на одинаковую площадь. Если по отношению к какому-либо замеру данное условие не может быть признано в качестве обоснованного, то он должен быть признан аномальным и исключен из подсчета запасов. Причем аномальность замера должна оцениваться не для пласта в целом, а для отдельных его фрагментов, в пределах которых выполняется подсчет. На практике выделение подобных замеров решается путем применения эвристического экспертного подхода, применение которого ориентировано на исключение только наибольших по значению значений.

Несмотря на то, что аномальные замеры данной третьей группы исключаются из подсчета запасов, данные по ним должны учитываться при расчете критериев разведанности в связи с тем, что они позволяют учесть неопределенности имеющие место при выделении контуров аномалий.

Основной информацией для разделения не принятых в подсчет запасов результатов измерений являются ранее упомянутые комментарии, содержащиеся в таблицах расчета средних значений мощности и зольности по подсчетным блокам, а также анализ информации, содержащийся на структурных колонках пластов (метод измерения мощности, выход керна, наличие каротажа и т. д.).

Несколько сложнее обстоит дело с отбраковкой данных по качественным характеристикам угля (исключая вышерассмотренный параметр зольности). Одним из основных признаков, используемым для их отбраковки является выход и состояние керна, т. е. его представительность. Хотя на результаты опробования могут влиять и нарушения длительности и режимов хранения керна до его направления на испытания, нарушение технологии бурения («прижигание» керна, т. е. перегрев в процессе бурения) и т. п.

Выход керна, при котором результаты опробования являются представительными нормативными документами, применительно к угольным месторождениям в России не лимитируется. Для справки можно указать, что группа методических рекомендаций по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых к месторождениям железных, ртутных, свинцовых и цинковых, никелевых, кобальтовых, марганцевых и ряда других руд установлен минимальный выход керна по каждому рейсу бурения на уровне 70 %. Для месторождений графита, гипса, ангидрита, бора и ряда других аналогичный выход принят на уровне 80 %.

По результатам выполненных Э. М. Пахом исследований [40] все керновые пробы по степени их представительности разделяются в Кузбассе на четыре группы:

- хорошая представительность (выход керна свыше 70 %);
- удовлетворительная представительность (выход керна от 50 до 70 %);
- низкая представительность (выход керна от 30 до 50 %);
- неудовлетворительная представительность (брак – выход керна менее 30 %).

Следует также иметь в виду, что в Кузбассе действует юридически не оформленное, также основанное на результатах упомянутых исследований Э. М. Паха, положение о том, что нормативный выход керна при разведке угольных пластов Балахонской серии выход керна рекомендуется принимать равным 75 %, Кольчугинской серии – 58 %. В последнее время, в связи с внедрением нового бурового оборудования, «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» неформально предлагает обеспечивать 80 % выход керна по угольным пластам.

Исходя из приведенных данных, можно полагать, что результаты опробования, выполненного при выходе керна более 50 %, являются достоверными, при выходе керна менее 30 % – браком, а при выходе керна от 30 до 50 % могут быть как достоверными, так и недостоверными.

Таким образом, результаты опробования керновых проб полученных при выходе керна менее 30 % не должны, вне зависимости от результатов опробования, использоваться при выполнении оценки достоверности.

Возможность использования для этих целей проб, полученных при выходе керна от 30 до 50 % должна определяться по результатам специального анализа.

Для выделения ненадежных данных представляется целесообразным использовать следующий подход: в качестве недостоверной следует признавать результаты анализа по пробам, которые аномальны по своей величине и отобраны при выходе керна менее 50 %.

Как уже отмечалось, выделение аномальных значений является неформальной задачей, которая может быть квалифицированно решена только экспертами, обладающими большим профессиональным опытом.

Результаты отбраковки зависят от уровня профессиональной подготовки геолога и даже от ориентировки участка относительно стран света. Применительно к анализу мощности представление о том, какая мощность «естественна», а какая аномальна, 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. Авторами, 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°. Т. е. верхняя (самая северная) разведочная линия первого варианта плана во 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.

Получить удовлетворительное качество решения задачи отбраковки можно и с помощью формализованных методов.

К ним относится подход, основанный на анализе результатов геометризации рассматриваемого показателя. По результатам геометрического моделирования потенциально аномальным замером признается тот, вокруг которого замыкаются две и более изолинии признака (рис. 3.19, а).

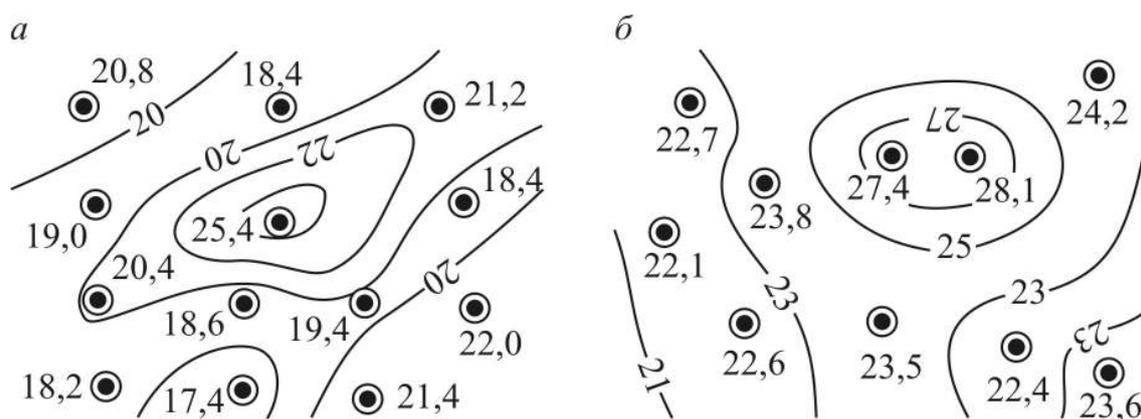


Рис. 3.19. Выделение потенциально аномальных замеров на основе анализа результатов геометризации

В случае если изолинии замыкаются вокруг группы замеров (рис. 3.19, б) аномалии не выделяются. Основным условием применения метода является то, что сечение изолиний должно быть рациональным в рассмотренном выше понимании. Недостатком описанного подхода является высокая трудоемкость. Выделение нехарактерных замеров со значительно меньшими трудозатратами может быть эффективно произведено с помощью метода уравнивания геологоразведочных измерений (который подробно рассмотрен ниже).

Скомплектованный комплект исходных данных является основой выполнения количественной оценки достоверности. Следует обратить внимание на то, что результаты выполнения работ по сбору и подготовке данных по своей полноте, содержанию, и характеру изложения должны обеспечивать возможность проверки их результатов без участия авторов. Особого внимания требует изложение причин отбраковки результатов отдельных измерений и определений.

4. Дополнительные методы оценки достоверности геологоразведочных данных

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

Как уже отмечалось, погрешность подсчитанного количества запасов не является квалификационным признаком их категории, а лишь определяется ею. Исходя из этого, в принципе, должна наблюдаться взаимосвязь между погрешностью подсчета и значениями критериев разведанности, определяющими категорию разведанности запасов.

Для установления характера такой зависимости был собран статистический материал по 291 отработанному геологическому подсчетному блоку месторождений Ленинского, Кемеровского и Беловского районов Кузбасса [85]. Из общего числа блоков 36 % были квалифицированы в ходе государственной геологической экспертизы по категории А, 48 % по категории В и 16 % – по С₁.

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;
- действительно существовавшие запасы, представляющие собой сумму объемов добычи и потерь, определенных по данным маркшейдерских замеров.

Сведения об общих характеристиках используемых при анализе подсчетных блоков приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики отработанных подсчетных геологических блоков

Наименование характеристики	Значения		
	максимальное	среднее	минимальное
Утвержденные запасы, тыс. т	6171	1348	48
Подсчетная мощность пласта, м	5,72	2,75	1,83
Угол падения пласта, град	2	10	28
Доля запасов нецелесообразных к разработке (D_c), %	72,7	16,4	0,0
Доля неподтвердившихся запасов (D_n), %	13,2	1,4	0,0
Доля действительно существующих запасов (D_ϕ), %	100,0	82,4	26,8
Значение лямбда-критерия по блоку (λ), м	0,2	5,9	18,2
Значение удельного лямбда-критерия по блоку ($\lambda_{уд}$)	15,3	3,61	0,05
Значение относительного дельта-критерия мощности пласта (δ), %	45,0	8,3	0,0
Фактическая дизъюнктивная нарушенность (K_ϕ), м/га	44	4	0
Дизъюнктивная нарушенность по данным разведки (K_p), м/га	27	2	0

В качестве дополнительного показателя разведанности гипсометрии использовано удельное значение лямбда-критерия разведанности гипсометрии, определяемого по формулам

$$\lambda_{уд} = \frac{\lambda}{S} \text{ при } S \geq 100 \text{ тыс. м}^2, \quad (4.1)$$

$$\lambda_{уд} = \lambda \text{ при } S < 100 \text{ тыс. м}^2,$$

где S – площадь оценочного четырехугольного блока, сотни тысяч м^2 .

Анализ собранных материалов проводился методами корреляции и распознавания образов. Полученные уравнения парных корреляционных зависимости долей запасов нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам, неподтвердившихся и действительно существующих запасов от значений критериев разведанности приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Характеристики корреляционных зависимостей долей запасов от критериев разведанности

Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции
Доля запасов нецелесообразных к разработке	
$D_c = 10 + 1,5\lambda$	0,38
$D_c = 8 + 2,9\lambda_{уд}$	0,65
$D_c = 19 + 0,09\delta$	0,05
Доля неподтвердившихся запасов	
$D_H = 5 + 0,04\lambda$	0,04
$D_H = 6 - 0,16\lambda_{уд}$	-0,22
$D_H = 4 + 0,20\delta$	0,67
Доля действительно существующих запасов	
$D_\phi = 94 + 1,98\lambda$	-0,48
$D_\phi = 94 + 3,22\lambda_{уд}$	-0,69
$D_\phi = 87 + 0,38\delta$	-0,19

Статистически незначимая связь между степенью разведанности мощности пласта и объемами списаний запасов нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам вполне естественна, поскольку их появление связано, в наибольшей степени, с повышенной сложностью тектонического строения и инженерно-геологических условий на отдельных участках.

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, характеризующуюся коэффициентом множественной корреляции 0,71:

$$D_{\phi} = 97,0 - 2,8\lambda_{\text{уд}} - 0,30\delta. \quad (4.2)$$

Характеризующие подсчетный блок величины $\lambda_{\text{уд}}$ и δ определяются путем вычисления среднеарифметических значений по входящим в него оценочным четырехугольникам. К ним относятся четырехугольники, площади которых на шестьдесят и более процентов расположены внутри контура подсчетного блока.

Так, средние критерии по изображенному на рис. 4.1 блоку рассчитываются как среднеарифметические из критериев вычисленных по четырехугольникам 2, 3, 4, 5 и 6. 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.

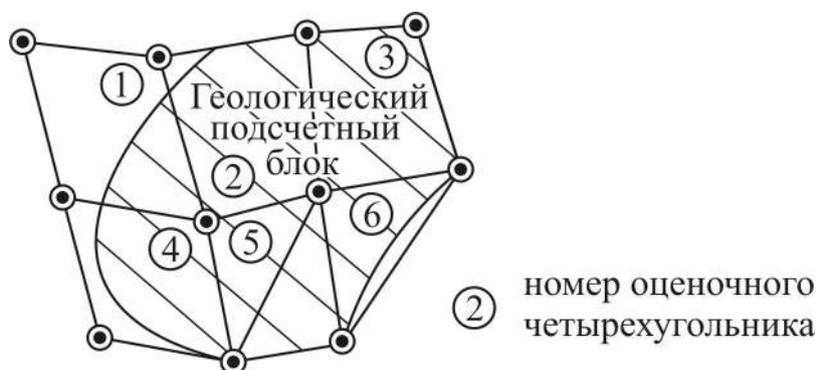


Рис. 4.1. Расчет средних значений критериев разведанности по геологическому подсчетному блоку

Сеть разведочных скважин по первому блоку квадриангулируется на четыре оценочных блока, второго – на три. Среднеарифметическое удельное значение по первому блоку – 1,6, а по второму – 2,4 м. Средние значения дельта-критериев для блоков составляют соответственно 12 и 15 %. Тогда, в соответствии с формулой (4.2), доля действительно существующих запасов по первому блоку оценивается в 89 %, по второму – в 86 %. Следовательно, действительно существующие запасы по блокам составляют: по первому блоку $594 \times 0,89 = 529$ тыс. т, по второму – $637 \times 0,86 = 548$ тыс. т.

С учетом частичной отработки блоков, утвержденные запасы по ним составляют: $594 \times 0,73 = 434$ тыс. т, по второму – $637 \times 0,86 = 548$ тыс. т (суммарно 982 тыс. т), а действительно существующие – $529 \times 0,73 = 386$ тыс. т и $548 \times 0,86 = 471$ тыс. т. Таким образом, общее ожидаемое количество запасов по участку составляет 857 тыс. т или 87% от утвержденных.

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

- I – с долей действительно существующих запасов от 90 до 100 %;
- II – с долей действительно существующих запасов от 75 до 89 %;
- III – с долей действительно существующих запасов менее 75 %.

В целом, точность определения количества запасов соответствует сложившимся представлениям о погрешности запасов оцененных по категориям А, В и С₁.

Распознавание принадлежности конкретного объекта (геологического подсчетного блока, характеризуемого средними значениями критериев разведанности $\lambda_{уд}$ и δ) 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

$$R_k = \sqrt{(\lambda_{уд} - C_k^\lambda)^2 + 0,3(\delta - C_k^\delta)^2}, \quad (4.3)$$

где C_k^λ , C_k^δ – соответствующие координаты центров k -х образов (значения координат – табл. 4.3);

– устанавливается принадлежность объекта к определенному образу j по признаку минимума расстояния R_k ;

– устанавливается пессимистическое, ожидаемое и оптимистическое количество действительно существующих запасов по формуле:

$$Q_d = Q_б D_\phi^j, \quad (4.4)$$

где D_ϕ^j – доля фактически существующих запасов для выбранного образа j (табл. 4.4); Q_d – подсчитанные балансовые запасы.

Отнесение подсчетного блока к одному из трех выделенных образов производится с помощью описанного алгоритма с вероятностью 0,70.

Таблица 4.3

Координаты центров образов
по осям удельных лямбда-критериев и дельта-критериев

Координата	Образ I	Образ II	Образ III
C_k^λ	2,0	5,0	8,0
C_k^δ	6,0	18,0	30,0

Таблица 4.4

Доля действительно существующих запасов D_ϕ^j
для отдельных образов

Оценка	Образ I	Образ II	Образ III
Ожидаемая	0,90	0,80	0,65
Пессимистическая	0,85	0,75	0,55
Оптимистическая	0,95	0,85	0,75

Погрешности классификации блоков бывают двух видов:

– погрешность первого рода, составляющая 17 %, состоящая в том, что подсчетный блок будет ошибочно отнесен к образу, имеющему меньшую долю действительно существующих запасов, чем фактически;

– погрешность второго рода, составляющая 13 %, состоящая в том, что подсчетный блок будет ошибочно отнесен к образу, имеющему большую долю действительно существующих запасов, чем фактически.

Естественно, что появление погрешности первого рода значительно предпочтительнее, чем второго.

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.

Результаты выполненного сопоставительного анализа показали, что в случае использования в качестве признака распознавания только утвержденной категории запасов блока (А, В или C_1), вероятность получения правильных оценок снижается в два раза – до 36 %.

Хотя, конечно, 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 категоричности запасов в ходе проектирования и эксплуатации горнодобывающих предприятий.

Рассмотрим порядок применения алгоритма распознавания образов на материалах приведенного выше примера.

На первом этапе определяется принадлежность к одной из групп (I, II или III) достоверности запасов. Для этого по формуле (4.3) определяются расстояния до центров трех образов R_k . Для условий выше рассмотренного примера по первому подсчетному блоку (со средним значением удельного лямбда-критерия 1,6 м и средним значением дельта-критерия 12 %) они равны:

$$R_I = \sqrt{(1,6 - 2,0)^2 + 0,3 (12,0 - 6,0)^2} = 3,31,$$

$$R_{II} = \sqrt{(1,6 - 5,0)^2 + 0,3 (12,0 - 18,0)^2} = 4,73,$$

$$R_{III} = \sqrt{(1,6 - 8,0)^2 + 0,3 (12,0 - 30,0)^2} = 11,75.$$

Исходя из того, что расстояние до центра образа I минимально, именно к нему и следует отнести данный подсчетный блок. В соответствии с этим, на основании таблицы 4.4 ожидаемая доля действительно существующих запасов блока может быть оценена в 90 % (при оптимистической оценке в 95 % и пессимистической 85 %).

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. Поэтому, при выполнении практических расчетов целесообразно использовать только ожидаемую и оптимистическую оценки.

Нетрудно заметить, что использованные для статистической обработки материалы относятся только к условиям подземной отработки запасов с применением длинностолбовых технологий. С помощью данных технологий в Кузбассе подземным способом добывается 93 % угля [89]. Однако полученные результаты могут быть все же применены и для иных условий. Для этого были использованы сложившиеся соотношения между объемами списаний и неподтверждений по комплексно-механизированным шахтам, разрезам и низкомеханизированным шахтам, обрабатывающим, в основном, пласты с крутым и круто-наклонным залеганием. На основе указанных предположений предложены следующие формулы оценки размеров действительно существующих запасов для этих условий [88]:

– для низкомеханизированных шахт обрабатывающих пласты с крутым и круто-наклонным залеганием:

$$D_{\text{ф}} = 97,9 - 2,0\lambda_{\text{уд}} - 0,07\delta, \%$$
 (4.5)

– для разрезов:

$$D_{\text{ф}} = 98,5 - 1,0\lambda_{\text{уд}} - 0,04\delta, \%$$
 (4.6)

Рассчитанная ожидаемая степень подтверждаемости запасов D_{ϕ} может использоваться при укрупненной оценке сырьевой составляющей угольного бизнеса, а также при решении вопроса о достаточности геологической информации для проведения государственной экспертизы запасов.

В соответствии с федеральным законом «О недрах» [68] «Государственная экспертиза может проводиться на любой стадии геологического изучения месторождения при условии, если представляемые на государственную экспертизу геологические материалы позволяют дать объективную оценку количества и качества запасов полезных ископаемых, их народно-хозяйственного значения, горнотехнических, гидрогеологических, экологических и других условий их добычи» (статья 29).

Явного правового решения данный вопрос не имеет. Однако «Порядок проведения государственной экспертизы оперативного изменения состояния запасов месторождений твердых полезных ископаемых» [37] предусматривает, что в случае если разовое или суммарное количество балансовых запасов полезных ископаемых, списанных и (или) намечаемых к списанию, превышает 20 %, а суммарный прирост балансовых запасов превышает 50 % от количества балансовых запасов, переданных недропользователю по лицензии на право пользования недрами, то недропользователь должен провести геолого-экономическую переоценку и пересчет запасов в границах предоставленного ему в пользование участка недр и их утверждение в органах государственной экспертизы запасов полезных ископаемых.

Отсюда следует, что при занижении запасов более чем на 20 % ТЭО постоянных кондиций может впоследствии потребовать пересмотра, как основанное на необъективных материалах.

Разумеется, при этом должны использоваться не величины коэффициента D_{ϕ} по отдельным геологическим подсчетным блокам, а их среднеквадратическое значение по группе тех блоков, запасы которых составляют основу ТЭО (для участков со значительными запасами в ТЭО используется только их часть, обеспечивающая работу предприятия на период порядка 20 лет).

При оценке ожидаемого уровня списаний и неподтверждений следует обратить внимание на то, что часть подлежащих списанию запасов может быть выявлена еще на стадии ТЭО кондиций или проектирования.

Порядок учета этого обстоятельства понятен из следующего примера. Пусть для участка с запасами 100 млн т коэффициент D_{ϕ} составляет 20 % (ожидаемый уровень списаний и неподтверждений – 20 млн т), но на стадии проектирования 8 млн т запасов отнесены к нецелесообразным к отработке по технико-экономическим причинам в связи с их нахождением в зонах интенсивного развития дизъюнктивной нарушенности и (или) резкого изменения мощностей пластов. Тогда объем списаний и неподтверждений запасов, который следует ожидать на стадии эксплуатации, составит 12 млн т или 13 % (как отношение 12 млн т ожидаемых к списанию запасов к 92 млн т вовлекаемых в эксплуатацию). При выполнении указанного подсчета запасы, расположенные в зоне выветрелых пород, признаваемые нецелесообразными к отработке в связи недопустимостью их подземной выемки, а также запасы находящиеся за пределами технических границ предприятия не должны учитываться как в уже списанных, так и в исходных балансовых запасах.

4.2. Оценка полноты 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 [14]:

$$K_{\text{д}} = \frac{\sum l}{S}, \quad (4.7)$$

где $\sum l$ – суммарная протяженность нарушений, м; S – площадь анализируемого участка, га.

Хотя традиционно расчет коэффициента нарушенности осуществляется преимущественно по пласту в целом, допускается и определенная детализация оценок на основе его разделения на контуры с площадями не менее 1 км².

По результатам исследований «Научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевого научного центра ВНИМИ» рост значений коэффициента $K_{\text{д}}$ приводит к снижению технико-экономических показателей работы шахт (табл. 4.5). Несмотря на то, что приведенные в табл. 4.5 результаты исследований получены достаточно давно и в условиях дотирования угольной отрасли, выявленные общие тенденции сохраняют свое значение. Исследованиями, выполненными в 2011 году старшим научным сотрудником Института угля Сибирского отделения Российской академии наук М. В. Писаренко установлено, что рост коэффициента нарушенности в пределах контура выемочного столба на каждые 10 м/га приводит к увеличению потерь угля (в результате последующего списания запасов в нарушенных зонах), в среднем на 2 %.

Влияние интенсивности дизъюнктивной нарушенности
на технико-экономические показатели работы угольных шахт [9]

K_d , м/га	Относительные значения технико-экономических показателей		Возможный уровень механизации
	производительность труда рабочего	себестоимость добычи	
Менее 50	1,00	1,00	Повсеместное приме- нение мехкомплексов
От 50 до 150	0,65 – 0,90	1,0 – 1,4	Ограниченное приме- нение мехкомплексов
От 150 до 250	0,50 – 0,75	1,4 – 1,75	Применение мехком- плексов на отдельных наименее нарушенных участках
Более 250	менее 0,50	более 1,75	Применение мехком- плексов не возможно

По результатам этих исследований, в подавляющем большинстве случаев отработка выемочных столбов в Кузбассе осуществляется при их нарушенности, не превышающей 60 м/га. Отдельные случаи отработки высоконарушенных выемочных столбов (K_d до 150 м/га) сопровождаются потерей 40–50 % их запасов, что допустимо только при добыче остродефицитных марок коксующего угля. Следует отметить, что величина K_d , вычисленная для контура выемочного столба, несколько превышает (обычно в 1,5–2 раза) его величину, определенную по пласту в целом. Это связано с наличием в пределах пласта не только нарушенных, но и «свободных» от дизъюнктивов лав.

Таким образом, приведенные в табл. 4.5 результаты сохраняют свое значение только частично. В современных условиях можно говорить о том, что повсеместное применение механизированных комплексов преимущественно возможно по пластам с коэффициентом нарушенности до 40 м/га, а ограниченное – до 75 м/га.

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 не постоянна и должна зависеть для каждого конкретного объекта от плотности разведочной сети.

Для проверки данного обстоятельства авторами были собраны и проанализированы материалы горных и геологоразведочных работ по нескольким пластам Анжерского, Кемеровского, Беловского и Ленинского геолого-промышленных районов Кузбасса, характеризующихся значениями K_d от 0 до 150 м/га [54].

В результате статистической обработки установлено наличие тесной корреляционной связи (рис. 4.2) между отношением D коэффициентов нарушенности по данным горных ($K_d^Г$) и разведочных работ ($K_d^Р$):

$$D = \frac{K_d^Г}{K_d^Р} \quad (4.8)$$

и удельным значением лямбда-критерия, определенным по формуле (4.1):

$$D = 0,4 + 0,42\lambda_{уд}. \quad (4.9)$$

Естественно, что применение зависимости, равно как и самих коэффициентов нарушенности, правомерно не для отдельных оценочных или подсчетных блоков, а для относительно крупных участков шахтных полей (площадью более 1 км²).

Используя указанную зависимость и результаты оценки степени нарушенности по геологоразведочным материалам, можно оценить ожидаемую фактическую нарушенность участка

$$K_d^{ож} = DK_d^Р. \quad (4.10)$$

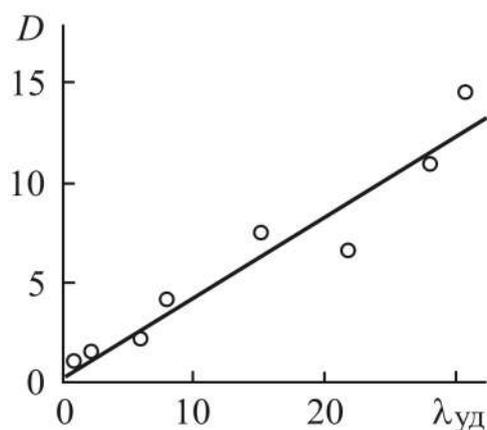


Рис. 4.2. Зависимость между отношением коэффициентов нарушенности D и удельным значением лямбда-критерия разведанности $\lambda_{уд}$

Наиболее существенное занижение степени дизъюнктивной нарушенности происходит при определении объективных оценок количества и народно-хозяйственного значения запасов, предназначенных для подземной добычи. В случае, если по данным разведки степень нарушенности участка $K_{д}^p < 40$ м/га, а ожидаемая нарушенность $K_{д}^{ож} > 40$ м/га, все запасы пласта целесообразно квалифицировать по категории C_1 , а при $K_{д}^{ож} > 75$ м/га – по категории C_2 .

На практике, хотя и редко, возникают ситуации, когда по данным геологоразведочных работ на оцениваемом участке полностью отсутствуют разрывные нарушения. Это отмечается, как правило, на объектах, пораженных незначительным количеством малоамплитудных нарушений. Поскольку пересчет наблюдаемой интенсивности нарушенности в ожидаемую по формуле (4.10) в таком 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. 4.3).

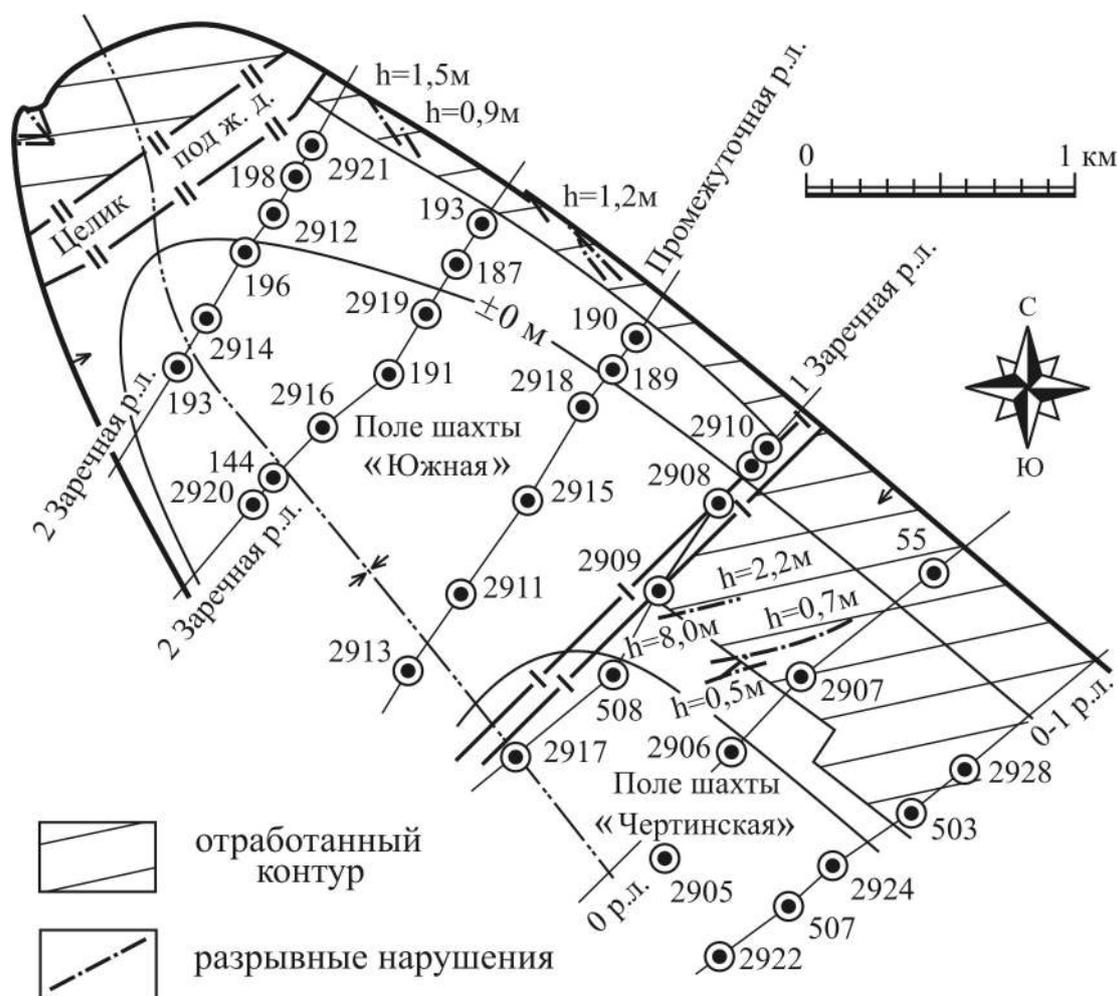


Рис. 4.3. К оценке нарушенности участка пласта 4 поля шахты «Западная»

В связи с принадлежностью рассматриваемых пластов к единой структуре (Чертинской брахисинклинали) можно предположить, что между интенсивностью развития дизъюнктивной тектоники и характеристикой сложности условий залегания пластов должна существовать статистическая зависимость. Для проверки этого предположения по пяти отработанным участкам пластов были собраны соответствующие данные (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Удельные значения лямбда-критериев и показатели нарушенности
отработанных участков пластов

Шахта, пласт	Удельное значение лямбда-критерия $\lambda_{уд}$	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

Результаты статистического анализа материалов показывают, что в условиях рассматриваемых участков между значениями показателя нарушенности K_d и удельными значениями лямбда-критериев существует зависимость (рис. 4.4) вида:

$$K_d = 10,9\lambda_{уд} - 9,1; \text{ м/га.} \quad (4.11)$$

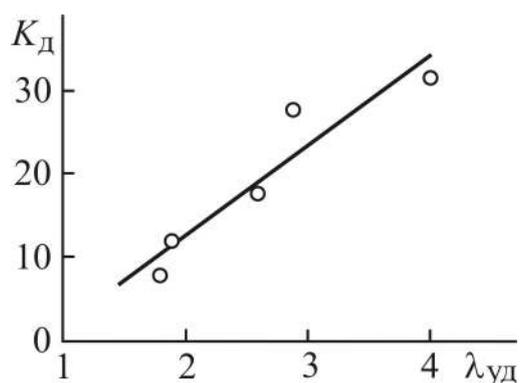


Рис. 4.4. Зависимость между показателем нарушенности пластов (K_d) и удельным значением лямбда-критериев ($\lambda_{уд}$) в условиях Чертинского месторождения

По установленной зависимости (4.11) при удельном значении лямбда-критериев по передаваемым участкам пластов 4 и 5 равном 2,0, следует ожидать, что интенсивность развития разрывных нарушений по ним составит 13 м/га.

На основании вышеприведенных оценок было принято инвестиционное решение о строительстве на указанных запасах нового предприятия – шахты «Чертинская–Коксовая», которое ныне успешно работает. К настоящему времени по пласту 4 уже отработано примерно 60 % запасов, расположенных в пределах контура ранее указанной оценки при фактической нарушенности пласта в 11 м/га. Особо следует подчеркнуть, что применять данный подход допустимо только в случае наличия материалов горных работ и только в пределах тектонически однородных структур.

4.3. Определение степени неоднозначности построений по линии разведочных скважин

Построение разрезов по геологическим разведочным линиям предусматривает решение двух наиболее крупных задач:

- геологической, состоящей, в основном, в установлении корреляции пластов по разрезам скважин, т. е. в выборе пластоподсечений отдельных скважин, относящихся к одним и тем же пластам;
- геолого-геометрической, заключающейся 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.

При выполнении оценки достоверности запасов с помощью критериев разведанности их значения фактически оценивают и достоверность установления положения пласта в сечении геологического разреза.

Однако на практике возникают ситуации, требующие индивидуальной оценки достоверности установления положения пласта в межскважинных интервалах по линии разведочных скважин.

Во-первых, это необходимо на ранних стадиях геологического изучения недр, прежде всего на оценочной, когда основная часть запасов должна соответствовать требованиям категории C_2 и подтверждаться на участках детализации с подсчетом разведанных запасов в их пределах вплоть до категории C_1 [44]. При формировании участков детализации в условиях угольных месторождений ключевую роль имеют так называемые опорные профили. Такой профиль представляет собой сечение по линии разведочных скважин, расстояния между которыми существенно меньше, чем на остальных «рядовых» профилях.

Фактически, плотность скважин в пределах опорного профиля должна быть явно избыточной, что бы на основе последующего разрежения сети скважин установить расстояние между ними, обеспечивающее вскрытие основных закономерностей поведения пласта с точностью, соответствующей требованиям категории запасов. В связи с этим понятно, что необходим индивидуальный контроль степени «переразведки» опорного профиля, отсутствие которого может привести к очень серьезным ошибкам при принятии инвестиционных решений по целесообразности выполнения дальнейших разведочных работ и при обосновании методики их выполнения.

Во-вторых, действующие в России строительные нормы и правила [73] предписывают проводить вертикальные или наклонные скважины параллельно осевым линиям горизонтальных и наклонных магистральных выработок для того, чтобы избежать заложения их непосредственно в местах тектонической нарушенности массива, карстов и пльвунов.

Такие скважины формируют специальные разведочные линии, обычно именуемые контрольно-стволовыми.

При проведении наклонных выработок по углю, предусматривающих последующее размещение в них ленточных конвейеров, которые работоспособны лишь в определенном диапазоне углов наклона, бурение таких линий совершенно необходимо и с технических позиций.

Это связано с тем, что в случае наличия тектонических нарушений переход выработки с одного крыла пласта на другое может потребовать большого объема проходки по породе, а в отдельных случаях привести и к невозможности размещения погрузочного пункта конвейера на требуемом горизонте. Данные обстоятельства также предполагают необходимость наличия специального количественного метода оценки достоверности контрольно-стволовой разведочной линии.

В соответствии с предложенными в главе 1 принципами количественной оценки достоверности метод ее определения применительно к системе замеров по линии разведочных скважин также должен быть основан на определении степени неоднозначности предполагаемого 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 предложено создавать искусственные избыточные варианты построений положения пласта [3].

Пусть имеется разведочная линия, пересекающая пласт в точках его встречи скважинами 1–6 (рис. 4.5).

Такую сеть замеров можно разделить на группы перекрывающих друг друга фрагментов, которые будем условно именовать мини-разрезами.

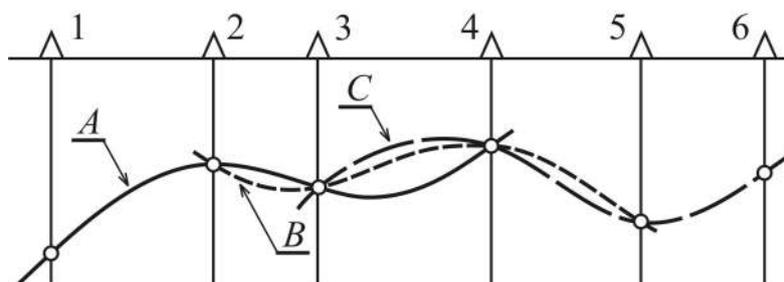


Рис. 4.5. Создание избыточных вариантов положения пласта по геологическому разрезу

Каждый из таких разрезов включает строго четыре скважины. Применительно к рис. 4.5 мини-разрезами будут являться разрезы по скважинам 1–2–3–4, 2–3–4–5 и 3–4–5–6. По скважинам мини-разрезов можно осуществить построение положения пласта (линия *A* для группы скважин 1–2–3–4, линия *B* для группы скважин 2–3–4–5 и *C* для группы 3–4–5–6).

Естественно, что положение пласта, на перекрывающих друг друга участках мини-разрезов, не будет совпадать. Таким образом, на этих участках возникает явно выраженная многовариантность построений. Ее количественной мерой может выступать, обозначаемое в дальнейшем как μ , максимальное расхождение в положении пласта по вариантам построений (мини-разрезам).

В целях обеспечения автоматизации процесса получения вариантов, для построения мини-разрезов использована кубическая сплайн-функция.

Формула, по которой производятся расчеты высотных отметок почвы пласта между начальным (первым) и конечным (четвертым) пластоподсечениями мини-разреза, может быть записана в виде

$$Z_r = (F_1(x) \operatorname{tg}\delta_1 - F_2(x) \operatorname{tg}\delta_4)R + (Z_4 - Z_1) F_3(x) + Z_1, \quad (4.12)$$

где Z_r – высотная отметка почвы пласта в точке, удаленной от начального пластоподсечения мини-разреза на горизонтальное 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, тангенсу угла присваивается знак минус); Z_1, Z_4 – отметки почвы пласта в начальном и конечном подсечениях миниразреза; R – горизонтальное расстояние между начальным и конечным подсечениями мини-разреза. Функции F_j определяются по формулам (2.6) и зависят от параметра x , являющегося отношением r к R .

Непосредственное производство расчетов по формуле (4.13) является невозможным, поскольку фактические значения углов δ_1 и δ_4 неизвестны. Однако по заданным отметкам двух промежуточных подсечений мини-разреза (Z_2 и Z_3) можно определить искомые углы путем составления и решения системы двух линейных уравнений вида

$$Z_2 = (F_1(x_2) \operatorname{tg}\delta_1 - F_2(x_2) \operatorname{tg}\delta_4)R + (Z_4 - Z_1) F_3(x_2) + Z_1, \quad (4.13)$$

$$Z_3 = (F_1(x_3) \operatorname{tg}\delta_1 - F_2(x_3) \operatorname{tg}\delta_4)R + (Z_4 - Z_1) F_3(x_3) + Z_1,$$

где r_2, r_3 – горизонтальное расстояние между подсечениями соответственно 1, 2 и 1, 3; x_2, x_3 – отношения длин:

$$x_2 = \frac{r_2}{R}; \quad x_3 = \frac{r_3}{R}. \quad (4.14)$$

После расчета тангенсов конечных углов δ_1 и δ_4 определяются углы падения в точках 2 и 3:

$$\operatorname{tg}\delta_2 = \operatorname{tg}\delta_1(1 - 4x_2 + 3x_2^2) - \operatorname{tg}\delta_4(2x_2 - 3x_2^2) + 6(x_2 + x_2^2)\frac{Z_4 - Z_1}{R},$$

(4.15)

$$\operatorname{tg}\delta_3 = \operatorname{tg}\delta_1(1 - 4x_3 + 3x_3^2) - \operatorname{tg}\delta_4(2x_3 - 3x_3^2) + 6(x_3 + x_3^2)\frac{Z_4 - Z_1}{R}.$$

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. 4.6).

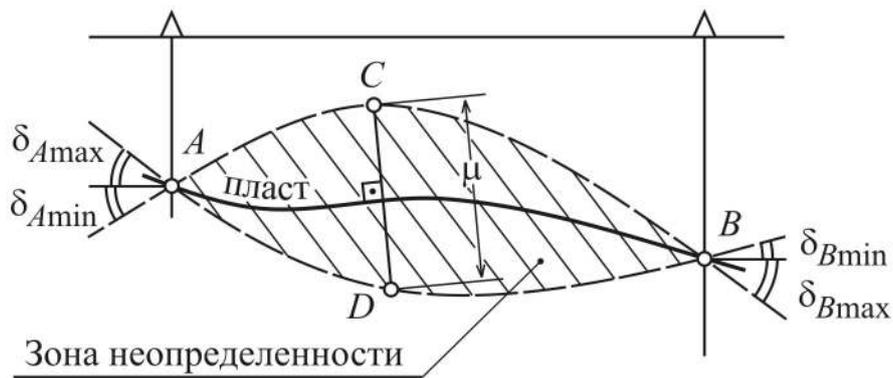


Рис. 4.6. Оценка многовариантности по линии замеров

Из числа определенных для каждого замера вариантов значений углов выбираются два угла, максимально отличающиеся от принятого при построениях в большую и в меньшую стороны (например, для замера по скважине A такими углами являются δ_{Amax} и δ_{Amin} – рис. 4.6).

Используя значения этих углов, для каждой пары пластоподсечений отстраиваются допустимые граничные положения размещения пласта в недрах (кривые ACB и ADB на рис. 4.6).

Заключенную между ними зону можно назвать зоной неопределенности в положении пласта. В качестве итоговой оценки неопределенности принимается максимальная ширина этой зоны μ , измеренная в нормальном к пласту направлении.

На основании проведенных статистических исследований, проведенных по методике Т. Б. Роговой и С. В. Шаклеина, содержание которой будет рассмотрено в главе посвященной мониторингу достоверности запасов, установлена возможность оценки (с вероятностью 0,68) погрешности положения пласта в сечении по разведочной линии:

– для внешних (концевых) пар пересечений (типа 1–2 и 5–6 на рис. 4.5):

$$R_{gr} = 1,7\mu ; \quad (4.16)$$

– для внутренних пар пересечений (типа 2–3, 3–4 и 5–6 на рис. 4.6):

$$R_{gr} = 0,7\mu . \quad (4.17)$$

Входящие в формулы (4.16) и (4.17) эмпирические коэффициенты установлены по результатам сопоставления данных горных и разведочных работ и являются средними для Кузбасса.

В практике построения геологических разрезов часто возникают ситуации, когда при построении сечения пласта (например пласта В на рис. 4.7) используются данные вышележащего, который изучен с помощью более густой сети скважин (например пласта А на рис. 4.7), либо даже частично отработан.

Учет использования при построении материалов вышележащего, более изученного пласта, обеспечивается путем введения в рассчитанные для нижнего пласта показатели многовариантности μ понижающих поправочных множителей W .

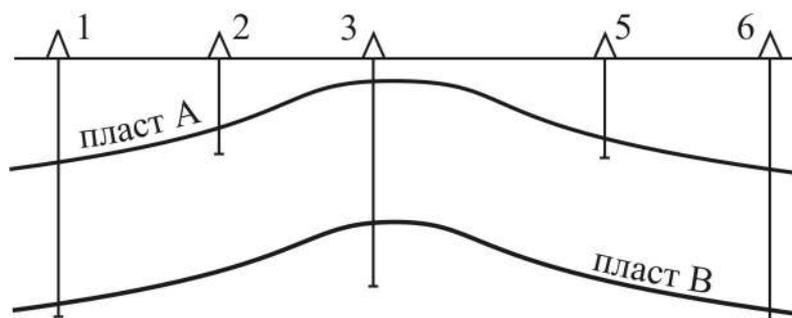


Рис. 4.7. Учет данных детально разведанного вышележащего пласта

Величина этих множителей может быть получена на основе разрежения сети замеров вышележащего пласта до плотности разведочной сети по нижележащему. Например (рис. 4.7), при расчете величины W для интервала между подсечениями 1–3 по нижнему пласту В определяется величина многовариантности μ этого интервала – μ_{1-3}^B , а для верхнего пласта А – многовариантность между подсечениями 1–2 (μ_{1-2}^A) и 2–3 (μ_{2-3}^A). Затем по верхнему пласту производится разрежение сети («удаляются» скважины 2 и 4, которые не пересекают пласт В) и рассчитывается многовариантность μ_{1-3}^A . Понижающий коэффициент W определяется, как частное от деления средней многовариантности по полной сети наблюдений (для рассматриваемого примера – среднее значение величин μ_{1-2}^A и μ_{2-3}^A) на показатель многовариантности по разреженной сети (в примере μ_{1-3}^A).

Принимаемый к учету показатель многовариантности по пласту В в пространстве между подсечениями 1 и 3 рассчитывается путем умножения вычисленной степени многовариантности μ_{1-3}^B на коэффициент W . На практике в пределах разреза может находиться несколько межскважинных интервалов рассматриваемого типа (интервалы между скважинами 1–3 и 3–5). В этом случае для каждого из них определяется величина W , наименьшая из которых учитывается для дальнейших расчетов.

4.4. Оценка погрешности среднего значения признака (метод комбинаторных разрежений)

При выполнении подсчета запасов в пределах геологического блока к основным подсчетным параметрам относятся средние значения мощности и зольности, погрешности которых существенно влияют на погрешность определения количества запасов. До сих пор при оценке погрешности многие авторы, начиная с 1899 года [49], применяют подход, используемый в теории погрешности измерений. Этот подход, состоящий в том, что погрешность среднего, определенного по результатам N измерений в \sqrt{N} раз меньше погрешности единичного измерения, ориентирован на оценку точности многократного измерения одной и той же величины. В связи с тем, что при определении подсчетных параметров геологического блока измерения производятся в различных точках, его применение для рассматриваемых целей является некорректным.

Используемые при оценке погрешности средних методы геостатистики несомненно обоснованы, но изначально предполагают наличие значительных статистических выборок, которые, как уже было отмечено, в условиях угольных месторождений отсутствуют.

Поэтому для оценки погрешности среднего значения признака в заданном контуре авторами предлагается использовать принцип, состоящий в оценке многовариантности получаемых результатов на основе создания косвенных избыточных определений, не предполагающих наличие значительных по объему статистических данных [56].

Сущность предложенного авторами метода, названного методом комбинаторных разрежений, состоит в следующем.

Пусть имеется k_f измерений признака по сети, созданной в соответствии с проектом ведения разведочных работ (рис. 4.8). Естественно, что данный проект реализовывался постепенно.

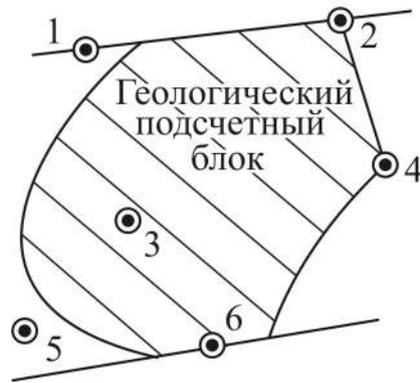


Рис. 4.8. Создание избыточных определений при оценке точности среднего значения признака

Попытаемся промоделировать этот процесс, предварительно рассчитав среднее арифметическое значение признака с использованием всех произведенных измерений – C .

Вначале бурилась первая скважина, затем вторая, третья и т. д. Причем, после проведения каждой из скважин вполне корректным является вопрос о том, какое среднее значение признака (например, мощности пласта) следует ожидать по данным, полученным по уже пробуренным скважинам? Фактически результат ответа на этот вопрос зависит не только от того, сколько разведочных скважин было пройдено, но и от того, где они были расположены. Возвращаясь к рис. 4.8 можно сказать, что в случае если была пройдена только одна скважина, предварительная оценка средней мощности была бы равна мощности по скважине 1 (если проект разведки реализовывался, начиная с нее), 2 (если бы именно она проводилась первой) и так далее.

Таким образом, при наличии по участку всего одной скважины, оценка среднего значения могла приниматься равной значению признака в скважине, которая была пройдена по участку. Поскольку выбор первой скважины по участку по отношению к его геологии случаен, то при наличии одной скважины оцениваемое среднее значение признака может быть равно любому из замеренных в скважинах.

Различие в этих значениях является мерой неоднозначности получаемой оценки.

Если по участку пройдено две скважины, то результаты оценки среднего также будут зависеть от того, какие именно скважины были использованы при ее выполнении (например, 1 и 2, 3 и 6, 1 и 5 и т. д.). Наблюдаемое различие получаемых средних также будет являться некой характеристикой их неоднозначности. Аналогичная картина будет наблюдаться (применительно к рис. 4.8) при вычислении среднего по трем, четырем и пяти скважинам. Ясно, что неоднозначность оценок «исчезает» только при использовании всех скважин участка.

Полученные в результате подобного моделирования процесса разведки средние значения будем именовать частными средними $S_{\text{ч}}$.

Понятно, что при вычислении частных средних по k скважинам из общего числа по участку k_f , диапазон их изменения будет уменьшаться по мере роста k , а их количество составит

$$N = \frac{n_f!}{k(n_f - k)!}, \quad (4.18)$$

где ! – знак факториала.

В целом оценка вариантов частных средних выполняется на основании разрежения сети наблюдений при формировании групп используемых значений по правилам комбинаторики. В связи с этим предлагаемый авторами метод оценки назван методом комбинаторных разрежений.

Возможные результаты оценки частных средних можно отобразить на графике (рис. 4.9), горизонтальная ось которого соответствует числу использованных для их расчета замеров, а вертикальная – значениям частных средних.

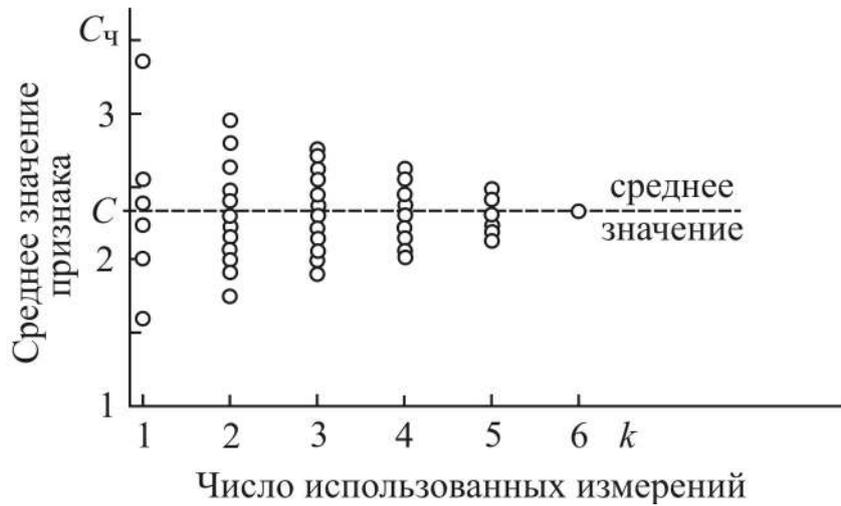


Рис. 4.9. Отображение изменения частных средних в методе комбинаторных разрежений

В качестве количественной меры степени неопределенности значений частных средних для каждого варианта числа использованных измерений k можно принять среднеквадратическое отклонение частных средних значений $C_{ч}$ от среднего C (показанного на рис. 4.9 пунктирной линией), вычисленного по всем имеющимся скважинам k_f :

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (C_{ч_i} - C)^2}{N}}. \quad (4.19)$$

После расчета σ_k выполняется построение графика, отражающего тенденцию изменения степени неоднозначности по мере роста числа измерений (рис. 4.10). Во всех случаях данная зависимость имеет вид монотонно убывающей функции, имеющей излом на своем завершающем участке DA (рис. 4.10), связанный с тем, что при использовании всех данных неопределенность арифметически равна нулю (точка A на рис. 4.10), т. к. частное среднее в этом случае принимает только одно значение, равное общему среднему.

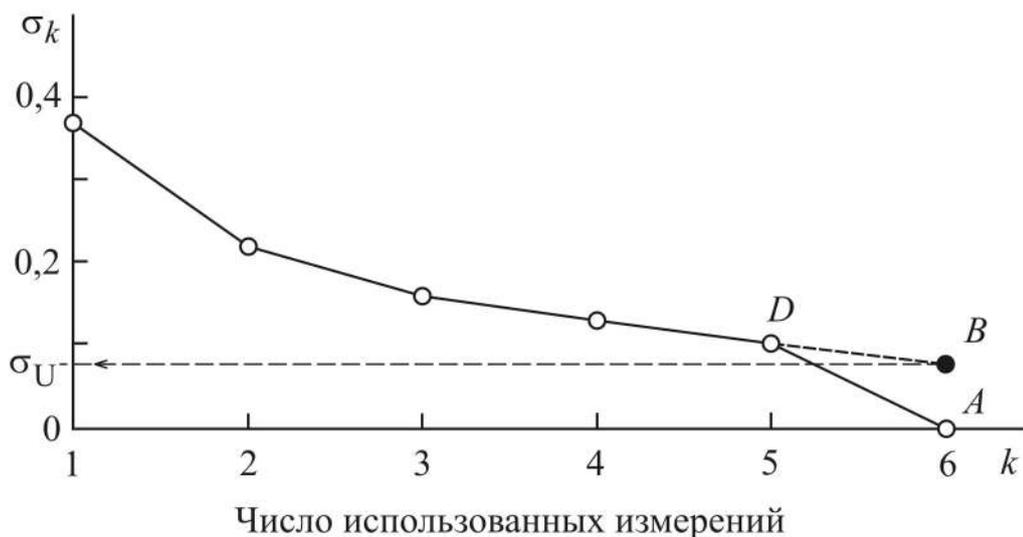


Рис. 4.10. Зависимость степени неоднозначности оценок среднего от числа используемых данных

Понятно, что общее среднее также имеет некоторую неоднозначность, величина которой σ_U может быть установлена путем экстраполяции функции $\sigma = F(k)$ в интервале DA в точку B (пунктирная линия на рис. 4.10) с сохранением наблюдаемой тенденции. Именно величина σ_U рассматривается в качестве меры неоднозначности вычисленного среднего значения признака.

Для выполнения оценки погрешности средних значений целесообразно использовать не степень неопределенности, а ожидаемую погрешность значения признака, выраженную в той же размерности, что и сам признак. На основании результатов сопоставления данных горных и геологоразведочных работ по угольным и россыпным месторождениям золота было установлено, что истинная погрешность рассчитанного среднего значения признака Π статистически связана с уровнем σ_U (рис. 4.11) и не превышает с заданной вероятностью величины $K_{\Pi}\sigma_U$. Значение коэффициента пропорциональности K_{Π} зависит как от требуемого уровня достоверности оценки P , так и от количества использованных измерений k_f .

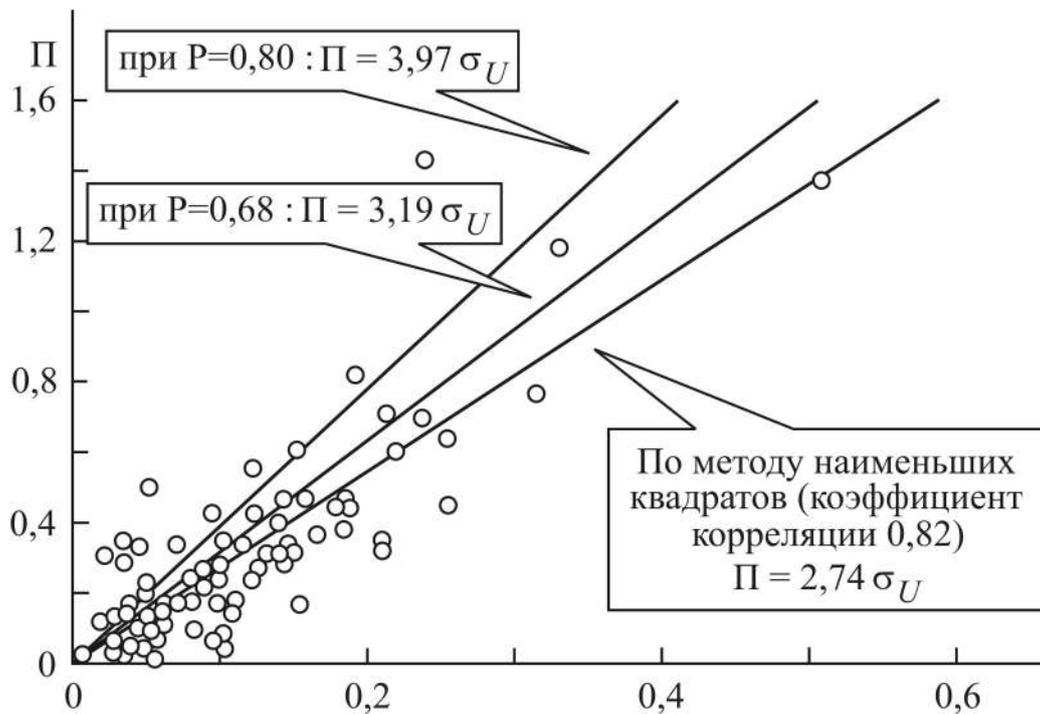


Рис. 4.11. Экспериментальная зависимость между фактическими погрешностями (Π) средних значений мощности пласта в геологических блоках и характеристикой неоднозначности σ_U (при их расчете по 5–10 исходным определениям, в среднем по 7)

На основании анализа фактических материалов установлено:

при $5 \leq k_f \leq 40$:

– для $P=0,68$ $K_{\Pi} = 4,18 - 0,156k_f + 0,002k_f^2$, (4.20)

– для $P=0,80$ $K_{\Pi} = 5,28 - 0,207k_f + 0,003k_f^2$; (4.21)

при $k_f > 40$:

– для $P=0,68$ $K_{\Pi} = 1,2$, (4.22)

– для $P=0,80$ $K_{\Pi} = 1,5$. (4.23)

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 комбинаторных разрежений в целях классификации запасов не является альтернативой использованию ранее рассмотренных критериев разведанности. По мнению авторов [58] он может применяться только в условиях отсутствия правомерности интерполяции (невозможности применения критериев), т. е. для разделения запасов категорий C_1 и C_2 . При отсутствии правомерности интерполирования фактически осуществляется построение не контурной, а блочной модели, путем деления участка месторождения на отдельные блоки с вычислением в каждом из них среднего значения признака. Коренное отличие контурной модели от блочной состоит в том, что первая из них выделяет контуры с определенным значением признака, а вторая несет информацию о среднем значении признака в блоках, границы которых фактически не связаны со значениями признаков [58].

При применении метода оценки погрешности среднего для категоризации запасов необходимо оценить ожидаемые погрешности средних значений мощности (P_m) и кажущейся плотности (P_γ) по подсчетным блокам и выразить их в относительной мере по отношению к средним значениям этих признаков (q_m и q_γ). Общая относительная погрешность определения этих запасов, как показывает практика, составляет, примерно, одну третью часть от погрешностей, связанных с определением площадей контуров, углов падения и дизъюнктивной нарушенности.

Поэтому в качестве квалификационного критерия может быть использована выраженная в процентах величина

$$q = \sqrt{(q_m^2 + q_\gamma^2) + 3(q_m^2 + q_\gamma^2)} = 2\sqrt{q_m^2 + q_\gamma^2} . \quad (4.24)$$

Предельное значение величины q для запасов подсчетного блока категории C_1 можно принять равной 40 %, исходя из рекомендаций, содержащихся в «Российском Кодексе публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых» (Кодекс НАЭН) [66]. Предельное значение этой величины для блоков категории C_2 , учитывая рекомендации указанного Кодекса, можно принять равным 60 %.

Содержащиеся в Кодексе НАЭН рекомендации распространяются на подсчетные блоки с количеством запасов на уровне годовой производственной мощности предприятия. Однако известно, что с уменьшением объема запасов блока происходит так называемая регрессия запасов, выражающаяся в увеличении относительной погрешности величины запасов [4]. В результате этого запасы малого по запасам блока, находящиеся в тех же геологических условиях, что и «большой», и разведанные с той же степенью достоверности могут, при использовании формулы (4.24), быть оценены по более низкой категории. Для учета данного обстоятельства для малых блоков предлагается умножать расчетную величину q на поправочный множитель

$$\sqrt{\frac{S_{\text{год}}}{S_{\text{м}}}} , \quad (4.25)$$

где $S_{\text{год}}$ – средняя площадь геологического подсчетного блока с запасами, близкими к годовой добыче предприятия; $S_{\text{м}}$ – площадь оцениваемого блока (которая может быть как больше, так и меньше площади $S_{\text{год}}$).

Принятие соотношения (4.25) в качестве поправочного множителя продиктовано следующими соображениями. Пусть имеется равномерно разведанный подсчетный блок, запасы которого примерно соответствуют объему годовой добычи. В условиях равномерной разведанности на каждую единицу площади (1 м^2) такого блока S должна приходиться одна и та же относительная погрешность количества запасов $q_{1\text{м}}$, определяемая точностью геометризации подсчетных параметров.

Тогда, в соответствии с теорией погрешности измерений, общая погрешность запасов такого блока должна составить

$$q = \sqrt{\sum_{i=1}^S q_{1\text{м}}^2} = q_{1\text{м}} \sqrt{S}. \quad (4.26)$$

Отсюда следует, что погрешности запасов двух равномерно разведанных блоков различной площади будут относиться друг к другу как корни их площадей.

Помимо задачи классификации метод комбинаторных разрежений может использоваться для обоснования принятия инвестиционных решений на ранних стадиях геологического изучения. В качестве примера такого использования рассмотрим следующую решенную с его помощью задачу.

Для обеспечения местным углем жителей города Анжеро-Судженска в 90-х годах прошлого века поступило предложение об организации небольшого угольного разреза по отработке пласта Алчедатского I. Финансирование проекта предполагалось осуществлять за счет средств Всемирного банка в рамках программы реструктуризации угольной отрасли. В пределах участка (рис. 4.12) нормальная мощность пласта изменяется в широких пределах.

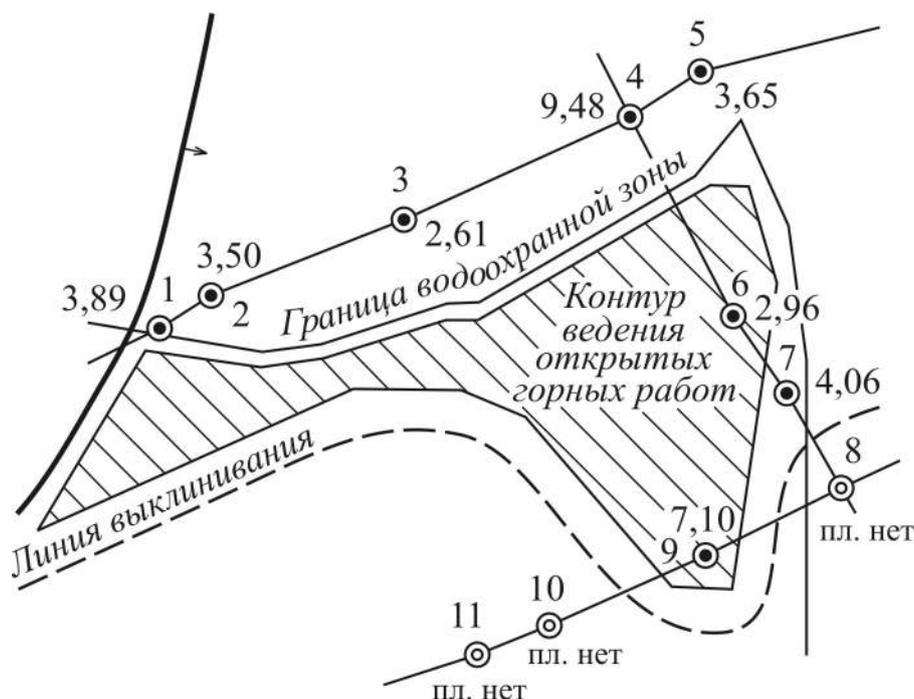


Рис.4.12. Фрагмент плана участка открытых горных работ «Надежда»

При расчете ожидаемых технико-экономических показателей отработки участка разрезом «Надежда» инициатором предложения мощность пласта была принята равной 4,4 м. В результате расчетов по изложенной выше методике было установлено, что ожидаемая погрешность среднего значения мощности составила 1,4 м (32 %). Такая значительная погрешность позволила гарантировано отнести запасы, даже без учета факторов изученности гипсометрии и плотности, к прогнозным ресурсам категории P_1 . В связи с этим заявителю было отказано в государственных инвестициях и предложено провести дополнительные геологоразведочные работы.

В ходе разведки на участке было пробурено дополнительно 9 разведочных скважин, которые подтвердили первоначальную оценку разведанности участка по категории P_1 : была установлена ошибочная корреляция пластов (четыре отнесенные к пласту пластоподсечения оказались принадлежащими нижезалегающему пласту Алчедатскому II), а также грубые ошибки в установлении положения линии выхода пласта под наносы.

Средняя мощность пласта оказалась равной 3,4 м, т. е. фактическая погрешность среднего значения мощности составила 1,0 м, что достаточно близко к расчетной. Погрешность первоначального подсчета запасов составила 69 % (в сторону уменьшения), что также близко к существующим представлениям о погрешностях оценки ресурсов категории P_1 . В качестве таких представлений, вероятно, можно принять оценки, используемые для расчета стартового платежа за пользование недрами [29]. При определении размеров платежа фактически предусмотрено приводить их к единой условной категории, полностью учитывающей все запасы категорий А, В, С₁, 50 % запасов категории С₂, 25 % ресурсов категории P_1 , соответственно, 12,5 и 6,25 % ресурсов категории P_2 и P_3 .

В ходе выполнения ряда оценочных работ было установлено, что характер функции $\sigma = F(k)$ различен для массивов данных, не содержащих (рис. 4.13, а) и содержащих (рис. 4.13, б) ураганные замеры.

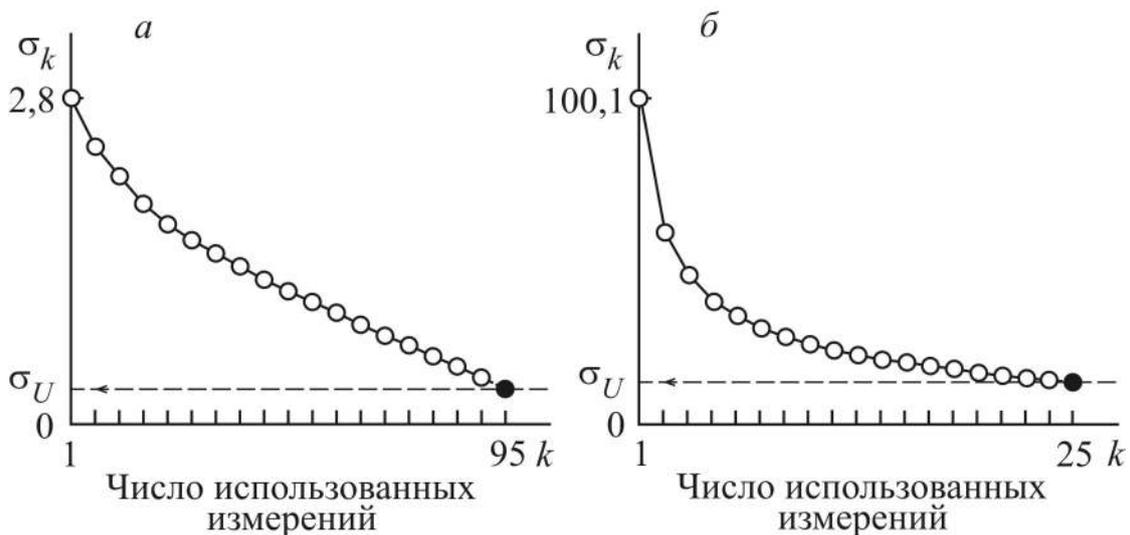


Рис. 4.13. Вид функции $\sigma = F(k)$ для массивов данных, не содержащих (а) и содержащих (б) ураганные замеры (на примере расчета средних содержаний урана (а) и рубидия (б) в углях Горловского бассейна Новосибирской области)

Для того чтобы более четко определить характер рассматриваемой функции, рекомендуется осуществлять построение ее полувариограммы. Для массивов данных, не содержащих ураганных замеров, линейные модели полувариограмм имеют вид типичный для признаков с отличной и умеренной непрерывностью (рис. 4.14, *а*), а для обладающих – типичный для «эффекта самородков» (рис. 4.14, *б*).

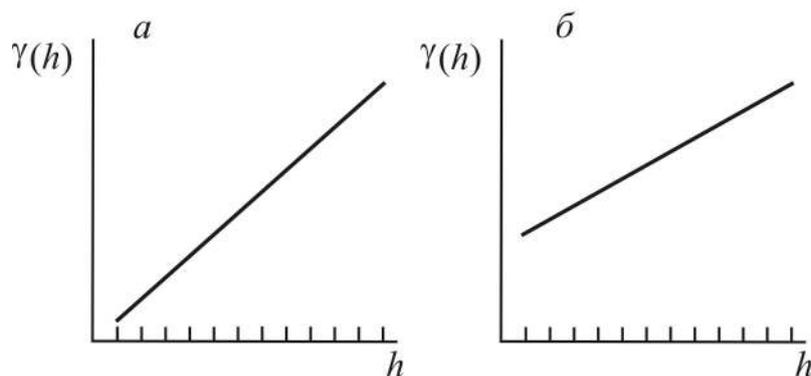


Рис. 4.14. Линейные модели полувариограмм функций $\sigma = F(k)$, по данным не содержащих (*а*) и содержащих (*б*) ураганные замеры

Практически, выделение и ограничение ураганных замеров осуществляется следующим образом. Если тип линейной модели полувариограммы относится к виду 4.14, *б*, то производится замена наибольшего значения на ближайшее к нему, и расчеты повторяются до тех пор, пока не будет получена полувариограмма вида 4.14, *а*.

Оценка работоспособности предлагаемого метода произведена по методике [15], 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 [15] 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 [15] наилучшим, упрощенного метода П. Л. Каллистова эти показатели, соответственно, равны 1,0 и 33,0 %. Предлагаемый метод показал (при общем числе вариантов разрежения 164 и числе измерений в варианте – 18) лучшие результаты – 3,9 и 28,0 %.

Помимо оценки запасов угля рассмотренная методика может применяться для оценки погрешностей определения средних значений содержаний токсичных и полезных компонентов, элементного, вещественного и химического состава угля и т. д.

5. Мониторинг достоверности запасов

5.1. Недостатки статичного подхода к количественной оценке достоверности запасов

Описанные в предыдущих главах методы оценки достоверности можно, хотя и достаточно условно, определить как реализующие «статичный подход» (термин, употребляющейся в экономике, медицине и в ряде других отраслей знаний), т. е. как обеспечивающие выполнение оценки достоверности на конкретный момент времени без учета ее возможного уточнения в процессе освоения участка недр.

В большинстве случаев применение статичных методов оценки достоверности запасов вполне оправдано, особенно на стадии государственной либо корпоративной геологической экспертизы, предшествующей проектированию, строительству и эксплуатации предприятия. Однако на стадиях строительства и эксплуатации предприятия, в результате проведения горных выработок и выполнения работ по опережающему геологическому изучению недр (эксплуатационной разведки), возникает дополнительная информация позволяющая, в принципе, выполнить переоценку ранее существовавших представлений о достоверности запасов.

С точки зрения государственных требований изменение категорий запасов в результате получения дополнительной информации может быть выполнено в рамках двух различных процедур: при оперативном изменении состояния запасов полезных ископаемых по результатам геологоразведочных работ и при переоценке запасов [36].

На основании «Положения...» [47] выполнение оперативного изменения производится в случае прироста или неподтверждения запасов, полученных в результате проведения геологоразведочных работ на разведываемых и разрабатываемых месторождениях, а также при выявлении отдельных контуров, запасы которых утратили промышленное значение в результате:

– выявления усложнения горно-геологических, гидрогеологических, экологических, инженерно-геологических и других природных условий;

– оставления запасов полезных ископаемых в предохранительных целиках под промышленные сооружения, жилые и общественные здания, памятники истории и культуры, природные объекты и т. п.;

– выявления нецелесообразности отработки ранее разведанных запасов по технико-экономическим причинам.

Как правило, оперативно изменяемые запасы незначительны по количеству, расположены в пределах, либо тяготеют к контурам ведения горных работ.

В практике оперативного изменения запасов угольных месторождений категории запасов, как правило, не меняются. Основная часть специалистов полагает, что такое изменение целесообразно лишь в случае, если оперативно изменяемые запасы ранее были оценены по классификациям, уже утратившим свою юридическую силу.

В соответствии с утвержденным Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра) «Положением...» [47] оперативное изменение запасов производится только в случае, если в результате проведения геологоразведочных или горных работ суммарный прирост запасов не превышает 50 %, а объем списаний (снижение) – 20 % по отношению к объему запасов, переданных недропользователю по лицензии на право пользования недрами.

Если указанные ограничения не выполняются, то недропользователь должен провести геолого-экономическую переоценку и пересчет запасов в границах предоставленного ему в пользование участка недр и их утверждение в органах государственной экспертизы запасов полезных ископаемых Роснедра в порядке, установленном «Положением...» [47] для подсчета запасов полезных ископаемых вовлекаемых в освоение месторождений.

Именно такой режим предполагает полное переосмысление всех ранее выполненных оценок достоверности запасов.

Таким образом, обязательная переоценка представлений о степени достоверности балансовых запасов предприятия осуществляется только в условиях весьма крупных изменений в их количестве.

Разумеется, что при переутверждении запасов действующих предприятий обязательно учитывается степень подтверждения существовавших ранее представлений о геологии участка реально существующим. Эта степень устанавливается на основе сопоставления данных разведки и эксплуатации.

На основании «Рекомендаций...» [31] «сопоставление данных разведки и разработки месторождений полезных ископаемых производится для оценки достоверности данных об условиях залегания, форме рудных тел, количестве, качестве и технологических свойствах минерального сырья, полученных в процессе разведочных работ, а также для обоснования списания запасов в случае выявления их неподтверждения при отработке». При этом выполнение сопоставления обязательно при изменении и переутверждении кондиций и запасов месторождений, на которых при разработке установлено систематическое расхождение в количестве и качестве разведанных и отработанных запасов, влияющее на технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия или превышающее предел, установленный нормативными документами. Оно также обязательно и при списании запасов, утративших промышленное значение из-за нецелесообразности отработки по технико-экономическим причинам вследствие выявленного усложнения горно-геологических и других природных условий. Сопоставлению подлежат [31]:

– представления об особенностях геологического строения месторождения, положенные в основу предыдущего подсчета запасов и полученные при разработке месторождения;

– контуры тел полезных ископаемых, отстроенные по данным разведки и отработки, с определением ошибки геометризации;

– запасы полезного ископаемого и содержащихся в них компонентов, показатели их качества, подсчетные параметры (площади, мощности, объемы, объемная масса, содержания полезных и вредных компонентов и т. д.);

– данные, характеризующие гидрогеологические, горнотехнические и другие природные условия месторождения.

Очень важно, что допускается распространение результатов сопоставления данных разведки и разработки, проведенного по отдельным участкам или телам полезных ископаемых, на неотработанные части месторождения (в том числе для оценки нижних горизонтов и флангов).

Хотя рассматриваемые «Рекомендации...» [31] не содержат прямых указаний на необходимость сопоставления оценок категорий запасов, совершенно ясно, что полученные в ходе сопоставления результаты неизбежно будут использованы в ходе категоризации запасов вновь подготавливаемого геологического отчета.

Однако перечисленные государственные требования реализуются лишь эпизодически и только в связи с наступлением условий, указанных в «Порядке...» [47].

Отсюда явно следует основной недостаток статичного подхода к количественной оценке достоверности запасов. Этот недостаток вытекает из следующего обстоятельства. Если по результатам горных работ будут выявлены значительные погрешности определения подсчетных параметров, не соответствующие установленным категориям запасов, то это означает что, используемые ранее количественные методы для данных условий не эффективны и не могут быть применены при выполнении новой оценки.

Следовательно, для реализации требований п. 16 «Классификации запасов...» [19] статичные методы должны быть предварительно адаптированы к условиям конкретного месторождения, т. е. метод оценки должен обеспечивать возможность настройки на условия конкретного месторождения. Таким инструментарием вышеописанные методы не обладают.

Потребность в применении динамического подхода пока не проявляется, но только в связи с тем, что участки, оцененные в соответствии с требованиями действующей с 2008 года «Классификации запасов...» [19] либо еще не освоены, либо находятся на столь раннем этапе отработки, что не «накопили» еще необходимой массы отклонений в оценке запасов.

Очевидно, что собственно настройка методов должна основываться на результатах сопоставления данных разведочных и горных работ.

В настоящее время подобные сопоставления выполняются, в большинстве лишь фрагментарно и эпизодически, несмотря на то, что в соответствии с п. 8.10 «Инструкции...» [16] «На каждом угледобывающем предприятии должно производиться сопоставление данных детальной разведки (доразведки) и эксплуатации. Объектами сопоставления являются балансовые запасы, подсчетные параметры запасов и геологическое строение шахтного поля или его частей». Такой уровень сопоставляемых характеристик не позволяет осуществить полноценную адаптацию статичных методов количественной оценки, ориентированных на установление степени достоверности геометризации.

Понятно, что в условиях горного производства эффективность любой мыслимой технологии адаптации статичных методов количественной оценки достоверности будет определяться не только количеством положенных в ее основу сопоставлений, но и характером мест их размещения в пределах месторождений и их участков.

Последнее условие связано с тем, что при ведении горных работ они постоянно перемещаются в пространстве недр характеризующемся, по большей своей части переменной сложностью геологического строения.

Отсюда явно напрашивается вывод о том, что технология адаптации статичных методов количественной оценки недр должна основываться на мониторинге достоверности горно-геометрических моделей, совокупность которых характеризует запасы полезного ископаемого, т. е. на мониторинге который в общем виде может быть назван мониторингом достоверности запасов.

В целом такой подход полностью отвечает классическому пониманию мониторинга параметров объекта (в данном случае оценок достоверности запасов), т. к. включает в себя все три его слагаемых:

- получение данных (накопление данных об ожидаемой и фактической достоверности);
- анализ данных (адаптация методики количественной оценки к условиям месторождения);
- последующий прогноз параметров (применение к данным адаптированной методики оценки).

В настоящее время нормативными документами России предусмотрено обязательное выполнение недропользователями мониторинга месторождений твердых полезных ископаемых [75], который состоит из двух основных компонентов.

Первый из них включает в себя регулярные наблюдения за элементами геологической среды, горными выработками и другими сооружениями, а также за отдельными компонентами окружающей природной среды в границах зоны воздействия на экосистемы как собственно отработки запасов полезного ископаемого, так и другой хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия; регистрацию наблюдаемых показателей и обработку полученной информации.

Второй – предусматривает создание и ведение информационных фактографических и картографических баз данных, включающих весь набор ретроспективной и текущей геологической и технологической информации (а при необходимости, и постоянно действующую модель месторождения), позволяющих осуществлять:

- оценку пространственно-временных изменений состояния геологической среды и связанных с ней компонентов окружающей природной среды на основе полученных в процессе мониторинга данных;

- учет движения запасов полезных ископаемых и потерь при их добыче и переработке;

- учет извлеченных (перемещенных) горных пород;

- прогнозирование изменения состояния объектов горных работ и связанных с ними компонентов окружающей среды под влиянием добычи полезного ископаемого, дренажных мероприятий и других антропогенных факторов;

- предупреждения о вероятных негативных изменениях состояния геологической среды и необходимой корректировке технологии добычи запасов полезных ископаемых;

- разработку рекомендаций по ликвидации последствий аварийных ситуаций, связанных с изменениями состояния геологической среды.

Несложно заметить, что результаты и информационная основа данного вида мониторинга не могут быть использованы в целях адаптации методов оценки достоверности. То же самое следует сказать и о «Государственном мониторинге состояния недр территории Российской Федерации», являющемся функциональной подсистемой «Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [45], включающем в себя три вида мониторинга: подземных вод, опасных экзогенных геологических процессов и опасных эндогенных геологических процессов.

Таким образом, задача адаптации статичных методов количественной оценки достоверности запасов не может быть решена в рамках существующих систем мониторинга и требует разработки специальной системы, ориентированной как на решение государственных, так и корпоративных задач с использованием динамичной системы оценки достоверности запасов.

5.2. Основные принципы создания динамичной системы оценки достоверности запасов

Рассмотренные критерии разведанности ориентированы на оценку степени неоднозначности горно-геометрических моделей, порядок определения которой не может быть изменен в целях адаптации к условиям конкретных, уже отрабатываемых месторождений. Отсюда следует, что в целях адаптации должны использоваться несколько иные подходы.

Совершенно очевидно, что необходимый уровень достоверности горно-геометрических моделей, обеспечивающий решение вопросов проектирования предприятий и планирования развития горных работ, определяется не степенью неоднозначности моделей, а их погрешностью. Безусловно, эта погрешность может быть оценена по геологоразведочным данным лишь с определенной степенью вероятности.

Как уже отмечалось, из теории геохимического поля П. К. Соболевского следует, что чем выше степень неоднозначности результатов моделирования, тем выше вероятность того, что эти построения будут ошибочны. Отсюда следует, что между степенью неоднозначности модели и ее погрешностью должна существовать некая взаимосвязь. Вполне допустимо предположить, что характер этой взаимосвязи будет не одинаков для различных месторождений.

Так для простых, слабо изученных месторождений с выдержанным строением даже высокая степень многовариантности построений может и не приводить к высокой погрешности моделей в связи с тем, что при выполнении геометризации наиболее оптимальный вариант построений может быть выбран достаточно надежно. Такая несогласованность степени неоднозначности и погрешности будет вызвана тем, что статичный подход к оценке достоверности фактически исходит из равной вероятности реализации всех возможных вариантов построения, тогда как на практике эта вероятность может быть различна.

Таким образом, динамичный подход к оценке достоверности запасов должен реализовать несколько иную схему оценки (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Принципиальное различие статичного и динамичного подхода к оценке достоверности запасов

При статичном подходе осуществляется расчет критериев разведанности (оценка степени неоднозначности модели), по значениям которых устанавливается соответствующая им категория запасов.

При динамичном подходе после определения критериев разведанности предполагается установить соответствующую им погрешность модели (на основании взаимосвязей между этими характеристиками в условиях конкретного объекта исследований), а по ее уровню – категорию разведанности.

Таким образом, реализация динамичного подхода требует решение двух задач.

Во-первых, установления взаимосвязи между критериями разведанности и погрешностями.

Во-вторых, установления значения погрешностей, соответствующих требованиям различных категорий запасов в условиях конкретного предприятия.

Необходимость такого установления вытекает из того, что разные технологии ведения горных работ имеют различную «чувствительность» к погрешностям используемых горно-геометрических моделей.

Так, например, полнота изучения дизъюнктивной нарушенности в значительно меньшей степени влияет на эффективность камерных и короткозабойных технологий подземной добычи, чем на эффективность длинностолбовых. Различные требования к качеству геологической документации предъявляют открытые, подземные технологии, а также, так называемые, геотехнологии, например, подземная газификация угля. Кроме того, допустимый уровень погрешности геометризации зависит и от сложившихся на предприятии культуры и уровня организации производства, а также из накопленного производственного опыта. Например, в условиях Анжерского рудника, характеризующегося высокой степенью нарушенности пластов, очистные и монтажные бригады «научились» в 90-х годах прошлого века рентабельно отрабатывать отечественными механизированными комплексами выемочные столбы с запасами до 30 тыс. т, что на остальных шахтах бассейна признается невозможным.

В общем виде, статичный подход является частным случаем динамичного, поскольку границы значений между категориями фактически установлены путем обобщения совокупного опыта работы в Кузнецком бассейне, без учета индивидуальных особенностей отдельных месторождений и участков.

Разумеется, применение динамичного подхода не исключает использование статичного. Первый из них ориентирован на оценку запасов уже действующих предприятий, второй – на вновь разведанные участки, адаптация методов оценки которых невозможна в связи с отсутствием фактических данных горных работ.

Однако применение динамичного подхода не исключается и для еще не эксплуатируемых месторождений и может быть обеспечено в условиях наличия в их пределах «переразведанных» контуров – участков детализации.

5.3. Установление фактических погрешностей горно-геометрических моделей

Наличие процедуры расчета фактических погрешностей горно-геометрической модели (величины расхождения между фактическими и прогнозируемыми значениями геометризируемой характеристики) является обязательным условием применения динамичного подхода к оценке достоверности запасов.

В качестве фактической погрешности горно-геометрической модели может быть принята величина R_F , характеризующая степень несовпадения построенной по данным разведки горно-геометрической модели размещения признака с его реальным размещением, установленным в ходе ведения горных работ. Собственно величину R_F можно определить на основе установления среднеквадратического отклонения ожидаемой топоповерхности признака от фактической.

Строгий алгоритм поиска величины R_F достаточно очевиден. Для этого на топографические поверхности размещения признака, построенные по данным геологоразведочных работ (рис. 5.2, *a*) и по результатам эксплуатации (рис. 5.2, *б*), необходимо «набросить» одинаковую регулярную сеть узлов, вычислить для каждого из них два значения признака (ожидаемое и фактическое) и найти их разность ΔP . Тогда величина средней квадратической погрешности R_F может быть определена по формуле

$$R_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^2}{n}}, \quad (5.1)$$

где n – количество узлов.

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

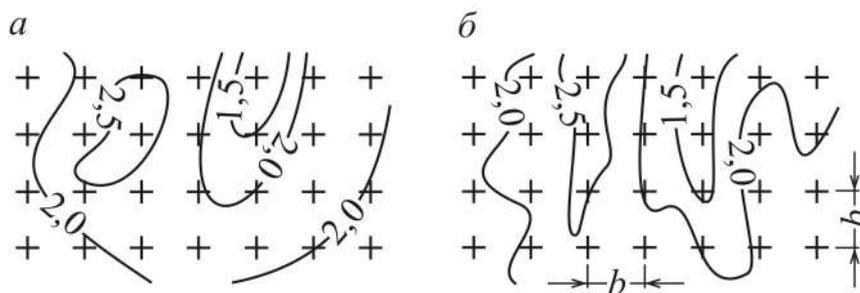


Рис. 5.2. «Строгий» алгоритм определения фактической погрешности горно-геометрической модели в заданном контуре:
a – данные разведки; *б* – данные эксплуатации

На практике необходимое количество узлов может быть определено путем перебора вариантов расстояния между ними (величины b – рис. 5.2) на основании использования предварительно построенной топографической поверхности ΔP .

Для этого подготавливается несколько вариантов сетки узлов с расстояниями между ними (b_1, b_2, b_3, \dots).

Вариант «набрасывается» на изучаемый участок, в каждом узле сетки определяется разность ΔP , и по формуле (5.1) рассчитывается среднеквадратическая погрешность R_F . Затем вариант сетки узлов накладывается вновь, но со смещением относительно своего первого положения, и все расчеты повторяются. Процедура повторяется несколько раз, причем сдвиг сетки в каждом случае не должен носить упорядоченного характера.

После завершения работы с одним вариантом приступают к работе с другим, и т. д. Результаты описанных действий отражаются на графике (рис. 5.3). Вертикальная ось графика соответствует значению погрешности R_F , а горизонтальная – расстоянию между узлами b .



Рис. 5.3. Установление оптимального расстояния между узлами

Краевые части поля точек описываются плавными кривыми (пунктирные линии на рисунке). Эти кривые образуют своего рода «воронку», сходящуюся в районе действительного значения погрешности R_F . Исходя из того, что общепринятой допустимой точностью неответственных инженерных расчетов признается погрешность 10 %, в качестве оптимального расстояния между узлами b_0 можно принять ширину «воронки» ΔR , составляющую 20 % от погрешности R_F .

При этом расстоянии погрешность, рассчитываемая по формуле (5.1), будет в среднем отличаться от «истинной» на 10 %.

Как уже было указано, последующее прогнозирование погрешности предполагается осуществлять с использованием полученных по геологоразведочным данным критериев разведанности (лямбда-критерия для гипсометрии, абсолютного дельта-критерия для остальных признаков).

В силу такого порядка прогнозирования погрешность R_F должна индивидуально вычисляться для каждого выделяемого для расчета критериев разведанности оценочного четырехугольника сети скважин.

«Строгий» подход к оценке фактических погрешностей горно-геометрических моделей, фактически основанный на построении регулярных цифровых моделей размещения погрешностей, достаточно трудоемок, поэтому на практике целесообразно использовать упрощенный подход.

Сущность упрощенного подхода состоит в непосредственном использовании не равномерной, а нерегулярной сети узлов, в качестве которых могут использоваться точки производства замеров в горных выработках. Такой подход позволяет исключить необходимость предварительного построения «истинной» топографической поверхности признака.

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

В качестве исходных данных для выполнения оценки используются геологоразведочная документация и планы горных работ, выполненные в масштабе не менее 1:5000.

При производстве оценки все четырехугольные блоки сети скважин изображаются на плане горных работ (рис. 5.4), на котором также показываются места производства замеров (взятия проб) в горных выработках.



Рис. 5.4. Графические материалы для выполнения работ по оценке фактической точности горно-геометрической модели

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

В связи с этим часть замеров (проб) в горных выработках не включаются в дальнейшую обработку из-за их близкого расположения друг к другу. Например, для условий рис. 5.4 исключается из последующей обработки часть замеров по вентиляционному штреку 2-2-4 и конвейерному штреку 2-2-3.

К оценочному четырехугольнику относятся все сопоставления, которые расположены внутри блока и приняты к анализу, а также часть сопоставлений, за его пределами вблизи границ (рис. 5.5).

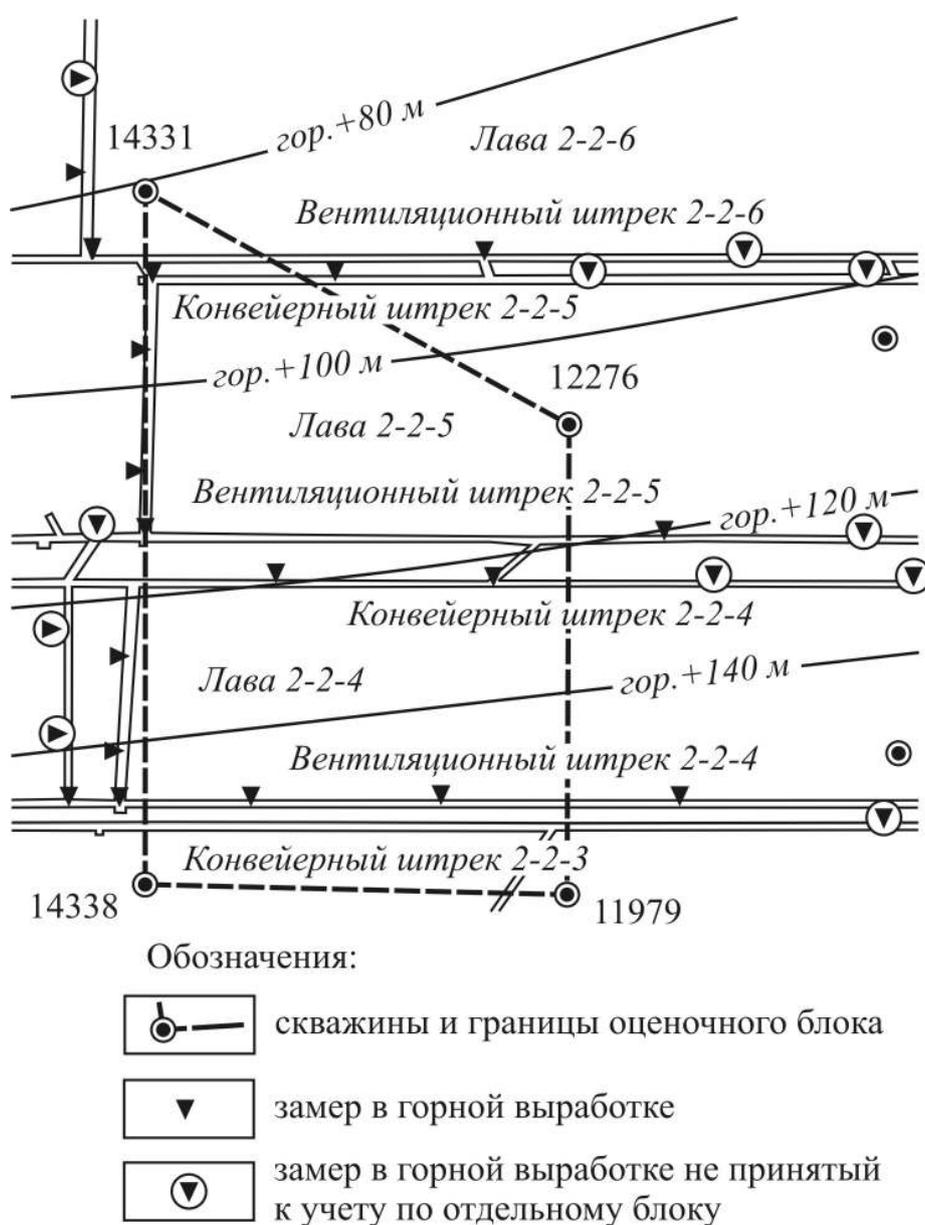


Рис. 5.5. Выбор сопоставлений в оценочном четырехугольнике

Таким образом, одни и те же сопоставления могут использоваться при расчете погрешностей в различных оценочных блоках. Выполненные экспериментальные сопоставления результатов использования строгого и упрощенного подходов для определения среднеквадратической погрешности R_F указывают на их высокую сходимость (в пределах 10 %).

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

Во-первых, для сформированной сети узлов по формуле (5.1) определяется фактическая погрешность блока R_F .

Во-вторых, из выборки удаляются сопоставления с максимальной и минимальной величиной разности ΔP , и вновь рассчитывается величина фактической погрешности – R_{F_1} .

Если различие в значениях R_F и R_{F_1} не превышает 10 %, то используемая сеть нерегулярных узлов признается корректной, а применение упрощенного подхода допустимым. В противном случае, применительно к рассматриваемому оценочному блоку должен применяться строгий подход.

При этом не следует забывать, что появление аномальных величин ΔP может быть связано с элементарными арифметическими ошибками, допущенными в ходе подготовки данных, что предполагает дополнительный контроль достоверности соответствующих им сопоставлений. Собственно погрешность определения величины R_F может быть оценена с помощью ранее описанного метода комбинаторных разрежений.

5.4. Установление взаимосвязи между критериями разведанности и погрешностями горно-геометрических моделей

На начальной стадии поиска возможной процедуры расчета ожидаемой погрешности горно-геометрической модели был собран и обработан статистический материал по ряду разведанных и отработанных участков угольных пластов Кузбасса. В результате исследований по ряду объектов было установлено наличие корреляционной связи между критериями разведанности и величинами погрешностей. Некоторые, наиболее характерные их примеры приведены на рис. 5.6.

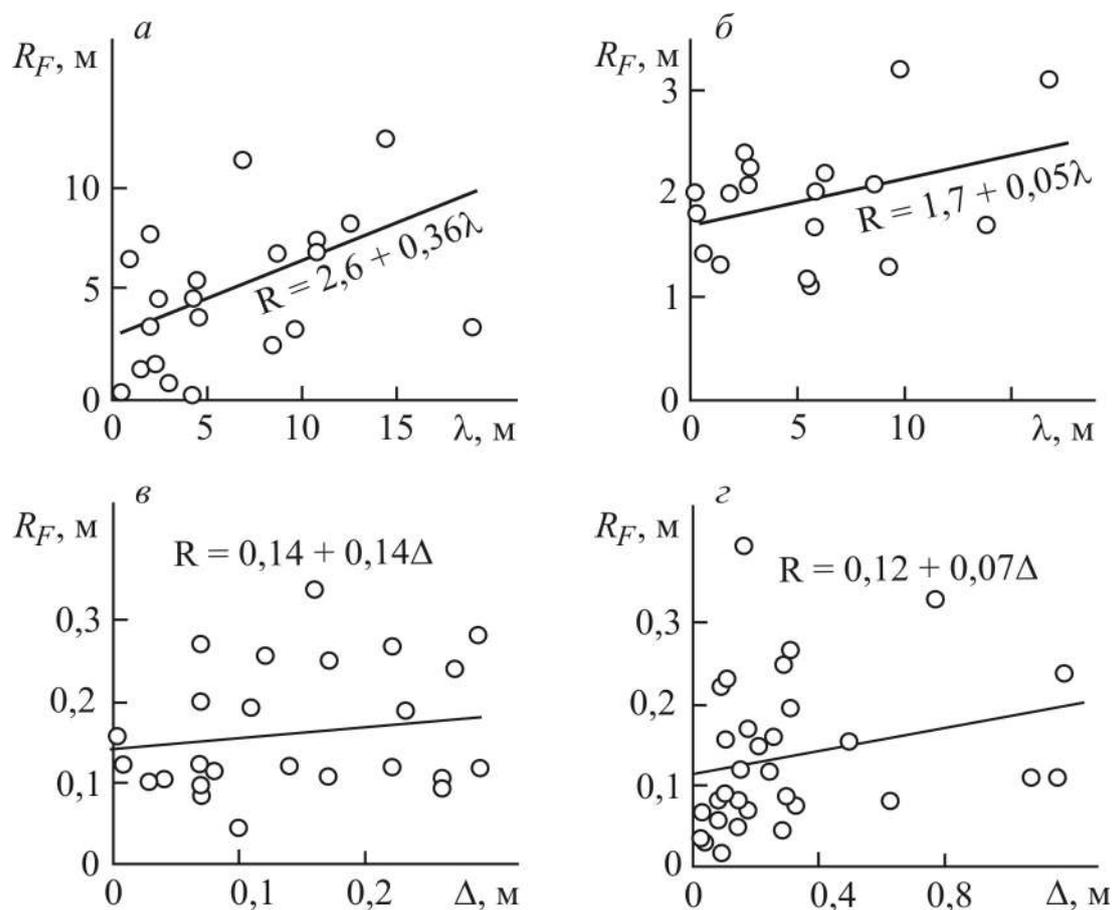


Рис. 5.6. Примеры зависимостей фактических погрешностей горно-геометрических моделей от критериев разведанности: а – гипсометрического плана пласта Бреевского шахты им. Кирова; б – гипсометрического плана пласта IV-V шахты «Распадская-Коксовая»; в – плана изомощностей пласта XXI шахты «Березовская»; з – плана изомощностей пласта 10 шахты «Распадская»

Однако, как и следовало ожидать, теснота корреляционной связи признаков незначительна (коэффициент корреляции для различных объектов изменялся от 0,23 до 0,50). Такая незначительная теснота связи не позволяет применить корреляционные зависимости для осуществления прогноза точности горно-геометрических моделей.

Поэтому в рассматриваемых целях авторами совместно предложен несколько иной подход [57], основанный на анализе распределения отношений K_j истинных погрешностей горно-геометрической модели к значениям критериев разведанности.

Данный подход предполагает использовать для прогноза величины погрешности геометризации R соотношения (в зависимости от вида критерия)

$$R \leq K_g \lambda \quad \text{или} \quad R \leq K_p \Delta, \quad (5.2)$$

где K_g и K_p – числовые коэффициенты, величина которых для конкретного геологического объекта определяется заданным уровнем вероятности оценки.

Установление коэффициентов K_g и K_p может быть выполнено на основе обработки результатов сопоставления данных горных и разведочных работ. Для этого, в пределах уже отработанного контура горных работ по каждому из выделяемых блоков рассчитываются критерии разведанности и действительные погрешности горно-геометрической модели (в примере расчета, приведенном в табл. 5.1, лямбда-критерии λ и фактические погрешности гипсометрического плана R_F по 18 оценочным блокам).

После заполнения первых семи колонок таблицы (пять из которых имеют только информационное значение) по формуле (5.2) осуществляется расчет ожидаемых погрешностей R при различных значениях коэффициентов пропорциональности K_g (в примере использованы три значения критерия – 0,5; 1,0 и 1,5).

Таблица 5.1

Расчет коэффициента K_g для условий оценки гипсометрии пласта IV-V
поля шахты «Распадская-Коксовая»

№ п/п	Номера скважин, вершин оценочных блоков				Критерий разведанности $\lambda, \text{ м}$	Погрешности, м			
						факти- ческая R_F	расчетная R при коэффициенте K_g		
	1	2	3	4			0,5	1,0	1,5
1	3238	9754	9750	9752	2,6	2,4	1,3	2,6	3,8
2	9752	9754	3245	9750	2,7	2,3	1,4	2,7	4,1
3	9752	3245	3380	9750	5,8	1,7	2,9	5,8	8,8
4	3245	9750	3258	3380	0,1	2,0	0,1	0,1	0,2
5	9754	3245	3258	9750	1,9	2,0	0,9	1,9	2,8
6	3258	656	2072	3380	13,8	1,7	6,9	13,8	20,7
7	2072	1620	656	3380	16,8	3,1	8,4	16,8	25,2
8	9750	3258	2072	3380	2,7	2,1	1,4	2,7	4,1
9	656	615	2059	1620	6,3	2,2	3,2	6,3	9,5
10	3258	918	615	656	9,2	1,3	4,6	9,2	13,8
11	3219	9752	9750	3247	8,5	2,1	4,2	8,5	12,7
12	3240	5103	5089	5075	5,6	1,1	2,8	5,6	8,4
13	5075	5095	5089	5103	5,4	1,2	2,7	5,4	8,1
14	3247	5080	3219	3258	5,8	2,0	2,9	5,8	8,7
15	3247	918	3258	9750	0,6	1,4	0,3	0,6	0,9
16	615	914	2067	2059	1,4	1,3	0,7	1,4	2,1
17	2072	656	615	1620	9,8	3,2	4,9	9,8	14,7
18	656	3247	3219	3258	0,2	1,8	0,1	0,2	0,3
Число блоков, для которых $R_F \leq R$							10	14	15
Эмпирическая вероятность того, что $R_F \leq R$							0,56	0,78	0,83

В результате указанных расчетов будут заполнены три послед-
них столбца таблицы.

По результатам расчетов для каждого варианта значений K_g подсчитывается число блоков (частота), для которых фактическая погрешность не превышала расчетную, а также частота этого события, которую можно рассматривать как эмпирическую вероятность.

Затем осуществляется построение графика зависимости вероятности от принятой величины коэффициента пропорциональности K_g (рис. 5.7).

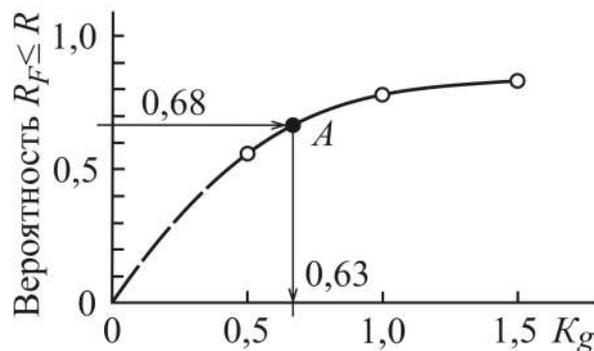


Рис. 5.7. График зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, от коэффициента пропорциональности K_g (к условиям примера, приведенного в табл. 5.1)

По графику, задаваясь требуемым уровнем вероятности, можно определить соответствующее ему значение коэффициента K_g (K_p), которое следует использовать в дальнейшем. Например, для условий рис. 5.4 можно сделать вывод о том, что с вероятностью 0,68 (вероятность, стандартно принимаемая для оценки среднеквадратических погрешностей) максимальная погрешность гипсометрического плана в пределах оценочного блока не превысит $0,63\lambda$.

На рис. 5.8 представлены усредненные для Кузбасса зависимости рассматриваемой вероятности от коэффициентов K_g и K_p , построенные по результатам исследований, выполненным по материалам угольных шахт.

При построении графика, приведенного на рис. 5.8, б использованы материалы оценки мощности пласта, мощности внутрипластовых породных прослоев, зольности, выхода летучих, пластометрической усадки и толщины пластического слоя.

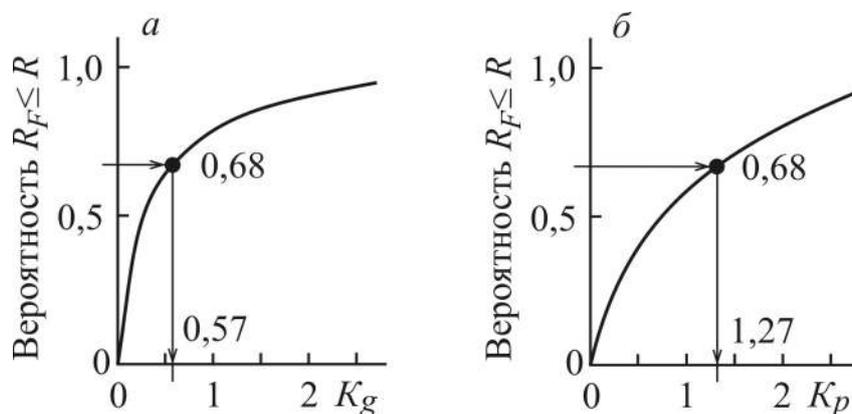


Рис. 5.8. Обобщенные для условий Кузбасса графики зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, от величины коэффициента пропорциональности: а – для лямбда-критериев; б – для абсолютных дельта-критериев

Таким образом, оценку ожидаемой погрешности горногеометрических моделей с помощью критериев разведанности при отсутствии результатов горных работ в пределах участка (статичный подход к оценке достоверности) рекомендуется осуществлять по формулам:

– при оценке точности гипсометрического плана

$$R = 0,57\lambda, \quad (5.3)$$

– при оценке точности моделей, построенных с применением линейной интерполяции,

$$R = 1,27\Delta. \quad (5.4)$$

Из формул следует, что коэффициент пропорциональности между погрешностями и лямбда-критериями разведанности имеет более низкое значение, чем аналогичный коэффициент, применяемый при использовании дельта-критериев. Это вполне естественно, и объясняется более высокой изменчивостью признаков, оцениваемых с помощью дельта-критериев.

Результаты проведенного авторами опроса главных специалистов угледобывающих предприятий [52] показали, что достаточная для выполнения планирования развития горных работ погрешность гипсометрических планов составляет ± 4 м. С учетом среднебассейнового значения коэффициента K_g эта погрешность соответствует значению лямбда-критерия 7 м. А именно данный уровень критерия был статистически установлен и по результатам обработки 1170 блоков, прошедших государственную геологическую экспертизу в качестве верхнего значения для запасов категории А, которые как раз и призваны обеспечить надлежащее качество планирования развития горных работ.

Таким образом, полученные двумя независимыми способами рекомендации по предельному уровню лямбда-критериев разведанности полностью совпадают. Это свидетельствует о том, что статичный подход к оценке достоверности является лишь частным случаем динамичного, при использовании последним общих закономерностей, свойственных крупным геологическим образованиям.

Из приведенных результатов следует, что в качестве погрешности – границы между категориями А и В вполне допустимо принять величину 4 м. Далее, если выдерживается соотношение погрешностей и неоднозначности для категории А, то вполне обосновано можно допустить и правомерность сохранения данного соотношения для других категорий. Тогда в качестве границы между категориями В и С₁ можно принять погрешность 8 м, а между С₁ и С₂ – 25 м.

Аналогично, с учетом среднебассейнового значения коэффициента K_p можно рекомендовать допустимую для категории А ожидаемую относительную погрешность определения мощности и зольности чистых угольных пачек равной:

– для шахт с крутым залеганием пластов и разрезов с крутым и крутонаклонным залеганием пластов, соответственно, 15 и 20 %;

– для комплексно-механизированных шахт и разрезов, отрабатывающих пласты пологого и наклонного залегания, соответственно, 10 и 20 %;

– для прочих шахт с горизонтальным, пологим и наклонным залеганием пластов, соответственно, 20 и 25 %.

Для запасов категории В указанная предельная погрешность должна быть увеличена в 1,9 раза. В случае, если ожидаемые погрешности определения мощности и зольности чистых угольных пачек превышают требования категории В, то запасы квалифицируются по категории С₁.

Приведенные на рис. 5.8 графики зависимости являются усредненными. Для конкретных условий значения коэффициентов K_g и K_p могут различаться.

Поиск уточненных значений коэффициентов и составляет суть процесса адаптации метода количественной оценки достоверности, т. е. перехода к динамичной системе оценки.

Реализация приведенной общей схемы определения коэффициентов K_g и K_p сопряжена с рядом требующих решения проблем, связанных со спецификой учета систематических погрешностей, малых значений критериев разведанности и установлением минимально допустимого объема используемого статистического материала.

*5.5. Учет систематических погрешностей
при установлении коэффициентов перехода
от степени неоднозначности к погрешности модели*

Как известно, выполнение любых, в том числе и геологоразведочных измерений, сопровождается совместно действующими систематическими и случайными погрешностями. Данные горных работ, основанные на результатах инструментальных маркшейдерских съемок, обладают значительно меньшими по своей величине погрешностями и поэтому могут рассматриваться как условно безошибочными.

Порядок расчета критериев разведанности явно свидетельствует о том, что теоретически эти критерии формально не могут реагировать на систематические погрешности геологических измерений. В тоже время серия экспериментальных расчетов показала, что систематическая погрешность геологоразведочных данных (C), присутствующая в разностях данных горны и разведочных работ влияет на величину коэффициентов K_g и K_p , существенно их увеличивая. Так для условий пласта Байкаимского (шахта «Заречная») без учета систематической погрешности $K_g = 2,2$. Проверка показала, что в разностях отметок гипсометрии пласта присутствует систематическая погрешность, равная 5,8 м. После ее исключения коэффициент K_g снизился и составил 1,1. Аналогично, после исключения систематической погрешности для условий пласта 67 шахты «Талдинская – Западная 1», равной 5,2 м, коэффициент K_g снизился с 3,8 до 1,4.

Собственно отсутствие реакции критериев разведанности на систематические погрешности измерений не является их недостатком в связи с тем, что такие погрешности должны вскрываться и устраняться еще на начальных стадиях камеральной обработки геологоразведочных данных – предшествовать процессам геометризации. Но на практике это выполняется очень редко.

Характер влияния систематических погрешностей на результаты количественной оценки достоверности имеет крайне специфические особенности связанные, прежде всего, с реализуемым в ходе разведки принципом стадийности их выполнения.

В обработке данных, осуществляемой на основе использования данных горных работ, участвуют скважины различных разведочных стадий, пройденные в разные годы. Временной разрыв между датами проведения скважин может достигать десятков лет. Поэтому данные по скважинам, пройденным в различные периоды времени, могут быть получены методами, обладающими различными систематическими погрешностями.

Так, например, мощности пласта, измеренные по данным бурения, как правило, обладают систематическими погрешностями, зависящими от ее величины и составляющими от 2 до 18 % [77]. Результаты определения мощности каротажем, в целом свободны от систематических погрешностей. Однако часть таких измерений, выполненных в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века из-за низкого качества детализации могут обладать значимыми систематическими погрешностями измерений мощностей чистых угольных пачек в связи с частичным включением в их состав внутрипластовых породных прослоев.

Систематические погрешности высотных отметок пластоподсечений могут присутствовать в скважинах различных периодов из-за неучета на завершающей стадии разведочных работ произошедших изменений в системе высотных геодезических координат. Систематические погрешности могут также возникать при применении неоптимальных методов обработки инклинометрии. Особенно это характерно для скважин, пройденных в период отсутствия средств вычислительной техники, когда часто, в нарушение действовавших требований, инклинометрическая съемка обрабатывалась не аналитическими, а графическими методами.

Применение для этих целей метода расчета координат точек оси скважины путем распространения результатов угловых измерений на весь интервал приводило к резкому росту погрешностей определения координат плаstopодсечений [27].

Следует заметить, что в ситуации выборочного наличия систематических погрешностей критерии разведанности могут реагировать на них. Например, в ситуации, когда одна из вершин оценочного четырехугольника является скважиной 60-х годов, а остальные – скважинами, пробуренными уже в текущем веке.

Такое частичное присутствие в данных систематических погрешностей (причем как зависящих, так и не зависящих от величины измеряемого признака) ставит под сомнение правомерность применения для оценки значимости систематических погрешностей многих известных методов математической статистики.

Например, критериев Аббе и Фишера, предполагающих, что сравниваемые выборки распределены по нормальному закону. Поэтому для выявления наличия систематических погрешностей предлагается использовать подход [90], не накладывающий ограничений на характер выборки и на абсолютный или относительный характер проявления систематической погрешности.

Данный подход основан на том, что если рассматриваемые выборки данных имеют систематические расхождения в результатах измерений, то должна наблюдаться определенная закономерность в соотношении их значений.

Для выполнения оценки результаты сопоставлений представляются в форме таблицы, строки которой соответствуют источнику данных, а колонки – их значениям по данным горных $P_i^Г$ и геологоразведочных работ $P_i^Р$ (табл. 5.2).

Результаты сопоставлений

По данным	Значения признаков по сопоставлению							
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n
горных работ	10,5	12,3	9,5	...	$P_i^Г$	...	21,1	7,9
разведки	8,3	13,7	9,5	...	$P_i^Р$	...	22,4	5,2

Для анализа стабильности соотношения измерений они переводятся в ряд натуральных чисел путем ранжирования. Для этого максимальному значению признака в сопоставлении присваивается ранг $b_{ji}=1$, а минимальному $b_{ji}=2$. Если значения признаков равны, то обоим присваивается одинаковый ранг 1,5. В соответствии с описанными правилами, после проведения ранжирования данных, табл. 5.2 сопоставлений примет вид, приведенный в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Ранжированные результаты сопоставлений

По данным	Значения признаков по сопоставлению								Сумма по строкам
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n	
горных работ	1	2	1,5	...	b_{1i}	...	2	1	U_1
разведки	2	1	1,5	...	b_{2i}	...	1	2	U_2

Если в выборках существует значимая систематическая погрешность, то последовательности ранжированных значений по каждой колонке должны совпадать друг с другом (например, в первой строке всегда будет стоять 1, а во второй – 2).

Таким образом, при таком подходе оценка значимости систематической погрешности сводится к оценке «похожести» рядов значений по колонкам. Для выполнения такой оценки используется коэффициент конкордации W .

Для его расчета находятся суммы записанных в строках таблицы чисел

$$U_1 = \sum_{i=1}^n b_{1i} ; \quad U_2 = \sum_{i=1}^n b_{2i} \quad (5.5)$$

и величина

$$S = (U_1 - 1,5n)^2 + (U_2 - 1,5n)^2 . \quad (5.6)$$

Коэффициент конкордации W в рассматриваемом случае рассчитывается по формуле

$$W = \frac{2S}{n^2} . \quad (5.7)$$

Данный коэффициент, как и корреляционное отношение, изменяется от 0 до 1 (при $W=1$ столбцы табл. 5.3 полностью идентичны, а при $W=0$ совершенно не совпадают друг с другом).

Величина систематической погрешности признается значимой, если $W \geq 0,6$, в противном случае, полагается, что $C=0$.

В случае значимости систематической погрешности производится определение ее значения

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^{\Gamma} - \sum_{i=1}^n P_i^{\text{P}}}{n} \quad (5.8)$$

и рассчитываются величины случайных погрешностей геологоразведочной модели для каждого сопоставления

$$\Delta P_i^0 = P_i^{\Gamma} - P_i^{\text{P}} - C . \quad (5.9)$$

Далее, по формуле (5.1) вычисляется значение среднеквадратической погрешности модели R_F .

*5.6. Установление необходимого объема статистического материала
для определения коэффициентов перехода
от степени неоднозначности к погрешности модели*

Для установления минимально допустимого количества оценочных четырехугольных блоков, обеспечивающих получение достоверных величин коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешностям K_g или K_p , были выполнены специальные исследования с использованием реальных шахтных данных. В процессе этих исследований изучалась динамика изменения упомянутых коэффициентов по мере роста количества используемых оценочных четырехугольников, начиная с четырех блоков. При изучении динамики принимаются оценочные блоки, у которых более 70 % площади находится в пределах уже отработанного контура. В ходе исследований по различным объектам формировались таблицы результатов обработки, пример одной из которых приведен в табл. 5.4.

Таблица 5.4
Коэффициенты перехода от степени неоднозначности к погрешностям
в зависимости от количества блоков пласта 67

Количество блоков	Коэффициент перехода	Количество блоков	Коэффициент перехода
4	3,7	16	1,5
5	3,4	17	1,4
6	3,8	18	1,6
7	3,2	19	1,7
8	3,4	20	1,6
9	2,7	21	1,8
10	2,4	22	1,7
11	3,0	23	1,6
12	2,6	24	1,8
13	2,3	25	1,7
14	2,0	26	1,7
15	1,6	27	1,6

Представленные на рис. 5.9 и 5.10 примеры отображения результатов исследований в графическом виде иллюстрирует общую выявленную закономерность, состоящую в том, что по мере роста количества использованных блоков, значения коэффициентов перехода, достаточно сильно изменяющиеся при малом количестве блоков, стабилизируются при использовании 20 и более блоков.

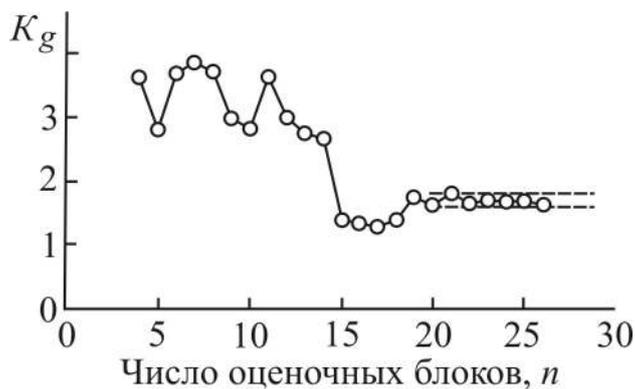


Рис. 5.9. График зависимости коэффициента перехода от количества использованных оценочных блоков в условиях пласта 67 шахты «Талдинская – Западная 1»

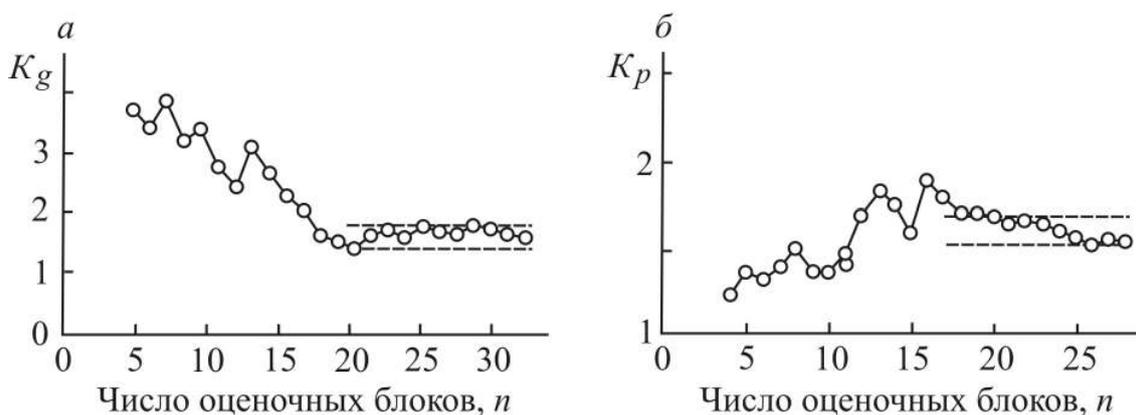


Рис. 5.10. Графики зависимости коэффициентов перехода от количества использованных оценочных блоков в условиях пласта XXVII шахты «Березовская»: а – для гипсометрии; б – для мощности пласта

Таким образом, при определении коэффициентов K_g и K_p рекомендуется использовать не менее 20 оценочных блоков.

Формирование минимально необходимого объема выборки оценочных блоков может осуществляться двояко, в соответствии со схемами, приведенными на рис. 5.11.

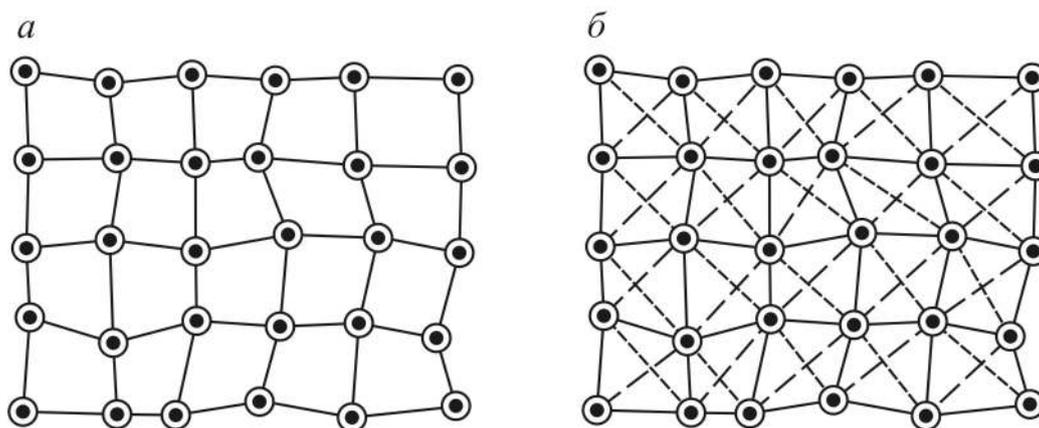


Рис. 5.11. К определению количества оценочных блоков, достаточных для определения коэффициентов перехода K_g и K_p

Первый подход состоит в выделении блоков при отсутствии перекрытия или их минимальном перекрытии (рис. 5.11, *a*). Именно он был использован при выполнении исследований, иллюстрированных рисунками 5.9 и 5.10.

Второй подход состоит в выделении по участку максимального количества оценочных блоков корректной формы при активном использовании их взаимного перекрытия (рис. 5.11, *б*).

При использовании первого подхода по разведочной сети, изображенной на рис. 5.11, выделяется 20, а при использовании второго – 52 блока. Казалось бы, второй вариант квадратурирования явно предпочтительнее, поскольку позволяет достичь необходимого объема статистической выборки при меньшем количестве скважин.

Однако выполнение повторных расчетов коэффициентов перехода на основании использования квадратурирования по второму варианту показало, что они не претерпели сколь либо значимых изменений. Отсюда следует, что оценка достигнутого объема статистической выборки должна осуществляться только по количеству не перекрывающихся друг друга блоков.

Следует отметить, что учет перекрывающихся друг друга блоков осуществляется только в целях определения достаточности. Данные по всем перекрывающимся блокам используются для дальнейших расчетов без ограничений.

В качестве дополнительного элемента контроля достаточности объема статистической выборки могут использоваться результаты построения графиков зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную от величины коэффициента перехода K_g или K_p . Собственно эти графики строятся по точкам, получаемым в результате расчетов, выполняемых по схеме табл. 5.1. Потенциально существует два подхода к построению зависимости по этим точкам :

– представление в виде ломанной прямой, соединяющей точки (рис. 5.12, *а*);

– представление в виде параболы (проходящей через нулевую точку системы координат), получаемой с помощью метода наименьших квадратов (рис. 5.12, *б*).

«Изломы» графика, полученного при использовании первого подхода, объясняются дискретностью получаемых оценок вероятности. Так, если всего имеется 20 блоков, то даже незначительное изменение величины его критерия может трансформировать эмпирическую вероятность на 0,05. Применение метода наименьших квадратов (второй подход) «сглаживает» дискретные колебания.

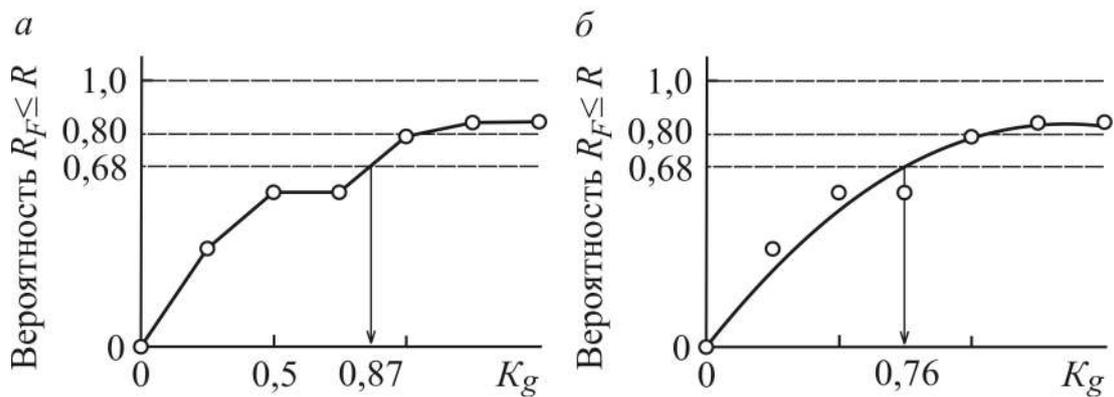


Рис. 5.12. Варианты построения графика зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную (пласт IV-V, шахта «Распадская-Коксовая»)

Естественным является предположение о том, что в случае достаточного объема статистической выборки результаты применения обоих подходов должны давать близкие результаты. Эта предположение подтверждается исследованиями того, как изменяются значения коэффициентов перехода, полученные с помощью двух рассмотренных подходов по мере увеличения количества использованных блоков. Один из результатов исследования отображен на трехмерном графике (рис. 5.13).

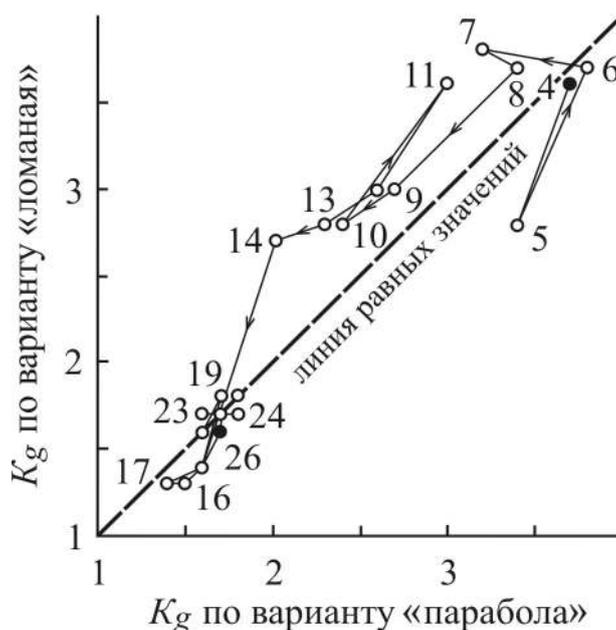


Рис. 5.13. Изменение значений коэффициентов перехода по мере увеличения количества использованных блоков

Каждая точка графика соответствует величине коэффициента для вероятности 0,68, вычисленного при представлении зависимости в виде ломаной и параболы. Все точки соединены линиями, указывающими на точку, отвечающую результатам расчетов, выполненным при увеличении числа использованных оценочных блоков на единицу. Количество использованных для расчета блоков указано рядом с точками.

Расчет выполнялся при последовательном увеличении числа блоков с 4 («черная» точка в правой верхней части графика) до 26 (аналогичная точка в левой нижней его части). На графике пунктиром также показана линия равных значений коэффициентов (при «попадании» точки на эту линию коэффициенты, полученные на основании применения обоих подходов строго равны между собой).

Анализируя график нетрудно заметить, что при росте количества использованных блоков наблюдается не только стабилизация полученных значений, но и растет однозначность полученных результатов.

Очевидно, и это подтверждено исследованиями, что степень совпадения коэффициентов не однозначна для разных уровней вероятности и снижается по мере увеличения вероятности оценки.

При заданном уровне вероятности 0,68 предельное различие двух вариантов значений коэффициентов не должно превышать 14 % по отношению к среднему значению коэффициентов (для изображенного на рис. 5.12 примера эта разность составляет 9 %).

Критический уровень в 14 % предложен, исходя из предположения о незначимости 10 % погрешности каждого из сравниваемых коэффициентов.

В случае если критический уровень превышен, необходимо увеличить количество используемых оценочных блоков.

5.7. Необходимость и особенность учета малых значений критериев разведанности при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели

Собственно значения критериев разведанности обуславливаются не только влиянием погрешностей геометризации, но и погрешностями исходных данных. Эти случайные погрешности могут действовать как разно-, так и равнонаправлено, приводя к появлению аномально низких критериев разведанности особенно в условиях хорошо разведанных месторождений.

Совершенно очевидно, что по мере уменьшения расстояний интерполирования погрешности геометризации должны уменьшаться, тогда как погрешности исходных данных не будут претерпевать изменений. Если представить себе, что расстояния интерполирования равны нулю, что соответствует оценочному блоку нулевой площади, то величина критерия разведанности в таком блоке должна быть равна не нулю, а удвоенной технической погрешности измерения признака в скважинах. Это наглядно демонстрируют и зависимости, приведенные на рис. 5.6, на которых нулевому значению критериев соответствуют отнюдь не нулевые значения погрешностей. В связи с этим можно говорить о некой случайности аномально малых значений критериев разведанности и о том, что они теоретически не должны быть меньше некоторых наперед известных значений.

Вместе с тем, наличие малых значений критериев в обучающей выборке существенно влияет на результаты оценки значений коэффициентов перехода. Так, если взять оценочный четырехугольник с фактической погрешностью гипсометрического плана 4 м, то при величине критерия 4 м «идеальный» коэффициент K_g должен быть равен 1,0, а при критерии 0,1 м – уже 40.

Отсюда следует, что распространение оценок коэффициентов перехода полученных по блокам с низким значением критериев на блоки с высокими их значениями может приводить к существенным неоправданным занижениям оценок. Теоретически можно предположить возможность реализации следующих подходов к учету малых значений критериев:

- замена малых значений критериев на некоторое, более высокое значение (путь – «ограничение»);
- полное исключение из выборки блоков с критериями, превышающими некое пороговое значение (путь – «исключение»).

Для рассмотрения результативности применения обоих подходов был выполнен ряд опытных расчетов, результаты одного из которых приведены на рис. 5.14 и 5.15.

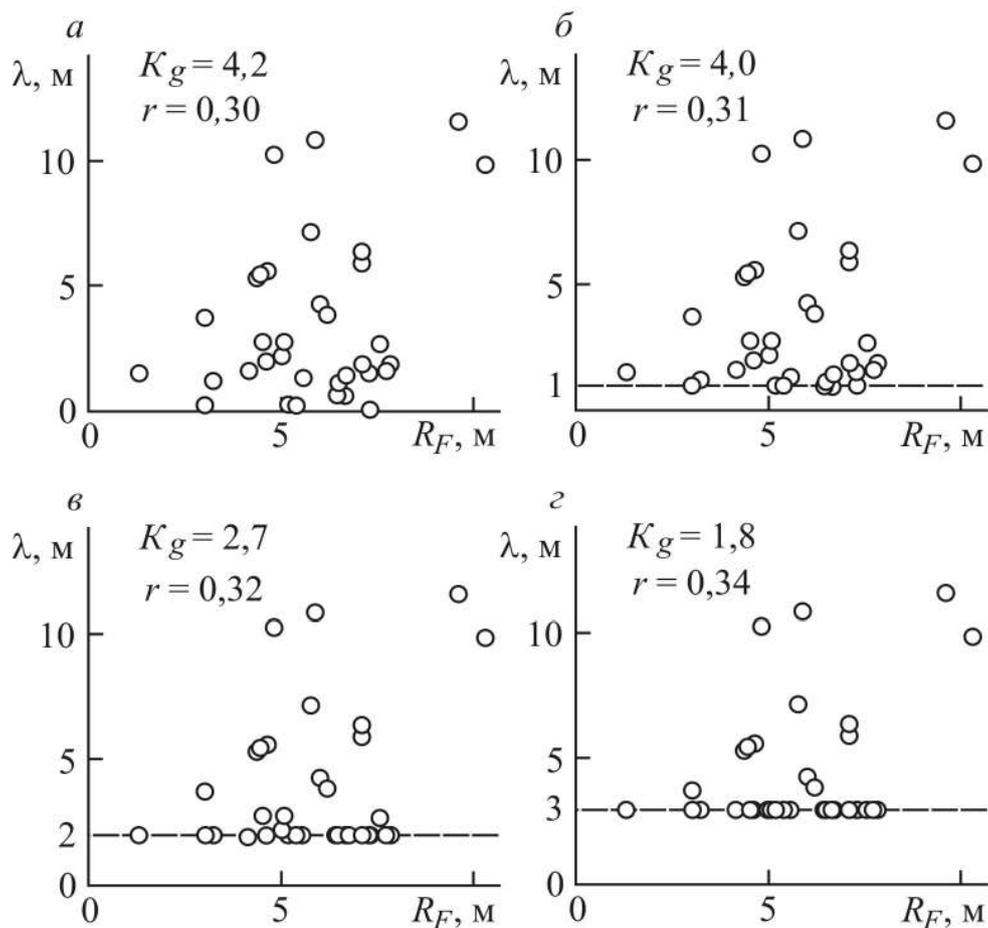


Рис. 5.14. Геометрическое представление данных, использованных для учета малых значений критериев путем их ограничения

Каждому блоку выборки соответствует одна точка графика, имеющего систему координат «лямбда-критерий разведанности – фактическая погрешность».

Использованный для построения графиков массив, состоящий из 34 оценочных блоков, расположен в пределах хорошо разведанного участка пласта 67 (шахта «Талдинская-Западная 1»), запасы которого, как по результатам расчета лямбда-критериев, так и по результатам отработки относятся к категориям А и В. Характерной особенностью массива, делающей его особо сложным для обработки, является значительная доля блоков с низкими значениями критериев, в пределах которых наблюдаются высокие значения фактических погрешностей гипсометрического плана пласта.

Обработка результатов сопоставлений (рис. 5.14, а), выполненная путем ограничения значений критериев уровнями 1 м (рис. 5.14, б), 2 м (рис. 5.14, в) и 3 м (рис. 5.14, г), показала плавное снижение расчетных коэффициентов перехода K_g по мере роста уровня ограничения при постоянном, но крайне незначительном росте коэффициентов корреляции (r) между значениями критериев и погрешностями.

Результаты аналогичных исследований, выполненных путем исключения малых значений критериев, приведены на рис. 5.15. В этом случае наблюдаются те же тенденции, что и в первом, но при больших «скоростях» их реализации.

Полученные по двум возможным вариантам обработки сопоставлений результаты значительно отличаются друг от друга, в связи с чем возникает вопрос, какой из них следует рассматривать в качестве предпочтительного.

В качестве критериев выбора предпочтительного варианта можно рассматривать вероятность того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, и среднюю погрешность прогноза точности горно-геометрической модели.

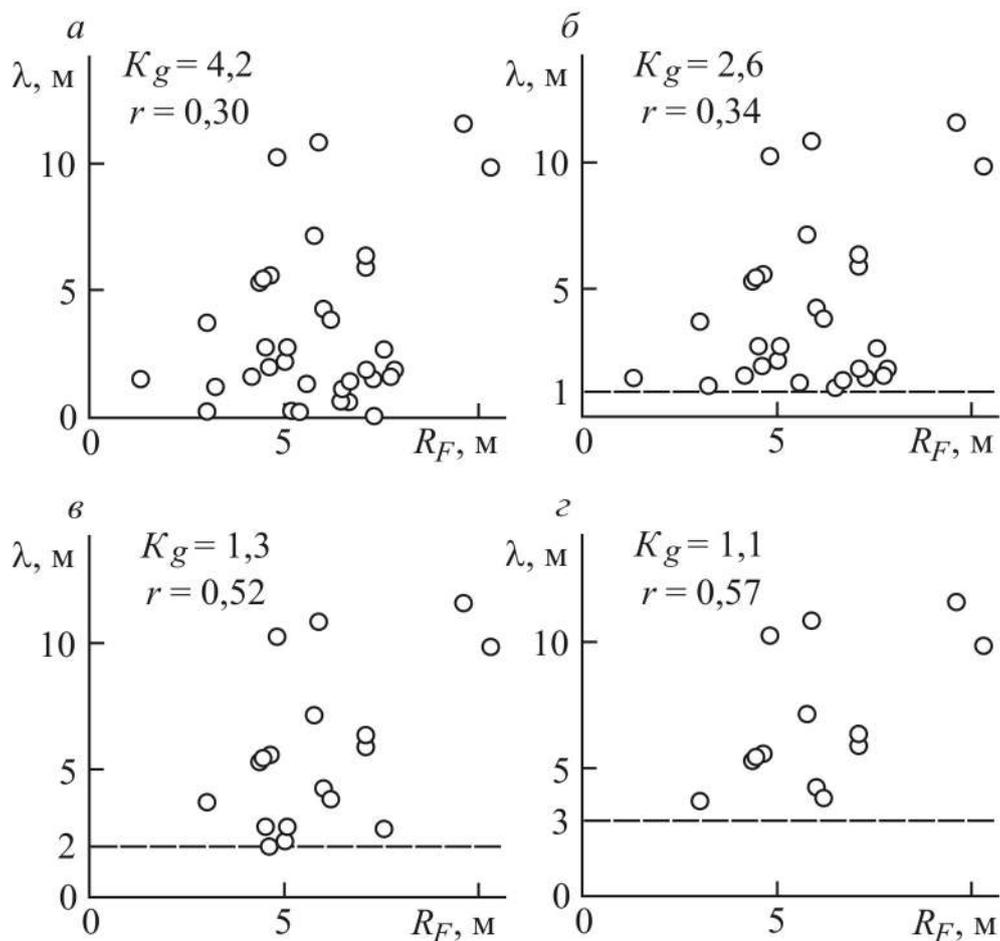


Рис. 5.15. Геометрическое представление данных, использованных для учета малых значений критериев путем их исключения

Результаты оценки эффективности двух рассматриваемых подходов учета малых значений критериев разведанности (по трем вариантам ограничения: 1, 2 и 3 м) для условий примера графически отображены на рис. 5.16.

При построении графиков максимальная величина погрешности условно принята за 100 %. Вероятность того, что фактическая точность модели превысит расчетную, указана для каждой точки графиков в числовой форме. На рис. 5.16, а показано как изменяются погрешности прогноза точности гипсометрического плана пласта при исключении и ограничении малых значений лямбда-критериев в пределах всей исходной выборки. Они показывают, что применение обоих подходов снижают погрешности оценки точности плана.

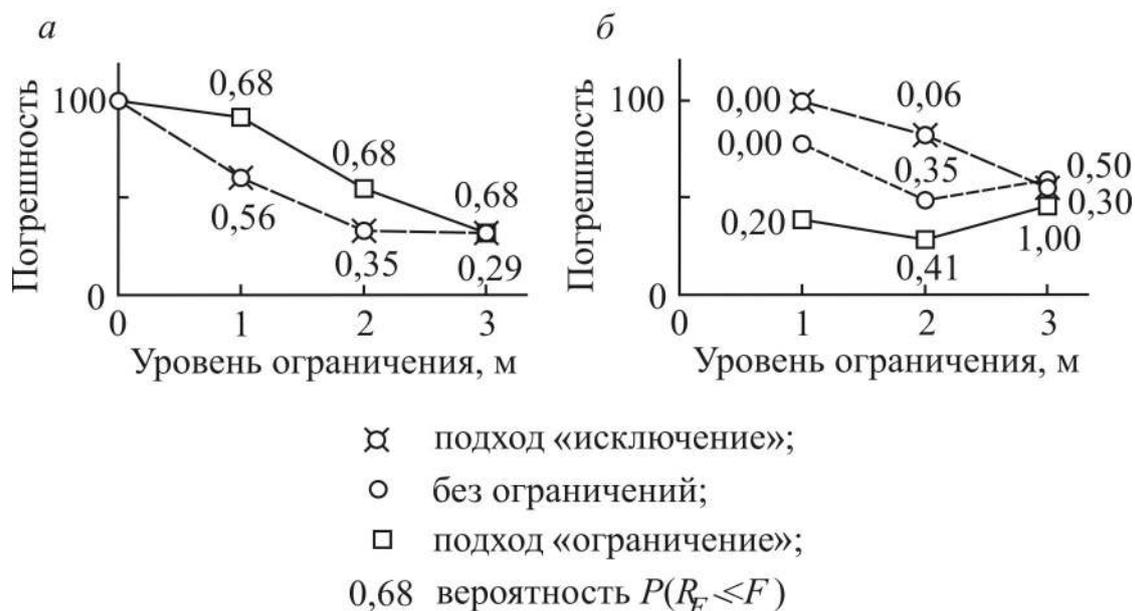


Рис. 5.16. Погрешности прогнозных оценок точности гипсометрического плана пласта при исключении и ограничении малых значений критериев: а – для всей выборки; б – по части выборки до уровня ограничения

При этом подход, основанный на исключении данных, является более эффективным при очень малом уровне ограничения, но становится равнозначным с альтернативным подходом при определенном уровне ограничения. Вместе с тем, при использовании исключения данных, наблюдается очень низкая вероятность того, что фактическая погрешность модели не превысит расчетную.

Рис. 5.16, б характеризующий изменение погрешностей оценки ожидаемой точности модели в контурах блоков, критерии которых меньше принятого уровня исключения и ограничения, показывает обратную картину: прогнозная точность гипсометрического плана, полученная на основе ограничения данных, при малых значениях критериев больше, чем при их исключении. Однако по мере роста уровня ограничения они становятся сопоставимыми. Как и в предыдущем случае, вероятность того, что фактическая погрешность модели не превысит расчетную, выше у подхода с ограничением данных.

Аналогичные результаты и выводы были получены и по другим обрабатываемым массивам сопоставлений.

Исходя из принципиальной значимости вероятности того, что фактическая погрешность модели не превысит расчетную, которая и является основным гарантом качества оценок, а также возможности достижения равной эффективности обоих подходов при определенных уровнях ограничений представляется, что при обработке массивов сопоставлений, содержащих в себе блоки с малыми значениями критериев, следует использовать подход, основанный на ограничении критериев.

Значимым недостатком подхода, основанного на исключении данных, является то, что его применение снижает объем обучающей выборки, подчас выводя его за пределы минимально допустимого количества сопоставлений.

При применении обоих рассмотренных подходов важным является определение уровня критериев разведанности, до достижения которого необходимо выполнять ограничение данных. В качестве его величины, как было указано ранее, может быть принята удвоенная техническая погрешность определения оцениваемого показателя в скважинах. Причем за такую погрешность целесообразно принимать не реальную погрешность, допущенную в тех или иных условиях, а регламентированную в качестве допустимой.

При определении величины такой погрешности, безусловно, следует опираться на опыт работы угольной отрасли, обобщенный в «Технических требованиях угольной промышленности к геолого-разведочным работам и исходным геологическим материалам, представляемым для проектирования шахт и разрезов» [74]. Изложенные в них требования дублируются и современным нормативным документом [32].

Применительно к гипсометрии эти «Требования...» предполагают, что (п. 2.3 [74]) «ошибка в определении гипсометрических отметок почвы (кровли) пластов угля в точках пересечения разведочными скважинами не должна превышать: 0,5 м для простых горизонтально залегающих месторождений открытого способа разработки; 1 м для всех остальных месторождений горизонтального и пологого падения ($0-18^\circ$); 2 м при наклонном падении ($19-35^\circ$) и 3 м при крутонаклонном ($36-55^\circ$) на каждые 500 м глубины скважины, за исключением скважин специального назначения».

Графическая интерпретация этих требований представлена на рис. 5.17 в виде системы прямоугольников, ширина которых соответствует диапазону глубин, а высота – уровню погрешностей.

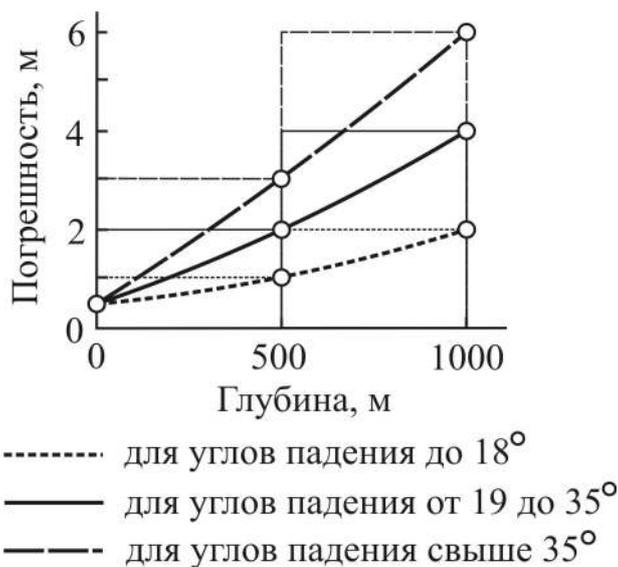


Рис. 5.17. Требования к точности определения высотных отметок пластоподсечений пластов

Поскольку «Требования...» [74] ориентированы на определение погрешностей координаты Z по интервалам глубин [13], приведенные в них требования должны фактически относиться к максимальным границам интервалов.

Исходя из этого, на рис. 5.17 проведены кривые, показывающие теоретические зависимости допустимых погрешностей высотных отметок от глубины. Начальная точка этих кривых, соответствующая нулевой глубине принята, исходя из требований «Инструкции...» [18], в соответствии с которой среднеквадратическая погрешность определения высотной отметки устья разведочных скважин, пройденных на месторождениях твердых полезных ископаемых, ограничивается величиной 0,5 м.

Пользуясь графиком, изображенным на рис. 5.17, можно сформулировать рекомендации по выбору уровня лямбда-критериев разведанности, начиная с которых они могут считаться малыми.

Учитывая реальные глубины шахт Кузбасса и углы отрабатываемых ими пластов, в качестве малых могут квалифицироваться лямбда-критерии равные 3 м для шахт с глубиной до 500 м и 4 м – для более глубоких шахт. Для угольных разрезов с пологим и наклонным залеганием пластов такой уровень можно принять равным 2 м, а с круто-наклонным и крутым залеганием – 4 м.

Аналогичная задача по выделению малых значений критериев возникает и при расчете коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности при оценке достоверности горно-геометрических моделей мощности и показателей качества угля. Принципы ее решения полностью совпадают с изложенными выше.

Упомянутые выше «Требования...» [74] содержат (п. 2.2) рекомендации по допустимым погрешностям определения мощности: «допустимые расхождения в определении мощностей угольных пластов в разведочных скважинах по различным параметрам геофизических исследований, а также при хорошем качестве бурения не должны превышать:

– для весьма тонких и тонких пластов каменного угля (0,65–1,2 м) и для пересечений с предельной для балансовых запасов мощностью – 0,05 м;

- для пластов средней мощности (1,21–3,0 м) – 0,10–0,20 м;
- для мощных пластов (более 3,5 м) – 0,20–0,40 м».

Учитывая, что при определении мощности пласта по результатам геофизического исследования скважин ее погрешность мало зависит от мощности пласта и в большей степени определяется масштабом каротажных диаграмм, в качестве малых могут рассматриваться абсолютные дельта-критерии, не превышающие 0,3 м (для весьма тонких и тонких пластов – 0,1 м).

При определении уровня разделения по значимости абсолютных дельта-критериев, характеризующих степень изученности показателей качества, можно также ориентироваться на рекомендации «Требований...» [74]. Так в соответствии с п. 3 «достоверность определения показателей качества угля по пластопересечениям в геологических отчетах должна оцениваться сопоставлением с данными опробования из горных выработок при их наличии, между данными пластопересечений кустовых скважин или специально пройденных для этих целей дополнительных стволов (искривлений).

По технологическим и энергетическим маркам и группам углей отклонения величин по таким сопоставляемым точкам опробования не должно превышать (относительно): по золе при значениях зольности сухого угля от 10 до 50 % – 5–10 %, по выходу летучих веществ – 10–15 %, по толщине пластического слоя в углях с ее абсолютной величиной свыше 10 мм – 15–20 %, по сере общей – 40 %, по выходу концентрата – 15 % и 60–100 ккал/кг (абсолютно) по высшей теплоте сгорания».

Однако применительно к рассматриваемым характеристикам следует учитывать, что в отличие от гипсометрии и мощности пластов, значения показателей качества углей по пробам, отобранным из горных выработок нельзя рассматривать как практически безошибочные.

Поэтому приведенные допустимые расхождения не следует квалифицировать только как следствие влияния погрешности геологоразведочных данных – они включают в себя и погрешности опробования в горных выработках. Предполагая, что погрешности лабораторных исследований в обоих случаях сопоставимы, можно считать, что указанные разности примерно в $\sqrt{2}$ раз меньше вероятного граничного значения критериев, которые следует квалифицировать как малые.

Учитывая это обстоятельство, в качестве наиболее вероятных границ малых значений абсолютных значений критериев изученности зольности чистых угольных пачек можно принимать 14 % от ее величины. В абсолютном выражении для Кузбасса, имея в виду имеющиеся место средние значения зольности чистых угольных пачек, граничное значение можно принять равным 2 %.

Аналогичные рассуждения позволяют предложить следующие абсолютные граничные критерии при оценке достоверности изучения выхода летучих веществ:

- 4 % – для марок Д, ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж;
- 2 % – для марок ТС, Т и А;
- 3 % – для прочих марок каменных углей.

По толщине пластического слоя в углях Y в качестве граничных критериев могут быть рекомендованы:

- при Y до 10 мм – 2 мм;
- при Y от 11 до 20 мм – ± 4 мм;
- при Y более 21 мм – 6 мм.

Рассматриваемые «Требования...» не содержат рекомендаций по допустимой степени соответствия данных разведки и эксплуатации пластовой зольности, поскольку она во многом обусловлена точностью определения мощности, плотности и зольности внутрипластовых породных прослоев.

Для определения рекомендуемого уровня граничных критериев по данному показателю могут быть использованы результаты исследований [87], которыми установлено, что расхождение в данных о пластовой зольности в среднем составляет 3 % в ее единицах. Откуда следует, что величину граничного значения абсолютного дельта-критерия пластовой зольности можно принять на уровне 4 % (в единицах измерения зольности).

Следует подчеркнуть, что все предложенные граничные значения критериев являются рекомендуемыми и должны контролироваться на основании эвристического анализа корреляционного облака зависимости между погрешностями и критериями (по типу рис. 5.14, *a*). Цель анализа состоит в оценке уровня и целесообразности разделения обучающей выборки на две группы малых и «больших» критериев.

Предложенная схема определения коэффициентов перехода от степени неоднозначности горно-геометрической модели к ее погрешности исходит из того, что обучающая выборка объединяет в себе две группы данных: с высоким уровнем влияния технических погрешностей определения используемых исходных параметров (группа малых критериев) и с незначимой степенью их влияния.

В связи с этим явно возникает еще одна возможность обработки результатов сопоставлений горных и геологоразведочных работ – независимая обработка данных по группам малых и «больших» критериев, с получением для каждой из них своего значения коэффициента перехода. Такой путь обработки является наиболее простым и очевидным, но требует большого объема выборки. Практика показала, что в условиях раздельной обработки данных необходимый объем сопоставлений может, для каждой из групп, быть несколько меньше, чем при обработке смешанной выборки. Допустимым является наличие как в группе малых, так и «больших» критериев не менее 15 сопоставлений.

Обработка данных примера, приведенного на рис. 5.14, *a* по схеме отдельной обработки при отнесении к малым лямбда-критериям тех из них, которые не превышают 3 м показала, что для критериев не превышающих 3 м должен применяться коэффициент перехода 2,3 (при принятии равных значений всех критериев – 3 м), а для остальных 1,1. Такая замена позволяет, при сохранении вероятности того, что фактические погрешности гипсометрического плана не превысят расчетных на уровне 0,68 для обеих выборок существенно повысить точность прогноза погрешностей – более чем в два раза.

Таким образом, общий алгоритм выполнения обработки сопоставлений данных горных и геологоразведочных работ состоит в следующем. В случае если обучающая выборка разделяется на две группы по величине критериев разведанности: с малыми и с «большими» критериями. Величину критерия, по которой осуществляется разделение выборки, будем в дальнейшем называть граничным критерием.

Если объем каждой из выборок превышает 15 сопоставлений, то для каждой из них определяется индивидуальное значение коэффициента перехода. При этом все значения критериев в выборке малых значений заменяются на граничные. Если объем выборки не позволяет осуществить ее разделение на две, определяется единственное значение коэффициента перехода при предварительной замене всех малых критериев на граничное значение.

Собственно расчет ожидаемой погрешности должен учитывать технологию получения коэффициентов перехода. Алгоритм расчета, реализованный в рассмотренной в разделе 7 программе «MDZ», состоит в следующем. В качестве исходных данных для прогноза погрешности (R) используются критерии разведанности (лямбда или дельта), а также значение их порогового значения (L , которое, при отсутствии разделения массива на малые и «большие» критерии, принимается равным нулю).

Кроме того, указываются два значения коэффициентов перехода: для малых (K_M) и «больших» значений (K_6). Если обработка сопоставлений велась в режиме ограничения, то $K_M = K_6 = K$. Общая схема алгоритма приведена на рис. 5.18.

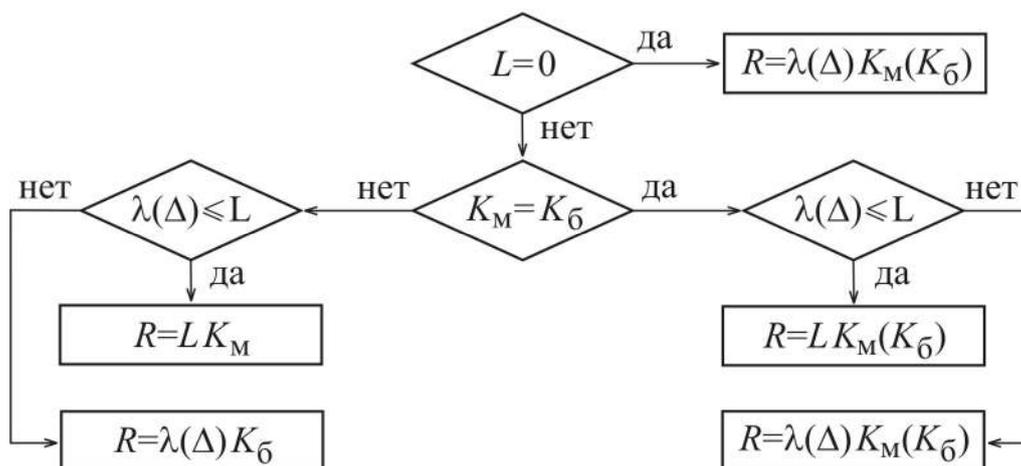


Рис. 5.18. Алгоритм определения ожидаемой погрешности горно-геометрической модели на примере гипсометрии

При оценке ожидаемых погрешности моделей мощности и показателей качества угля используется аналогичный алгоритм.

При вычислении погрешностей не следует «увлекаться» количеством используемых значащих цифр, создавая, тем самым иллюзию их высокой точности. Рекомендуется округлять погрешности гипсометрических планов до метров, относительные погрешности до целых процентов, абсолютные погрешности мощности до дециметров, а зольности до процентов.

Уточненные значения коэффициентов перехода от неопределенности к погрешностям должны учитываться не только при категоризации запасов, но и при оценке правомерности интерполяции мощностей и показателей качества угля в межскважинном пространстве.

Условие ее правомерности, определяемое выполнением неравенства (2.24), было получено, исходя из среднебассейнового значения коэффициента K_p .

Поэтому, сохраняя все изложенные ранее исходные соображения, при наличии уточненного значения коэффициента перехода K_p , следует считать, что правомерность интерполяции значений мощности и показателей качества признается существующей в случае выполнения условий неравенства:

$$\frac{\bar{\Delta}_p}{\sigma_p} \leq 0,62K_p. \quad (5.10)$$

5.8. Необходимость и особенность учета дизъюнктивной нарушенности при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности гипсометрических планов

Необходимость учета дизъюнктивной нарушенности пластов при установлении коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности гипсометрических планов рассмотрим на примере поля шахты «Первомайская», в центральной части которой расположено крупное дизъюнктивное нарушение I-I, формирующее зону перекрытия пластов (рис. 5.19). В пределах висячего крыла пласта очистные работы осуществлялись лавами 710, 712 и 714, а лежачего – 723, 725 и 727. Нарушение было выявлено геологоразведочными работами и учтено при проектировании предприятия. По результатам расчетов лямбда-критерия разведанности в пределах контура скважин 142, 2957, 77 и 35 его значение составило 46 м, что соответствует требованиям категории C_2 .

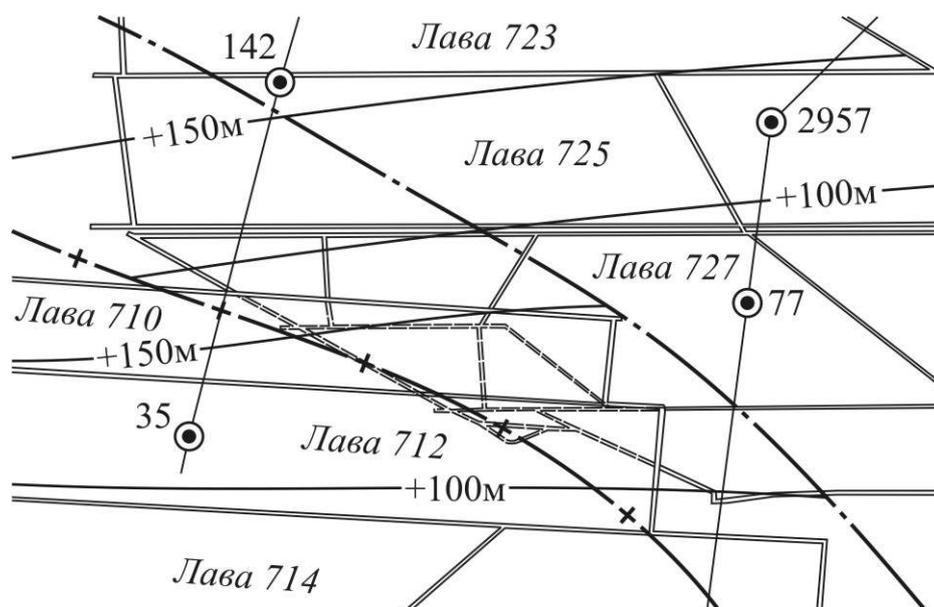


Рис. 5.19. Фрагмент плана горных работ по пласту XXVII поля шахты «Первомайская»

Однако относить запасы этого оценочного блока к категории C_2 явно нет оснований, т. к. причина высокого значения известна – расположение его трех скважин-вершин на лежащем, а одной на висящем крыле выявленного крупного разрывного нарушения I-I.

Поскольку «точное» положение линий обреза пласта данным нарушением (равно как и ширина зоны его влияния) неизвестны (что привело к необходимости проведения значительного объема выработок разведочного назначения по лежащему крылу пласта, показанных на рис. 5.19), то запасы такого блока могут оцениваться по категории C_1 .

Ясно, что при размещении лав 710, 712, 714, 723, 725 и 727 на крыльях установленного разведкой нарушения, его амплитуда не отразится на результатах сопоставления высотных отметок пласта по данным горных и разведочных работ. В тоже время его амплитуда существенным образом влияет на величину критерия разведанности по оценочному блоку, скважины которого будут размещены на различных крыльях (блок скважин 142–2957–77–35).

Несомненно, что сопоставление лямбда-критерия разведанности и погрешности гипсометрического плана в таких условиях неправомерно, поскольку в его основу будут положены данные: учитывающий нарушение критерий разведанности и не учитывающие его данные горных работ.

Применительно к рассматриваемому примеру, результаты такого формального сопоставления будут указывать на то, что лямбда-критерию разведанности равному 46 м должна соответствовать средняя погрешность гипсометрического плана пласта в 6 м. Включение в обработку такого оценочного блока исказит результаты оценки и приведет к завышенной оценке достоверности запасов.

Таким образом, в случае расположения внутри оценочного блока значимого по амплитуде разрывного нарушения, наличие которого было установлено геологоразведочными работами, результаты сопоставления данных горных и разведочных работ по нему не следует использовать для расчета коэффициентов перехода от степени неоднородности к погрешности. При таком подходе возникает совершенно справедливый вопрос о том, с какой величины амплитуды известное разрывное нарушение следует признать значимым. Представляется, что к значимым нарушениям следует относить те, переход через которые сопряжен с проведением горных выработок по породе, характер размещения которых приводит к разрыву фронта очистных работ.

По результатам исследований нарушенных шахтных полей установлена достаточно тесная корреляционная связь между амплитудами выявленных разведкой нарушений и значениями лямбда-критериев разведанности (рис. 2.20). Использование данной связи позволяет приближенно оценить значимость влияния вскрытого нарушения на величину критерия разведанности, т. е. «разделить» значения критерия на две составляющие: связанную и не связанную с разрывным нарушением.

В соответствии с известными допущениями при оценке общей погрешности, формируемой двумя различными источниками ее проявления, источник, вклад которого не превышает 25 % от общей погрешности, может признаваться незначимым.

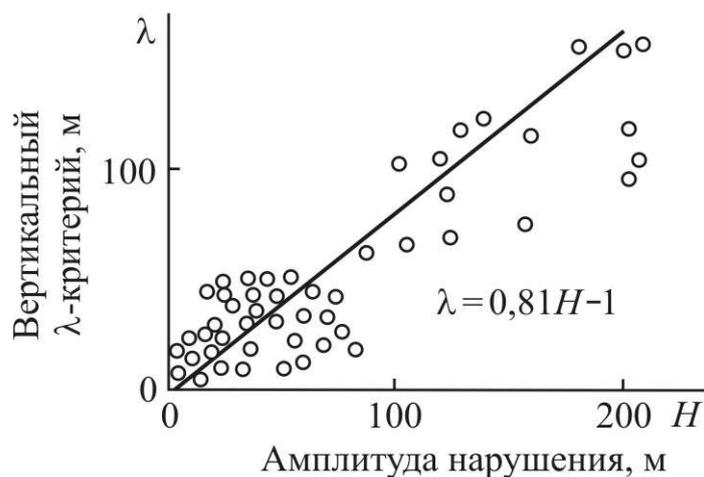


Рис. 5.20. Зависимость вертикальных лямбда-критериев от вертикальной амплитуды разрывного нарушения (шахта «Нагорная»)

Учитывая изложенные ранее соображения, величина ожидаемой погрешности гипсометрического плана, вызванная наличием разрывного нарушения с вертикальной амплитудой H , может быть оценена по формуле

$$R_H = (0,8H - 1)K_g, \quad (5.11)$$

а предельная погрешность плана в пределах оценочного блока, при которой влияние разрывного нарушения является незначимой, составляет

$$R_F \geq 4(0,8H - 1)K_g. \quad (5.12)$$

Построенные на основании формулы (5.12) графики (рис. 5.21) позволяют оценить допустимость учета известного по результатам разведки разрывного нарушения при производстве сопоставлений.

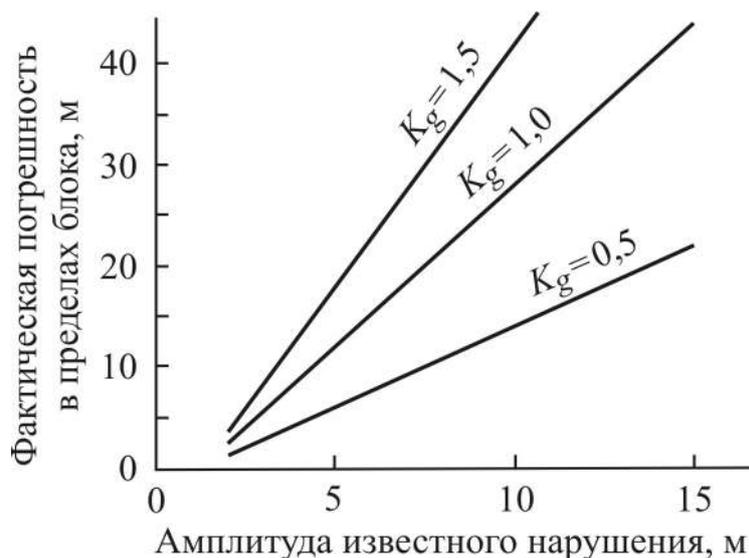


Рис. 5.21. Определение величины погрешности гипсометрического плана в контуре оценочного блока с известным разрывным нарушением, при которой он может быть использован для расчета коэффициента K_g

Зависимости (рис. 5.21) показывают, что при выполнении сопоставлений в пределах контуров полной разведанности (фактическая погрешность не превышает 4 м) при среднем для Кузбасса коэффициенте перехода $K_g = 0,6$ не должны учитываться блоки, в пределах которых расположены выявленные геологоразведкой разрывные нарушения с вертикальной амплитудой более 3,5 м.

5.9. Оценка возможности прогнозирования коэффициентов перехода от степени неоднозначности к погрешности модели

Как уже отмечалось коэффициенты перехода от степени неоднозначности горно-геометрической модели (критериев разведанности) к ее погрешности предполагается определять индивидуально для каждого объекта.

Однако было бы крайне желательным иметь возможность прогнозировать значения этих коэффициентов по некоторым косвенным признакам. Это позволило бы резко снизить затраты труда и времени на их определение.

Разумным представляется предположение о том, что значения коэффициентов, равно как и самой разведанности, определяются степенью сложности геологического строения и плотностью сети наблюдений. В случае наличия такой связи достаточной тесноты, естественно предположить, что в пределах одной и той же плотности сети измерений должна наблюдаться некая зависимость коэффициентов K_g и K_p от степени изменчивости признаков, характеризующих сложность геологического строения. В связи с этим по ряду отработанных участков шахтопластов Кузбасса, отвечающих указанным условиям, были рассчитаны коэффициенты K_g и K_p . Результаты расчета коэффициента K_p по 10 угольным пластам Кузбасса, обрабатываемым комплексно-механизированными забоями приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Характеристики мощности угольных пластов

Пласт	Средняя мощность пласта, м	Критерий разведанности		Коэффициент вариации мощности V , %	Коэффициент K_p
		Δ , м	δ , %		
15	1,81	0,24	12,48	20,7	1,6
25	1,64	0,21	12,70	18,4	2,4
26	1,92	0,10	11,37	8,0	2,4
29	2,55	0,10	3,89	2,1	2,1
34	2,72	0,18	6,64	7,2	1,1
60	4,84	0,14	2,90	3,4	2,0
XXI	1,74	0,20	11,37	20,2	2,4
6-6а	4,45	0,24	2,47	7,9	1,5
Емельяновский	1,62	0,14	8,59	11,0	1,9
Владимировский	3,60	0,20	5,53	9,9	3,5

При анализе таблицы обращает на себя внимание то, что коэффициент K_p для условий отдельных пластов может существенно отличаться от среднего для бассейна (равного 1,3). Так, например, для пласта Владимировского он превышает среднебассейновый уровень в 2,7 раза. Оценка степени корреляции приведенных в табл. 5.5 характеристик с коэффициентом K_p свидетельствует об отсутствии какой-либо значимой связи между ними (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Оценка тесноты связи для коэффициента K_p

Зависимость коэффициента K_p от:	Коэффициент корреляции
– среднего значения мощности пласта	–0,004
– абсолютного критерия разведанности мощности Δ	–0,014
– относительного критерия разведанности мощности δ ,	+0,022
– коэффициента вариации мощности пласта V	+0,202

Как и ожидалось, наибольшая теснота связи наблюдается между коэффициентами и общей изменчивостью мощности, характеризуемой коэффициентом ее вариации V . Однако наблюдаемая теснота связи явно недостаточна для выполнения надежного прогнозирования коэффициента. Можно допустить, что значимость такой связи может быть повышена при использовании не общей, а только случайной изменчивости.

При этом, очевидно, что процедура дефрагментации общей изменчивости на случайную и геометризруемую не только достаточно многовариантна, но и сопоставима по трудоемкости с прямым определением коэффициента перехода, что делает подобную попытку нецелесообразной

Результаты расчета коэффициента K_g по угольным пластам, обрабатываемым комплексно-механизированными забоями, приведены в табл. 5.7. Размер выборки весьма скромн, но при наличии действительно тесной связи между характеристиками она, безусловно, должна проявляться.

Таблица 5.7

Значения коэффициента K_g для определения погрешностей гипсометрических планов почвы угольных пластов

Пласт	Углы падения пласта и их размах, град	Средний критерий разведанности λ , м	Коэффициент K_g
Владимировский II	26 (2–28)	8,4	1,55
Байкаимский	18 (2–20)	4,9	1,10
IV-V	18 (6–20)	5,3	1,21
67	18 (5–23)	3,3	1,41
Бреевский	21 (4–45)	4,9	0,93

Из табл. 5.7 следует сделать вывод, что для пластов с различной сложностью строения, которая характеризуется, соответственно, углом падения пласта и критерием разведанности, коэффициенты перехода также не постоянны, как и для мощности, хотя и изменяются в меньшем диапазоне. Данные табл. 5.7 указывают на наличие слабой и крайне ненадежной корреляционной связи между коэффициентами перехода, размахом углов падения и средним значением критерия (при уровне коэффициента корреляции 0,4).

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что коэффициенты перехода от степени неоднозначности к погрешности горно-геометрических моделей мощности и гипсометрии не могут надежно прогнозироваться даже в пределах группы объектов с близкой плотностью разведочной сети.

Отсюда следует, что определение рассматриваемых коэффициентов перехода должно осуществляться индивидуально для каждого геологического объекта по результатам сопоставления данных горных и геологоразведочных работ.

5.10. Установление значения погрешностей, соответствующих требованиям различных категорий запасов в условиях конкретного предприятия.

Статичный подход к количественной оценке достоверности запасов, равно как и качественный экспертный, фактически не предусматривает выполнение учета достигаемой степени разведанности на эффективность ведения горных работ. Вместе с тем такой учет представляется разумным и необходимым. Не следует забывать, что уровень погрешности горно-геометрической модели является значимым лишь в той мере, в которой он влияет на эффективность и полноту использования недр.

Так уровень погрешности изучения гипсометрии (особенно в части выявления малоамплитудных нарушений) имеет неодинаковую значимость при отработке месторождения открытым и подземным способами. Да и при осуществлении подземной добычи полнота выявления нарушенности по-разному сказывается на эффективности горных работ, осуществляемых с использованием длинностолбовых и короткозабойных технологий, с применением очистных комбайнов и струговых установок и т. п.

Существенное влияние на результаты горных работ оказывает и корпоративный опыт, и сложившаяся на предприятии инженерная культура производства.

Так, в свое время, на шахте «Южная» в Кузбассе механизированные комплексы успешно эксплуатировались на пластах с углами падения до 35° , а на шахтоуправлении «Анжерское» удавалось рентабельно отрабатывать выемочные столбы с запасами ценных коксующихся углей всего лишь в 30 тыс. т, что на остальных шахтах бассейна считалось невозможным.

Отсюда следует, что одному и тому же уровню погрешности горно-геометрических моделей может, в зависимости от применяемых горных технологий, соответствовать различная степень достоверности запасов, которая, в конце концов, является характеристикой степени достаточности полноты геологического изучения недр.

Такая позиция полностью соответствует духу и букве действующей «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [19].

Например, в соответствии с ней в контуре запасов категории А условия залегания должны быть установлены, тогда как для запасов категории C_1 должны быть выяснены лишь их основные особенности.

Представим себе, что степень достоверности изучения слабо-волнистой гипсометрии пласта месторождения второй группы сложности, имеющего средний угол падения 15° , позволяет определять величину этого угла в любой точке пласта с точностью $\pm 5^\circ$.

В случае если данный пласт планируется отрабатывать механизированным комплексом по длинностолбовой технологии, указанная погрешность определения угла практически не повлияет на схему размещения подготовительных выработок и не окажет реального влияния на эффективность ведения работ. В этом случае условия залегания пласта явно следует признать установленными, а запасы участка следует отнести (разумеется, только по данному фактору) к категории А.

Однако если пласт предусмотрено обрабатывать с помощью механогидравлической технологии, предъявляющей высокие требования к углам, под которыми должны проводиться выработки, то указанные погрешности определения угла падения пласта уже не гарантируют обеспечения заданных углов наклона проектируемых выработок.

В результате, на стадии реализации проектных решений весьма вероятным является появление бросовых выработок, снижение полноты использования недр и эффективности их отработки. В этом случае можно говорить лишь о выяснении основных особенностей условий залегания пласта, что предполагает необходимость квалификации запасов по категории C_1 .

Разумеется, учет особенностей применяемых технологических решений по отработке месторождения и корпоративного опыта их реализации в условиях конкретного предприятия может быть полномасштабно осуществлен только на стадии его эксплуатации. Поэтому установление допустимого уровня погрешности горно-геологической модели для различных категорий разведанности является одной из ключевых задач мониторинга достоверности запасов.

Алгоритм решения этой задачи достаточно очевиден и должен состоять из обучающего модуля (обеспечивающего получение необходимых данных по материалам отработанной части пласта) и модуля прогноза (обеспечивающего применение полученных в первом модуле данных для уточнения оценок в пределах неотработанной части пласта).

Обучающий модуль должен, опираясь на опыт эксплуатации, установить уровень погрешностей моделей (а, соответственно, и величин критериев разведанности), при которой они не сказываются на результатах ведения горных работ. Запасы такой степени разведанности безусловно следует квалифицировать по категории А.

При этом в качестве уровня погрешности моделей должен использоваться ожидаемый уровень, полученный на основании значимых критериев разведанности и соответствующих коэффициентов перехода от них к погрешностям. Такой подход обусловлен тем, что при последующем использовании результатов оценки еще неотработанных площадей будут использоваться именно ожидаемые погрешности.

Признак незначимости погрешностей геометризации всей совокупности используемых моделей совершенно очевиден – соответствие получаемых технико-экономических показателей работы предусмотренных проектом.

Уровень такого соответствия должен быть достаточно высоким. Так в работе [2] доказано, что «стандартизированный производственный процесс характеризуется величиной отклонения его основных параметров не более чем на 5–7% от заданных значений, что соответствует приемлемому уровню риска возникновения травм и аварий».

Порядок поиска таких предельных погрешностей рассмотрим на приведенном ниже примере, использующем фактические данные по шахте «Галдинская-Западная 1».

Оценочные блоки выносятся на план горных выработок пласта, на котором показаны выемочные участки с положением очистных забоев по месяцам, как, например, лавы 4 и 5 пласта 67 (рис. 5.22).

Среди них выделяются блоки, по которым не было отмечено значимого влияния погрешности фактора, например, гипсометрии (включая разрывные нарушения) на уровень расчетных технико-экономических показателей работы очистного забоя.

Оценочным средством при этом выступает показатель – месячное подвигание очистного забоя, который наглядно представлен на плане горных выработок.

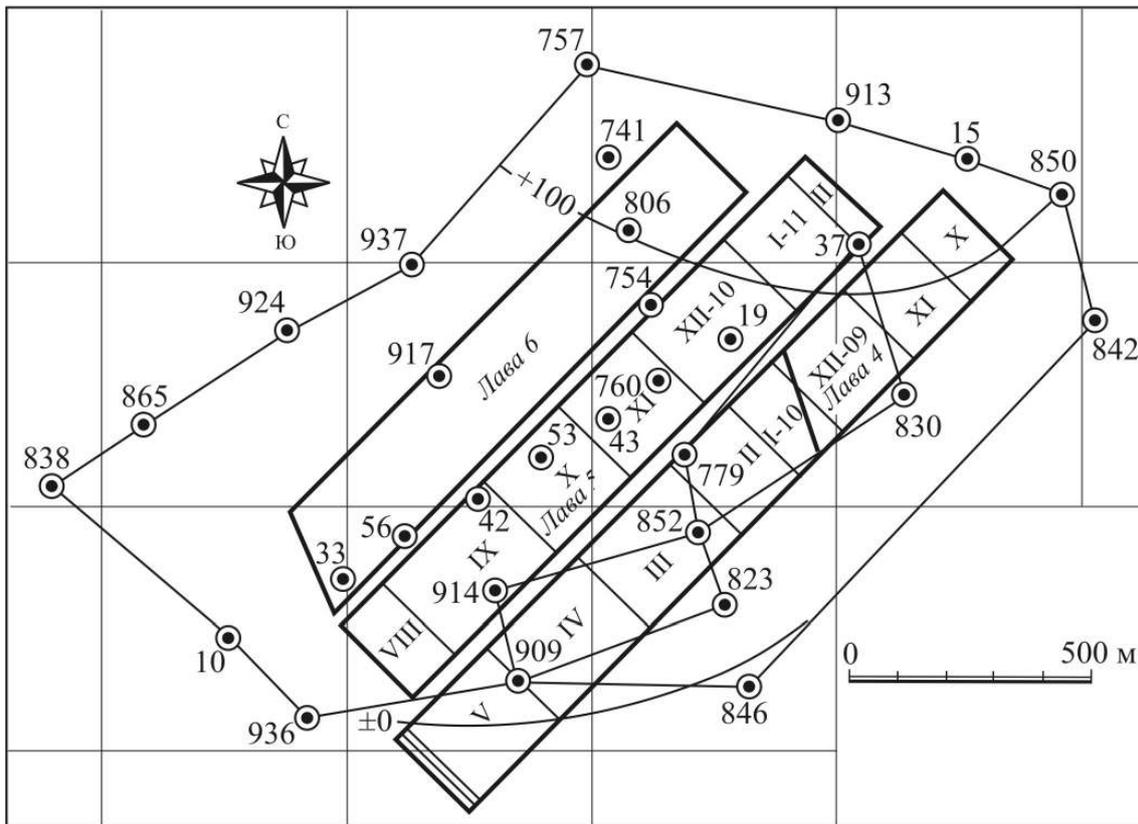


Рис. 5.22. План горных выработок пласта 67

В табл. 5.8 приведены данные по оценочным блокам отработанного участка пласта 67, а также фактические и ожидаемые по геологоразведочным данным погрешности геометризации пласта по ним.

Значения ожидаемых погрешностей определены, исходя из полученных значений лямбда-критериев и коэффициента перехода установленного по результатам мониторинга.

Анализируются лавомесяцы, попавшие в оценочный четырехугольник, сравнением фактического и проектного месячного подвига забоя.

Так, по данным шахты «Галдинская-Западная 1» при ведении очистных работ с помощью немецкого очистного комбайна SL-500 фирмы «Айкхофф», механизированной крепи фирм DBT и JOY, лавного конвейера фирмы H&V, обеспечивается суточная нагрузка на забой порядка 8,1 тыс. т, а месячная при 30 рабочих днях – 243 тыс. т.

Таблица 5.8

Погрешности изучения гипсометрии по оценочным блокам,
расположенным в пределах отработанных лав 4 и 5

№ блока	Вершины оценочного блока				Ламбда-критерий, м	Погрешности, м	
	1	2	3	4		фактическая	ожидаемая
10	10	936	914	33	2,8	4,6	3,9
11	33	914	909	936	4,6	4,8	6,4
12	56	42	914	936	0,3	5,2	0,4
14	852	823	909	914	1,3	5,8	1,8
15	799	852	909	914	0,3	4,6	0,4
16	823	914	42	852	0,1	5,4	0,1
17	852	914	42	799	2,2	4,9	3,1
18	19	754	913	37	1,7	7,5	2,4
21	741	37	913	757	2,8	7,5	3,9
22	913	15	842	37	7,2	5,0	10,1
23	850	842	37	15	1,8	5,6	2,5
24	830	842	37	19	4,4	4,3	6,2
25	799	852	830	37	6,0	7,0	8,4
29	37	830	842	850	4,6	4,9	6,4
33	53	43	799	852	0,6	6,7	0,8

Используемое для анализа плановое подвигание лавы за месяц рассчитывается по формуле

$$l = \frac{Q}{\gamma m_{\text{в}} L}, \quad (5.13)$$

где Q – месячная нагрузка на забой, тыс. т; γ – плотность угля, т/м³; $m_{\text{в}}$ – вынимаемая мощность пласта, м; L – фронт лавы, м, и составляет 200–250 м.

Лавомесяцы в контуре блока скважин 914–852–823–909 (рис. 5.23) имеют подвигание 260 и 266 м (табл. 5.9).

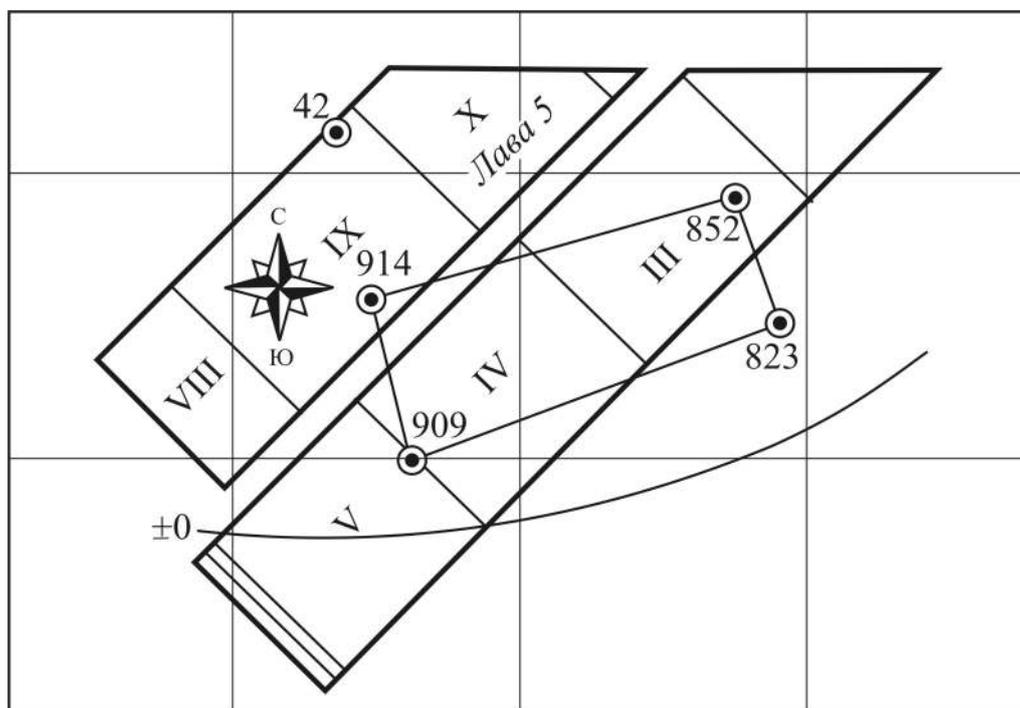


Рис. 5.23. План горных выработок пласта 67 в контуре скважин 914–852–823–909

Следовательно, оценочный блок отработан с показателями более запланированных, в режиме, когда ожидаемая погрешность геометрии гипсометрии пласта, а ее значение для данного блока составляет 1,8 м, не оказывала влияния на темпы отработки пласта.

При выполнении анализа должны учитываться организационно-технические факторы.

Так, лавомесяцы в контуре блока скважин 779–37–830–852 (рис. 5.24) характеризуются подвиганием 204 (XII-2009), 123 (I-2010) и 166 м (II-2010). Подвигание лавомесяцев 123 и 166 м менее планового – 200 м. Однако, понятно, что в данном месяце забой «переходил» передовую выработку, где осложняющим фактором выступает горное давление, а не гипсометрия пласта.

Таблица 5.9

Месячные подвигания лавы 67-04 и осложняющие отработку факторы

Месяц, год	Подвигание l , м	Осложняющие факторы
Лава 67-04		
X–2008	39	
XI–2008	250	
XII–2008	204	
I–2009	123	диагональная печь
II–2009	166	параллельная ЗПГД*
III–2009	266	
IV–2009	260	
V–2009	228	
VI–2009	19	
Лава 67-05		
VIII–2009	123	
IX–2009	290	
X–2009	212	перпендикулярная ЗПГД*
XI–2009	211	перпендикулярная ЗПГД*
XII–2009	268	
I–2010	233	
II–2010	59	

Примечание ЗПГД – зона повышенного горного давления, возникающая вследствие влияния целиков, оставленных на вышележащем пласте.

Поэтому, погрешность геометризации гипсометрии пласта этого блока, равная 8,4 м, также нельзя признать влияющей на эффективность выемки пласта.

Предельная допустимая погрешность геометризации гипсометрии для категории А устанавливается по наибольшему значению, отмеченному во всех отработанных оценочных блоках.

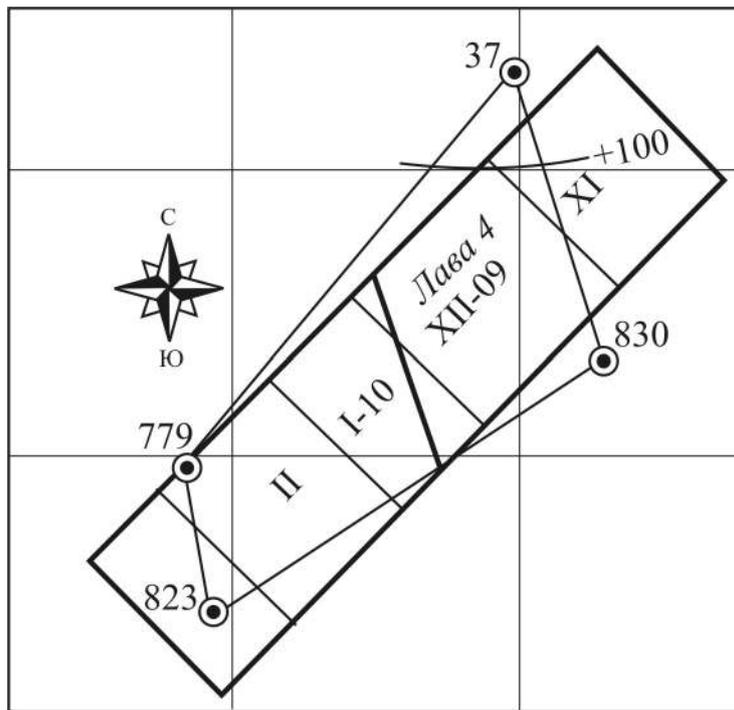


Рис. 5.24. План горных выработок пласта 67 в контуре скважин
779–37–830–852

По приведенным данным (табл. 5.8) можем сделать вывод, что при ожидаемых погрешностях достигающих 10 м отработка ведется в нормальных условиях с максимальной скоростью подвигания очистного забоя, а допустимая погрешность геометризации гипсометрии для запасов категории А равна 10 м.

Поэтому при оценке достоверности пласта 67 можно принять параметры категоризации таким образом, что к категории А (полной разведанности) относятся запасы с погрешностью менее 10 м. С учетом полученного коэффициента перехода от степени неоднозначности к погрешностям K_g данная погрешность соответствует значению лямбда-критерия равного 7 м. В некоторых случаях установленная фактическая погрешность горно-геометрической модели не влияющая на процессы эксплуатации может приводить к снижению предельного значения критерия ниже уровня, используемого при статичном подходе (7 м для категории А).

В качестве примера рассмотрим участок пласта Спутник (рис. 5.25) в пределах которого выделено три подсчетных геологических блока.

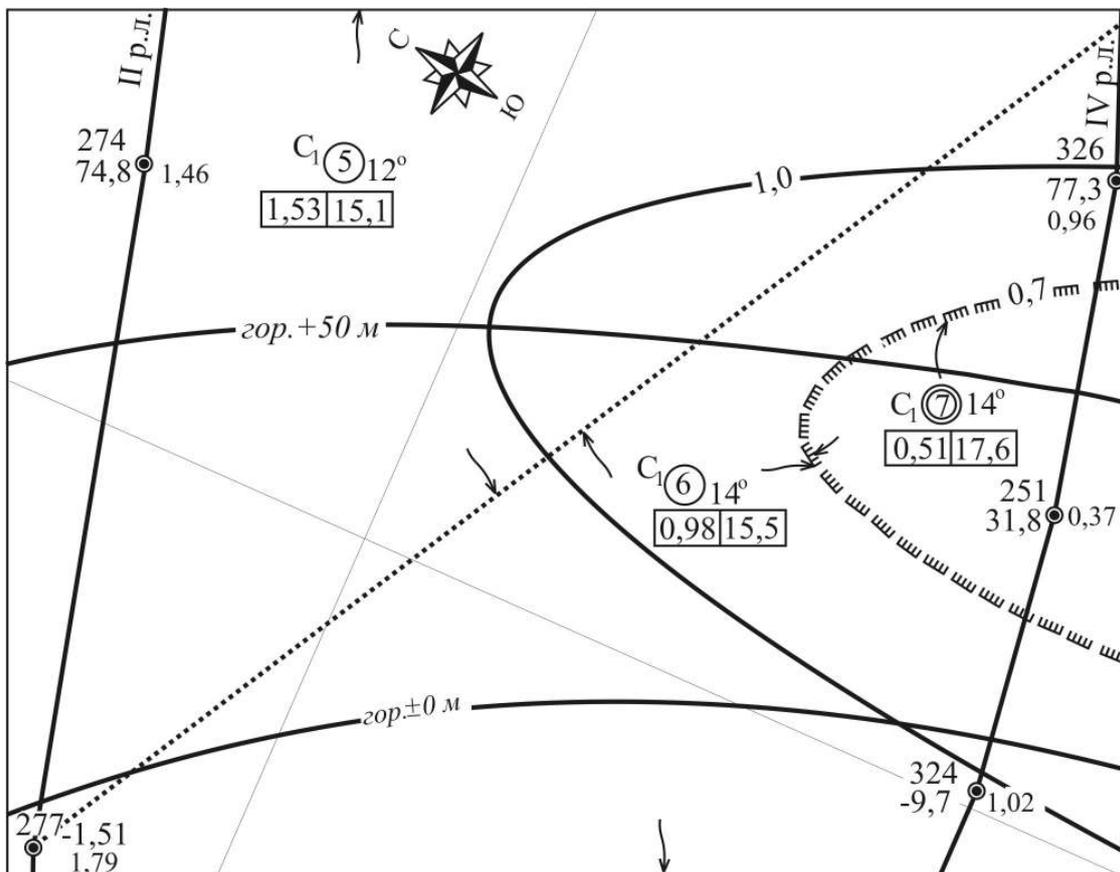
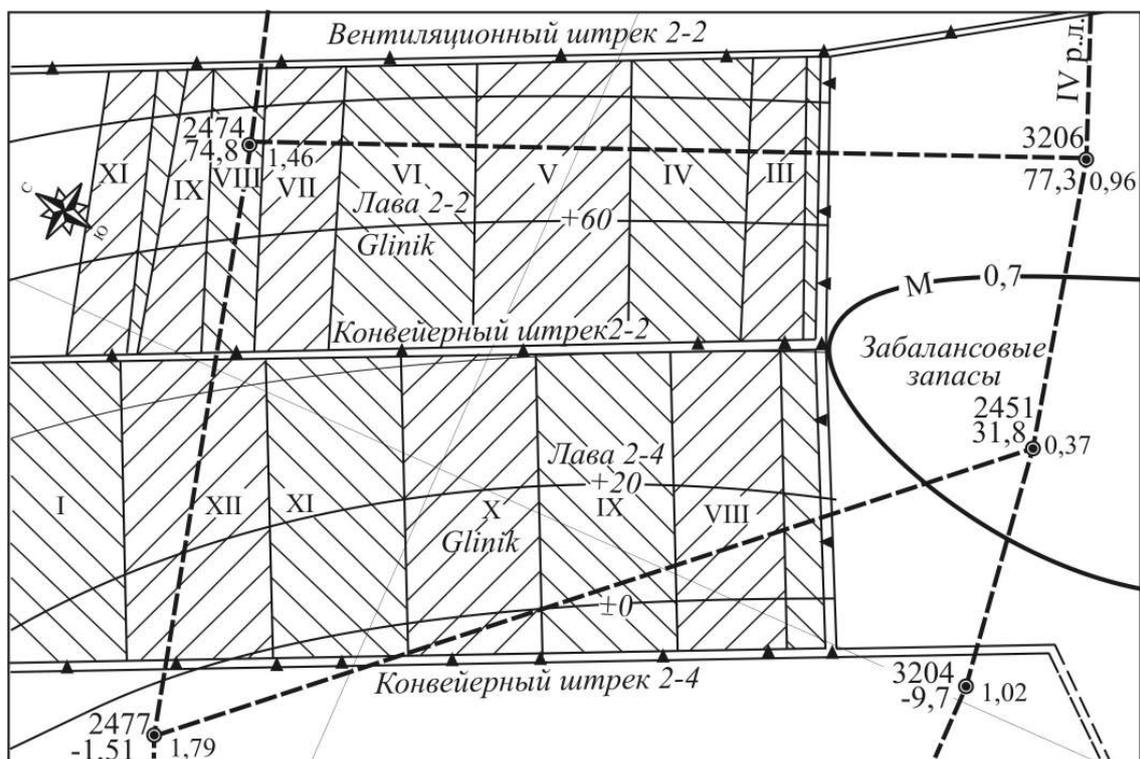


Рис. 5.25. Фрагмент подсчетного плана пласта X поля шахты «Березовская»

Два блока балансовых запасов с выдержанными углами падения пласта (12–14°) выделены по изменчивости мощности пласта, третий блок – забалансовых запасов – имеет границей изолинию мощности 0,7 м.

Фактическая погрешность модели гипсометрии определена по результатам обработки участка двумя лавами 2–2 и 2–4 (рис. 5.26).



Обозначения:

	скважины и границы оценочного блока		замер в горной выработке
	отработанный контур		изогипса почвы пласта по результатам горных работ
	изолиния мощности пласта по результатам горных работ		

Рис. 5.26. Фрагмент плана горных работ пласта Спутник шахты «Березовская»

Система разработки пласта – длинные столбы по простиранию, способ управления кровлей – полное обрушение, механизированный комплекс – *Glinik*. Расчетное плановое подвигание забоя, определенное по формуле (5.13), составило 90 м.

Результаты расчетов критериев разведанности и фактической погрешности гипсометрии почвы пласта по оценочным блокам представлены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Погрешности изучения гипсометрии по оценочным блокам, расположенным в пределах отработанных лав 2-2 и 2-4 пласта X

№ блока	Вершины оценочного блока				Ламбда-критерий, м	Погрешности, м	
	1	2	3	4		фактическая	ожидаемая
1	277	274	326	2451	3,3	4,6	5,0
2	277	274	251	324	2,4	2,8	3,6
3	277	274	241	326	2,2	2,1	3,3

Оценочный блок, выделенный по скважинам 2477–2474–3206–2451, отработан на 80 %. Учитывая, что лавомесяцы II и III лавы 2–2, а также месяц VII лавы 2–4 соответствуют началу отработки, а в VII месяце лавы 2–2 проводились непредусмотренные ремонтные работы, в расчеты их принимать не следует. Месяцы IV, V, VI лавы 2–2, VIII—XII лавы 2–4 имеют отклонение от планового подвигания лав ± 5 %. Следовательно, запасы оценочного блока по фактору степени изученности гипсометрии соответствуют требованиям категории А, так как погрешность определения положения почвы пласта, равная 4,6 м, в рассматриваемых условиях не препятствовала достижению запланированных темпов отработки запасов.

С учетом имеющего место значения коэффициента перехода от критериев к погрешностям (равного в рассматриваемом случае 1,5) следовало бы принять в качестве границы между категориями А и В по фактору изученности гипсометрии величину критерия разведанности равную 3 м. Напомним, что при статическом подходе в этих целях используется критерий, равный 7 м.

В некоторых случаях установленная описываемым образом фактическая погрешность горно-геометрической модели, не влияющая на процессы эксплуатации, может оказаться ниже уровня, используемого при статическом подходе. Подобное явление может наблюдаться в двух неравноправных ситуациях.

Первая из них может возникнуть тогда, когда в пределах участка оценки присутствует два типа контуров, в одном из которых погрешности оказывают, а во втором – не оказывают влияние на эффективность ведения горных работ. В этой ситуации граница между значимой и незначимой погрешностью будет очевидна, и предполагает необходимость ее учета, в том числе и в форме ужесточения требований к погрешности горно-геометрической информацией в сравнении с установленной при реализации статичного подхода. Преимущественно такая ситуация может проявляться в снижении эффективности или даже в невозможности (списании нецелесообразных к отработке запасов) ведения горных работ в связи с малоамплитудной нарушенностью, выклиниванием, замещением и размывами пластов.

Вторая ситуация возникает в случае, когда уровень геологической изученности высок, и по участку вообще отсутствуют контуры, в пределах которых погрешности моделей оказывают негативное влияние на процессы ведения горных работ. В этом случае нет никаких оснований полагать, что и при дальнейшем увеличении погрешностей они приведут к негативным последствиям. Отсюда следует, что в такой ситуации нет никакой необходимости по ужесточению требований к точности модели в сравнении установленными для статичного подхода погрешностями.

Например, для рассмотренного примера по шахте «Талдинская-Западная 1» максимальная фактическая погрешность модели мощности составила 0,32 м при средней вынимаемой мощности 4,2 м, что соответствует относительной погрешности плана изомощностей пласта 8 %. Эта погрешность несколько меньше погрешности рекомендуемой при использовании статичного подхода для категории А (10 %). Однако наблюдаемый уровень погрешности изучения мощности не оказал негативного влияния на процесс отработки запасов.

Участки, в пределах которых степень изучения мощности пласта оказывала негативное влияние по пласту, отсутствуют. Поэтому, в данном случае, в качестве границы между контурами запасов категорий А и В следует сохранить погрешность на уровне 10 %.

Изложенная выше технология установления граничной погрешности применима лишь для определения границы между контурами запасов категорий А и В. Уровень предельной погрешности изучения запасов категории В (контур запасов с повышенным горным риском освоения) устанавливается с учетом ранее принятого отношения значений критериев, являющихся границами между категориями, т. е. путем умножения границы между категориями А и В на коэффициент 1,9. Корректировку значений погрешностей разделяющих категории C_1 и C_2 проводить не рекомендуется.

Распространение полученных в пределах отработанного контура рекомендуемых границ между категориями запасов на еще неотработанные участки правомерно только в случае близости их геологических условий и технологии ведения горных работ. Особое значение доказательство такой правомерности имеет для условий подземной добычи угля, осуществляемой в Кузбассе преимущественно с использованием длинностолбовой системы разработки с оснащением очистного забоя высокопроизводительными механизированными комплексами (около 93 % [89]).

В качестве «строгого» критерия такой правомерности можно рассматривать близость уровня технологичности запасов отрабатываемого и оцениваемого контуров. Традиционно под технологичностью запасов понимают степень соответствия природных условий разработки угольных пластов требованиям наиболее экономичной и эффективной технологии их выемки [51]. Собственно технологичность определяется совокупностью горно-геологических факторов, осложняющих, в зависимости от их проявления или сочетания, процесс угледобычи.

Для целей установления степени технологичности запасов может быть использована разработанная в 1989 году методика [50], которая прошла успешную апробацию в условиях Кемеровского, Анжерского и Ленинского геолого-экономических районов Кузбасса, характеризующихся широким диапазоном изменения горно-геологических условий. Методика ориентирована на количественную оценку технологичности, что повышает уровень объективности формируемых суждений.

Технологичность запасов может быть определена для отдельного элементарного участка (геологический блок, лава, лавомесяц, оценочный блок) угольного пласта. Для получения горно-геологической информации в межскважинном пространстве участка используются способы горно-геометрических построений и литолого-фациальных исследований горных пород кровли и почвы пласта, позволяющие получить топоповерхности горно-геологических факторов с непрерывными их значениями.

На эффективность отработки запасов горно-геологические показатели влияют по-разному; одни из них, в силу величины и изменчивости, оказываются значимыми (информативными), другие незначимыми. Отдельные факторы влияют только в совокупности, то есть менее важны, чем их комбинации. Для выявления значимых факторов применен известный метод поиска информативных комбинаций показателей, обуславливающих различие двух сопоставляемых объектов, охарактеризованных комплексом горно-геологических показателей $(\{X\}, \{Y\})$.

Мерой информативности служит величина

$$Z = \sqrt{\frac{(\bar{x} - \bar{y})^2}{\sigma_z^2}}, \quad (5.14)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y}}, \quad (5.15)$$

где $\bar{x}, \bar{y}, \sigma_x^2, \sigma_y^2, n_x, n_y$ – соответственно средние значения, дисперсии и количество наблюдений в сопоставляемых объектах.

В качестве объектов сопоставления используются массивы с различными по величине технико-экономическими показателями, являющимися критерием эффективности работы комплексно-механизированных забоев (себестоимость тонны добычи, нагрузка на забой, скорость подвигания забоя, производительность труда рабочего, трудоемкость выполняемых процессов).

Корреляционным анализом установлена тесная связь между этими показателями. Коэффициенты корреляции между ними меняются в различных условиях от 0,85 до 0,95 (например, табл. 5.11).

Таблица 5.11

Результаты расчетов парной корреляции
между технико-экономическими показателями
на примере шахты «Березовская» (140 пар)

Уравнение связи	Коэффициент корреляции
$\Pi = 12,2 - 0,03 x_1$	-0,91
$\Pi = 2,2 + 0,17 x_2$	0,86
$\Pi = 120 + 3,2 x_3$	0,96

Примечание: Π – производительность труда рабочего, т/выход; x_1 – себестоимость 1 т угля, руб; x_2 – подвигание забоя, м/месяц; x_3 – нагрузка на забой, т/сут.

Учитывая это, для фрагментации обучающей выборки на объекты сопоставления можно ограничиться одним из показателей. При $Z > 1,96$ (уровень значимости 5 %) фактор считается информативным.

Для определения величины совместного влияния комплекса m горно-геологических факторов в методике [50] используется алгоритм выбора наилучшей комбинации относительно ковариационных матриц, учитывающий одновременно изменчивость факторов. Использование этого алгоритма дает возможность количественно оценить степень влияния каждого фактора отдельно и различных их сочетаний путем вычисления:

– ковариаций

$$\text{cov } x_{ij} = \frac{\sum (x_{ir} - \bar{x}_i)(x_{jr} - \bar{x}_j)}{n_x}, \quad (5.16)$$

– средневзвешенных ковариаций

$$\text{cov } \bar{x}_{ij} = \frac{\text{cov } x_{ij}}{n_x} + \frac{\text{cov } y_{ij}}{n_y}. \quad (5.17)$$

где t, j, r – порядковые номера показателей и наблюдений объекта,

Решение системы уравнений

$$\left\{ \sum_1^m a_i \text{cov } \bar{x} \bar{y}_{ij} \right\} = \{ \bar{x}_i - \bar{y}_i \}. \quad (5.18)$$

позволяет определить величину информативности:

– для одного фактора

$$\rho_1 = \sqrt{a_i (\bar{x}_i - \bar{y}_i)}, \quad (5.19)$$

– для совокупности факторов

$$\rho_m = \sqrt{\sum_1^m a_{m_i} (\bar{x}_i - \bar{y}_i)}. \quad (5.20)$$

Показатель технологичности участка пласта T определяет величина, дополняющая вероятность совместной информативности (ρ_m) до единицы.

Значения технологичности в интервале от 0 до 0,2 характерны для нарушенных участков угольного пласта, когда одновременно с тектонической сложностью проявляются повышенные водопритоки при относительно неустойчивой кровле и низкой несущей способности почвы. Участкам пласта со степенью технологичности более 0,6 соответствует низкая информативность у большинства горно-геологических факторов, при одновременном действии не более двух из них.

В качестве примера рассмотрим результаты оценки технологичности участков пластов (лав, лавомесяцев) по пластам XXI и XII шахты «Березовская», выполненные на основе данных горных работ. Установлены линейные зависимости между показателями технологичности пласта (T) и технико-экономическими показателями работы механизированных забоев.

На рис. 5.27 приведены примеры зависимости нагрузки на очистной забой и производительности труда рабочего на выход от показателя технологичности запасов.

За меру погрешности величин, вычисленных по уравнению связи, может быть принято среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{y/x} = \sigma_y \sqrt{1 - r^2}. \quad (5.21)$$

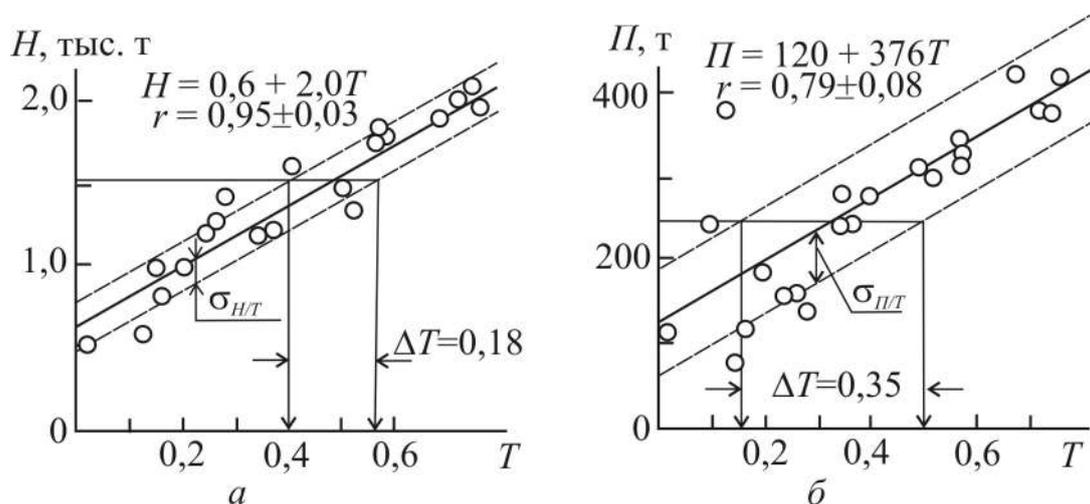


Рис. 5.27. Зависимости технико-экономических показателей от технологичности запасов T : a – нагрузки на очистной забой H ; b – производительности труда рабочего на выход Π

Следовательно, проведя на графике зависимости две параллельные прямые, расположенные на расстоянии $\sigma_{y/x}$ по обе стороны от линии регрессии (расстояние откладывается по вертикали), получим диапазон показателя технологичности, в пределах которого технико-экономический показатель изменяется незначимо, а запасы в пределах этого диапазона технологически и геологически однородны.

Например, для условий рис. 5.27, при $\sigma_H = 0,48$ тыс. т и $\sigma_\Pi = 105$ т с вероятностью 0,68 $\sigma_{H/T} = 0,15$ тыс. т, $\sigma_{\Pi/T} = 65$ т, диапазон изменения технологически однородных запасов ΔT соответственно равен 0,18 и 0,35.

Учитывая незначительные колебания коэффициентов корреляции между технико-экономическими показателями и технологичностью запасов (0,7–0,95), среднее значение ΔT можно принять равным 0,3.

Наглядно характер изменения технологичности на площади пласта представляет ее топоповерхность (рис. 5.28).

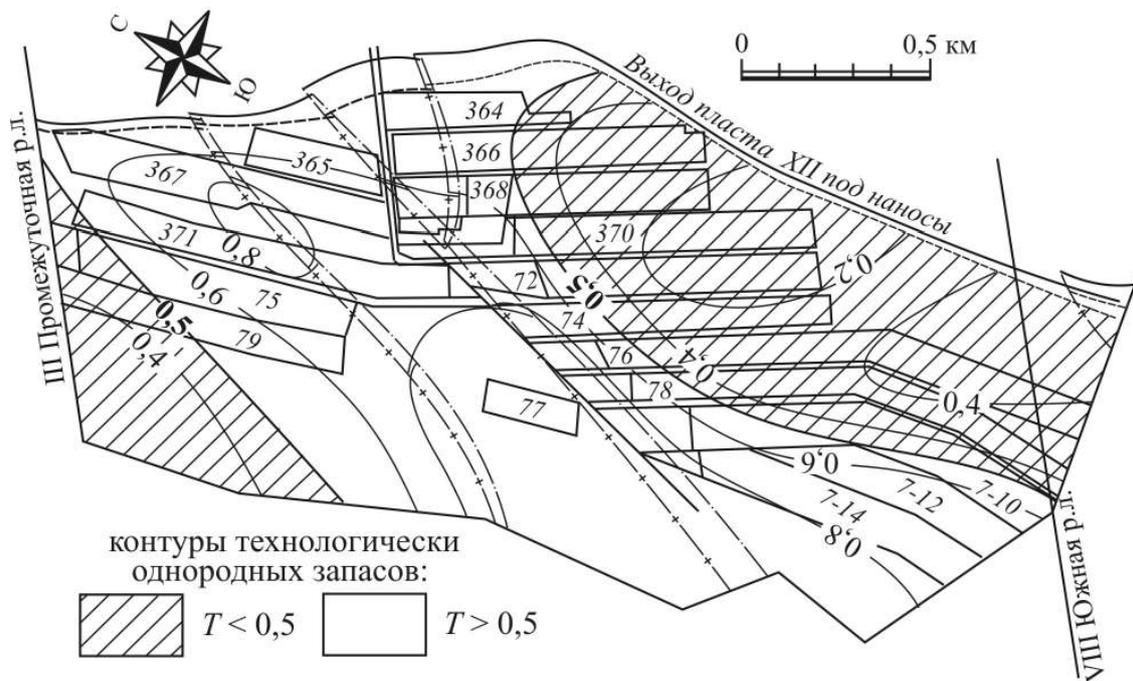


Рис. 5.28. Фрагмент топофункции технологичности угольного пласта: величина сечения изолиний технологичности 0,2

Выделять технологически однородные запасы следует, начиная с верхней границы показателя технологичности. На рис. 5.28 такой границей является изолиния 0,2.

При ΔT равном 0,3 запасы между изолиниями 0,2–0,5 и 0,5–0,8 следует считать технологически однородными, и в расчеты коэффициентов перехода K_g и K_p принимать оценочные блоки в пределах выделенного участка.

Выполненные расчеты и построения топофункций технологичности запасов достаточно трудоемки. Поэтому для объектов относительно низкой и постоянной сложности на практике допустимо использовать более простой подход. Он состоит в выделении в пределах участка недр контуров с близкими геологическими условиями (углами падения, мощностями, степенью нарушенности и т. д.), отработка которых предусмотрена по одинаковым технологическим схемам.

Такие контуры могут признаваться равно технологичными и использоваться как для обучения, так и для прогноза. Дополнительным критерием однородности геологических условий могут служить близость значений критериев разведанности в пределах участков обучения и прогноза, полученные при сопоставимой плотности сети разведочных скважин.

5.11. Общая схема мониторинга достоверности запасов

Проведенные исследования технологии выполнения количественной оценки достоверности в динамичном режиме явно указывают на необходимость периодической корректировки получаемых зависимостей по мере развития фронта горных работ, накопления данных и изменения сложности геологического строения объекта оценки. Все это указывает на то, что динамичная оценка должна выполняться в режиме мониторинга.

Реализация этого пути состоит в организации на предприятии мониторинга достоверности запасов на основе постоянного учета и корректировки оценки достоверности запасов по мере развития горных работ. Такой порядок и последовательность действий полностью отвечает понятию мониторинга как такового, т. к. включает в себя все три его компонента (наблюдения, анализ и прогноз) и постоянно реализуется по мере развития горных работ, непрерывно актуализируя технологию оценки достоверности запасов.

Задачами мониторинга являются:

- адаптация методики количественной оценки достоверности запасов к горно-геологическим условиям конкретного участка недр;
- установление допустимого уровня погрешности геологической информации для условий конкретного участка недр и принятой технологии его отработки.

В отличие от предлагаемого мониторинга достоверности запасов, нормативно регламентированный мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых оперирует лишь вторичными признаками, предусматривая только учет движения запасов полезных ископаемых и потерь при их добыче и переработке [75]. Совершенно ясно, что первопричиной таких составляющих движения запасов, как не подтверждение и списание нецелесообразных к отработке запасов ранее признанных балансовыми (экономическими), является недостаточная точность геометризации. Рассмотрение и учет этой точности мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых не предусматривает.

Однако статья 23 действующего Федерального закона «О недрах» предусматривает, что к числу основных, предъявляемых к недропользователю требований по рациональному использованию и охране недр относится обеспечение полноты геологического изучения и проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку запасов полезных ископаемых или свойств участка недр, предоставленного в пользование в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых.

Представляется, что реализовать эти требования горного законодательства без организации постоянно действующего полномасштабного мониторинга достоверности запасов невозможно.

В силу этого можно утверждать, что предлагаемый вид мониторинга полностью отвечает государственным требованиям к организации недропользования.

Общая схема ведения мониторинга (рис. 5.29) предусматривает работу с геологическими материалами как по отработанной, так и по еще только намеченной к отработке частям горного отвода.

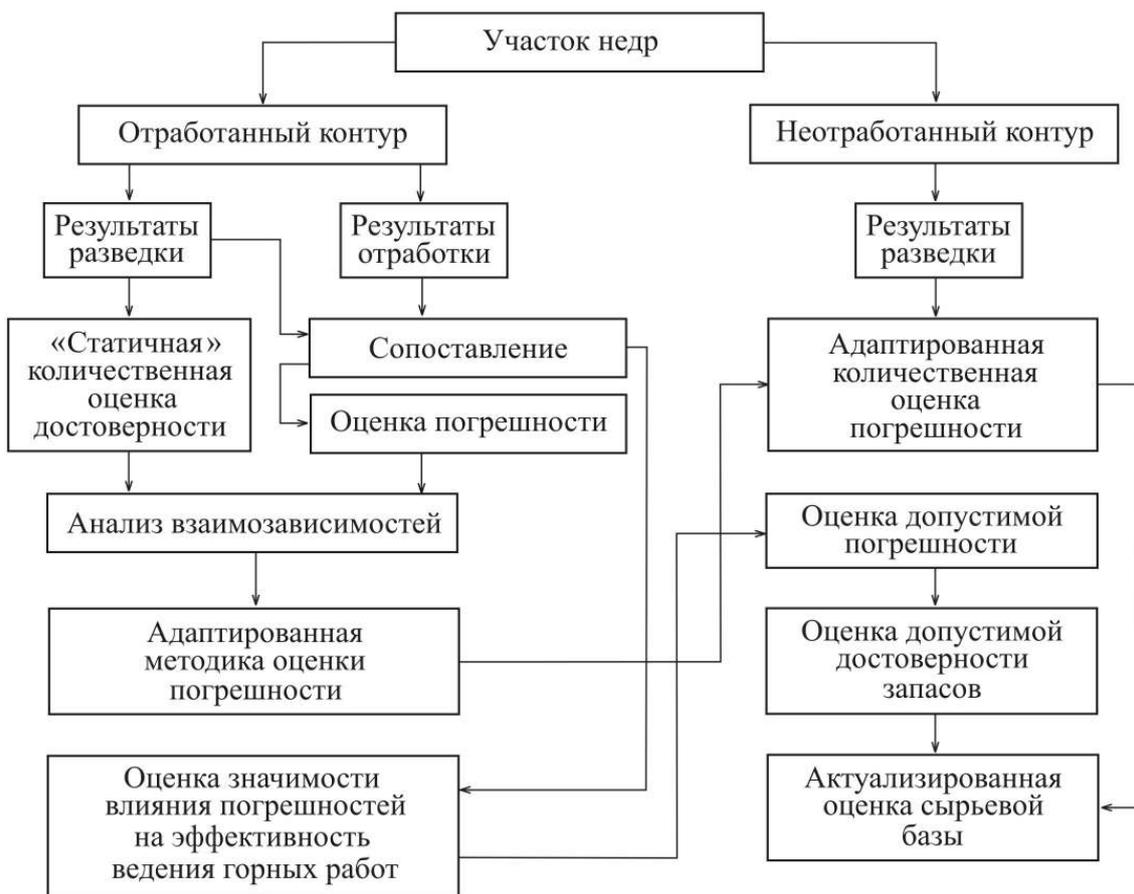


Рис. 5.29. Схема мониторинга достоверности запасов

В ее рамках производится количественная оценка достоверности только разведочных данных, а затем оценка достоверности этих же данных на основе их сопоставления с результатами горных работ. В результате выявляются закономерности ранее рассмотренного вида, позволяющие осуществить переход от значений критериев разведанности к погрешностям, т. е. формируется адаптированная к участку недр методика количественной оценки достоверности запасов.

Кроме того, анализ результатов сопоставления горных и разведочных работ должен выявить приемлемый для объекта уровень погрешностей геологической информации, т. е. учесть особенности принятой технологии ведения горных работ и сформировавшейся на предприятия технической культуры производства.

В результате реализации описанной схемы действий будут получены ответы на два основных вопроса: как правильно оценить достоверность геологоразведочных данных, и каков уровень их допустимой погрешности для условий конкретного участка недр?

Сформированная с использованием данных горных работ методика оценки впоследствии применяется к геологоразведочным данным, имеющимся по еще неотработанной части участка недр, в результате чего качество оценки его запасов повышается.

В процессе мониторинга должны быть выполнены следующие виды работ:

- расчет количественных критериев разведанности уже отработанного контура с использованием только данных геологоразведочных работ;

- установление фактической погрешности геологоразведочных данных в пределах отработанного контура на основе их сопоставления с материалами горных работ;

- установление характерных для рассматриваемого участка недр эмпирических коэффициентов перехода от количественных критериев разведанности к ожидаемым погрешностям геологических моделей (выполнение анализа имеющих место закономерностей и их использование для адаптации методики оценки погрешности);

- оценку значимости влияния погрешностей геологической информации на эффективность ведения горных работ;

- применение адаптированной методики оценки достоверности к геологоразведочным данным, полученным по еще неотработанной части участка недр.

Содержание и порядок выполнения всех перечисленных видов работы уже были подробно рассмотрены.

Информационной основой мониторинга являются данные, полученные в процессе разведки и разработки месторождения.

Определение фактических погрешностей горно-геометрических моделей в процессе мониторинга достоверности запасов становится возможным при наличии наблюдений: замеров в горных выработках высотных отметок положения почвы или кровли пласта, мощности пласта и отборе проб для определения качественных и физико-механических свойств угольного пласта.

Такие наблюдения обязательно включают привязку, линейные и угловые измерения, зарисовки, отбор образцов и проб угля и пород, их натурные экспресс-испытания. Наблюдения проводят в капитальных, подготовительных, очистных и разведочных выработках.

Сеть и детальность наблюдений определяются назначением горной выработки, сложностью геологического строения участка, применяемой технологией разработки. «Инструкция...» [16] устанавливает максимально допустимые интервалы наблюдений по горным выработкам, но в зависимости от конкретных условий сеть наблюдений может сгущаться. Независимо от принятой регулярной сети геологические наблюдения в выработках обязательно проводятся при изменениях горно-геологических условий.

Поскольку в процессе мониторинга достоверности запасов предполагается использование замеров, выполняемых геолого-маркшейдерской службой предприятия в соответствии с действующими нормативными требованиями, для его осуществления нет необходимости в выполнении дополнительных наблюдений и измерений, а, следовательно, и дополнительных затрат труда и средств.

В качестве данных для производства количественной оценки достоверности используются результаты геологоразведочных работ, порядок сбора и подготовки которых был детально рассмотрен при рассмотрении статичного подхода к оценке.

Однако при определении фактической погрешности горно-геометрических моделей подлежащих оценке характеристик возникают проблемы связанные с существующими требованиями к содержанию геологической информации.

Напомним, что оценка фактической погрешности геологоразведочной модели гипсометрии пласта выполняется либо путем сравнения двух систем изогипс, построенных на стадии разведки и эксплуатации, либо путем сравнения результатов точечных измерений в горных выработках с ожидаемыми в них отметками, определенными по системе «геологических» изогипс.

Однако этот подход совершенно не применим к оценке таких показателей как мощность, зольность и иных показателей качества угля. Это связано с тем, что существующие требования не предусматривают необходимость построения изолиний перечисленных признаков при подготовке геологических отчетов. Такие изолинии строятся крайне редко, фрагментарно и только в том случае, если они являются границами контуров распространения балансовых и забалансовых запасов, т. е. изолиниями кондиционных значений. Собственно характер топографической поверхности признаков они не отражают.

При этом не следует считать, что геометризация мощности и показателей качества при подготовке геологических отчетов в России не выполняется. Для этого фактически используется крупноблочная модель этих признаков. Ее сущность состоит в том, что в целях подсчета запасов вся площадь пласта разбивается на однородные фрагменты – подсчетные геологические блоки, запасы которых могут достигать годового объема добычи предприятия. Для каждого такого подсчетного блока выполняется расчет средних значений мощности и зольности (а, при необходимости, и иных показателей качества), которые условно полагаются неизменными в их пределах.

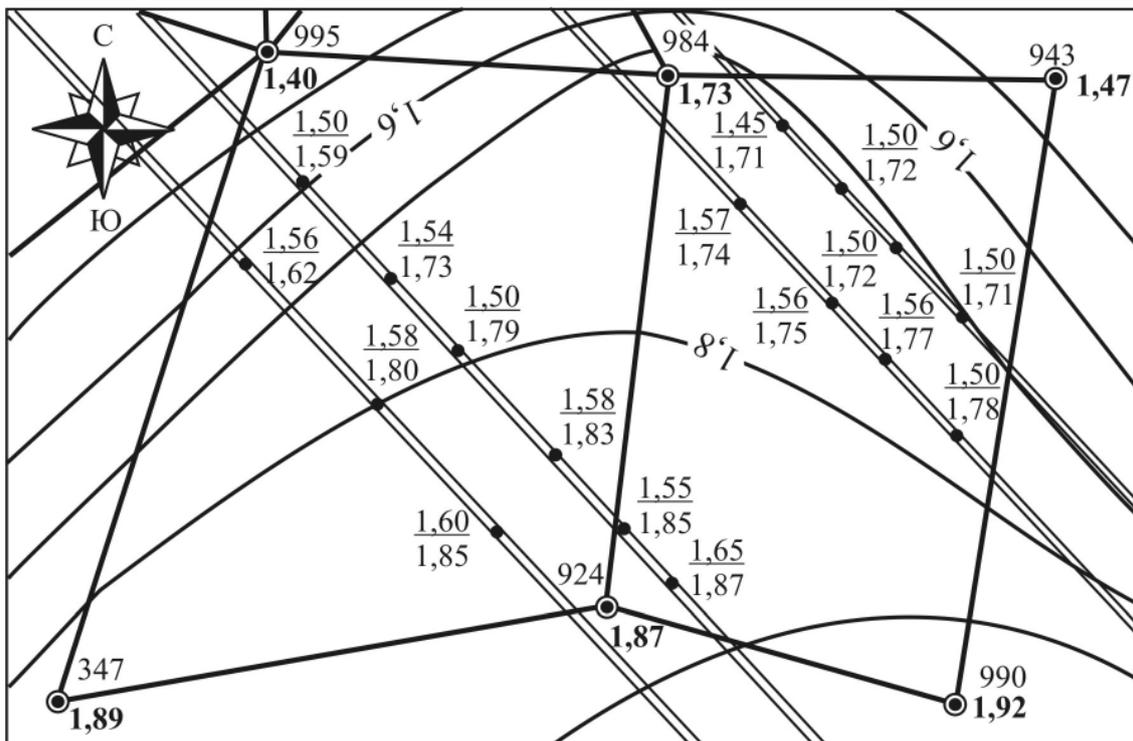
Разумеется, применение крупноблочных моделей для выполнения сопоставления данных горных и разведочных данных является нежелательным. Гораздо более предпочтительными являются модели в изолиниях. В связи с этим перед производством сопоставлений необходимо осуществить построения горно-геометрической модели признака в изолиниях с помощью широко известных методов [55]. Такие модели следует выполнять только по данным геологоразведочных скважин либо на специально подготовленной основе, либо на подсчетном или структурном плане, входящем в состав графических материалов геологического отчета. Построение модели на основе плана горных работ недопустимо, поскольку наличие на нем данных о значении признака по данным шахтных измерений неизбежно приведет к их, пусть даже неосознанному учету, что внесет нежелательные погрешности в отстраиваемую модель.

Впоследствии, по построенной по данным разведки модель в изолиниях и данным замеров в горных выработках, может быть определена погрешность этой модели по каждому оценочному четырехугольнику сети скважин (рис. 5.30).

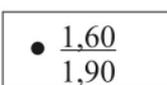
Однако, как уже отмечалось, построение модели в изолиниях допустимо только при условии правомерности интерполяции признака в межскважинном пространстве.

В случае если такая правомерность отсутствует, в качестве оцениваемой геологической модели следует принимать крупноблочную модель. В этом случае, при оценке погрешности значение признака в точке производства измерений (опробования) в горных выработках должно сопоставляться со средним значением признака по геологическому подсчетному блоку, в пределах которого она расположена.

Допустимым представляется также использование в качестве сопоставляемой геологической модели блочной модели, построенной известными методами геостатистики, но лишь в случае, если она использовалась в качестве основы проектирования горных работ.



Обозначения:



положение замера мощности в горной выработке:
в числителе - значение мощности по данным горных работ;
в знаменателе - по плануизомощностей

Рис. 5.30. Графическая основа оценки погрешности горно-геометрической модели размещения мощности угольного пласта

При выполнении мониторинга достоверности запасов рекомендуется сохранять и систематизировать все полученные промежуточные сопоставления, результаты и обобщения, которые могут использоваться в качестве объективной доказательной базы при национальном и международном аудите запасов.

В качестве инструмента реализации мониторинга достоверности запасов предлагается использовать специальную компьютерную программу «MDZ», реализующую в своих модулях все необходимые вычислительные процедуры.

Результаты мониторинга достоверности запасов могут и должны быть использованы по целому ряду направлений, основные из которых будут рассмотрены ниже.

6. Направления использования результатов мониторинга достоверности запасов

6.1. Использование принципов мониторинга при подготовке геологического отчета с подсчетом запасов

Как уже отмечалось, с января 2008 года в России введена в действие новая классификация запасов и ресурсов твердых полезных ископаемых [19]. Она во многом повторяет ранее используемые в нашей стране подходы и решения, однако имеет и ряд существенных отличий от предыдущих классификаций. Первое из них состоит в наличии требования о том, что «при квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя должны использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров». В настоящее время в этих целях на угольных месторождениях преимущественно используются статичные подходы к оценке достоверности, реализуемые рекомендованными ФГУ «ГКЗ» методическими рекомендациями [88].

Однако в случае, когда геологический подсчет запасов выполнен в границах горного отвода уже действующего предприятия, возникает возможность применения для оценки достоверности результаты мониторинга достоверности запасов описанного в предыдущей главе. Правовой основой его использования являются содержащиеся в действующих «Методических рекомендациях по применению Классификации запасов... (угли и горючие сланцы)» [30] требования о том, что на разрабатываемых месторождениях для контроля за полнотой отработки ранее утвержденных запасов и обоснования достоверности подсчитанных новых запасов производится сопоставление данных разведки и эксплуатации соответствии с «Методическими рекомендациями...» [31].

В свою очередь рекомендации [31] предусматривают возможность распространения результатов сопоставления данных разведки и разработки, проведенного по отдельным участкам полезных ископаемых, на неотработанные части месторождения (в том числе для оценки нижних горизонтов и флангов). Таким образом, практическое применение результатов мониторинга достоверности запасов вполне допустимо и не противоречит действующему нормативному обеспечению.

Вторая особенность «Классификации...» [19] состоит в том, что в ней сохранено новое понимание содержания категорий запасов А и В, впервые введенное «Классификацией...» [21] 1997 года, во многом до сих пор не осознанное геологическим сообществом. Все ранее действовавшие классификации, например [17, 20], полагали, что запасы месторождений в пределах участков первоочередной отработки обязательно должны иметь высокую детальность изучения. В этом и заключалось основное назначение высоких категорий разведанности А и В. Без исполнения этого условия разведанные месторождения не могли признаваться подготовленными для промышленного освоения. Более того, минимально допустимая процентная доля запасов высоких категорий даже регламентировалась.

Вместе с тем за высокими категориями признавалась и методическая функция: полученная по детально изученным участкам информация предназначалась также для оценки достоверности подсчетных параметров, принятых при подсчете запасов на остальной части месторождения. По сути, участок детализации – это участок с избыточной плотностью разведочной сети, наличие которого позволяет создать, как минимум, два варианта горно-геометрической модели: с использованием всех имеющихся скважин и только их части, отвечающей плотности сети по остальной части объекта. Сравнение этих вариантов модели и позволяет сформировать суждения о достоверности подсчетных параметров.

Однако главным при этом все-таки являлось обеспечение высокой достоверности запасов участков первоочередной отработки. Достижение высокого уровня достоверности запасов на участках первоочередной отработки являлось обязательным, тогда как создание специальных участков детализации – только, если участки первоочередной отработки были не характерны для всего месторождения.

Современная классификация запасов [19] трактует запасы высоких категорий совершенно иначе. Запасы категории А выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений первой группы сложности геологического строения, категории В выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений первой и второй групп сложности геологического строения. Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений первой, второй и третьей групп сложности геологического строения, а также могут выделяться на участках детализации месторождений четвертой группы сложности (напомним, что угольные месторождения по сложности геологического строения делятся только на три группы). При этом участки детализации на месторождениях третьей группы сложности также представлены запасами категории C_1 , но сеть разведочных скважин на них рекомендуется [30] сгустить не менее чем в два раза по сравнению с принятой для оценки запасов категории C_1 по основной части участка.

Следовательно, в настоящее время участки детализации создаются и выделяются исключительно в методических целях и не имеют никакого отношения к обеспечению высокой степени разведанности участков первоочередного освоения. Изменение сущности высоких категорий запасов автоматически привело к исключению необходимости регламентации величины их доли в общих запасах месторождения и к необходимости повышения качества оценки достоверности запасов, выразившейся в обязательном применении количественных методов разведанности.

Справедливости ради следует заметить, что участки детализации, по возможности, рекомендуется размещать в контуре, намеченном к первоначальной отработке [30].

Полученная по участкам детализации информация предназначена для подтверждения соответствия принятой методики разведки, геометрии и плотности разведочной сети, изменчивости и достоверности параметров, принятых при подсчете запасов на остальной части месторождения, и условий разработки месторождения в целом [30].

Таким образом, наличие в пределах разведанного участка недр зоны детализации позволяет реализовать по нему динамический подход к оценке достоверности.

Рассмотрим применение такого подхода на примере оценки достоверности запасов пласта «Полысаевский II» по фактору изученности его мощности в пределах геологического участка «Поле шахты «Красноярская». На рис. 6.1, *а* показан фрагмент разведочной сети, в северной части которого имеется явно выраженный участок детализации.

Для «настройки» метода оценки достоверности в его пределах выполнено квадриангулирование сети. В результате выделено 19 оценочных блоков (рис. 6.1, *б*), результаты расчета дельта критериев по которым приведены в табл. 6.1.

Затем в контуре скважин участка детализации в пределах квадриангулированной зоны построены изолинии равных значений мощности с использованием данных всех имеющихся скважин (рис. 6.3, *а*). Предварительно была подтверждена правомерность интерполяции мощности между точками пластоподсечений, т. е. собственно, построения изолиний.

Рациональное сечение изолиний определено с помощью методики [81] (рис. 6.2).

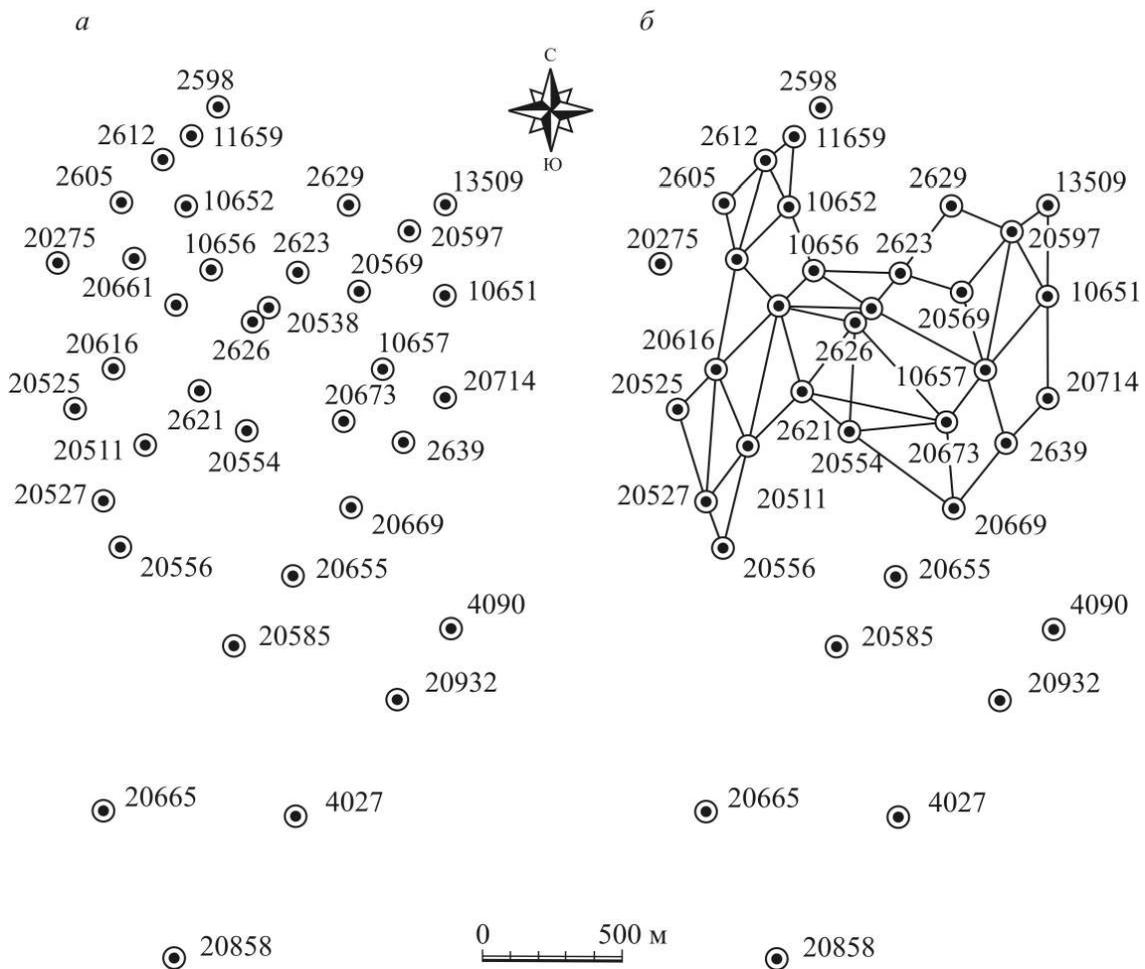


Рис. 6.1. Фрагмент разведочной сети по пласту Полысаевский II:
a – общая схема; *б* – квадрангулирование сети на участке детализации

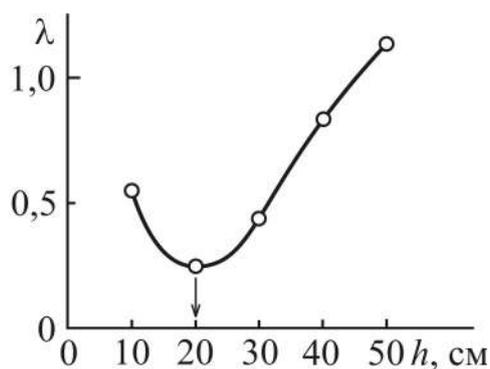


Рис. 6.2. Выбор оптимального сечения изолиний мощности

После разрезания сети скважин по участку детализации до плотности, характерной для основной сети, выполнено повторное построение изолиний мощности.

Таблица 6.1

Результаты расчета дельта-критериев разведанности по оценочным блокам участка детализации

№ п/п	Номера скважин – вершин оценочных блоков				Критерий разведанности Δ , м
	1	2	3	4	
1	2629	20597	20569	2623	0,75
2	20569	20597	10651	10657	0,97
3	10657	2639	20714	10651	0,09
4	10657	20673	20669	2639	0,12
5	20538	2623	20569	10657	0,38
6	2626	20538	10657	20673	0,69
7	10656	2623	20538	20639	0,51
8	10656	20538	2626	20639	0,70
9	20661	10652	10656	20639	0,27
10	2605	2612	10652	20661	0,03
11	2612	11659	10652	20661	0,13
12	2621	20554	2626	20639	0,63
13	2621	2626	20673	20554	0,53
14	20554	20669	20673	2626	0,52
15	20597	13509	10651	10657	1,68
16	20639	20616	20511	2621	0,01
17	20616	20661	20639	20511	0,48
18	20616	20525	20527	20511	0,17
19	20527	20556	20511	20616	0,07

Естественно, что построенная только по части имеющихся данных модель размещения мощности имеет несколько иной вид (рис. 6.3, б) и не совпадает с построенной по всем данным (рис. 6.3, а).

Разность между этими двумя вариантами топографических поверхностей мощностей представляет собой топоповерхность погрешностей.

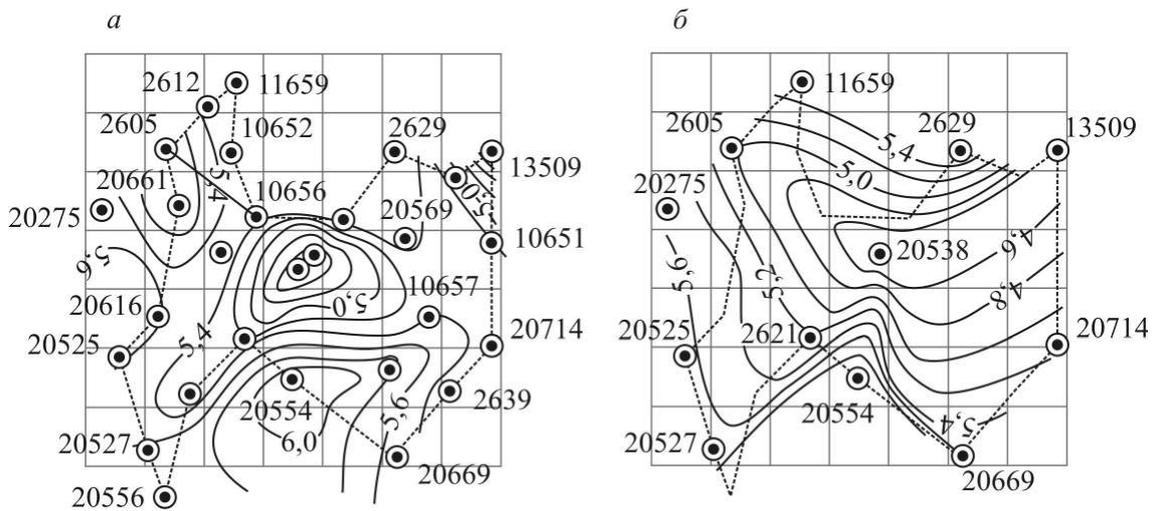


Рис. 6.3. Изолинии мощности пласта «Полысаевский II»
в пределах участка детализации:

- a* – построенные с использованием всех скважин;
- б* – построенные по разреженной сети

Для ее построения на обе модели «набрасывается» однотипная сетка (рис. 6.3), в узлах которой определяются значения мощности по обеим моделям и разность между ними (взятая по абсолютной величине). Используя построенную таким образом регулярную цифровую модель погрешностей, можно выполнить построение изолиний погрешности (рис. 6.4).

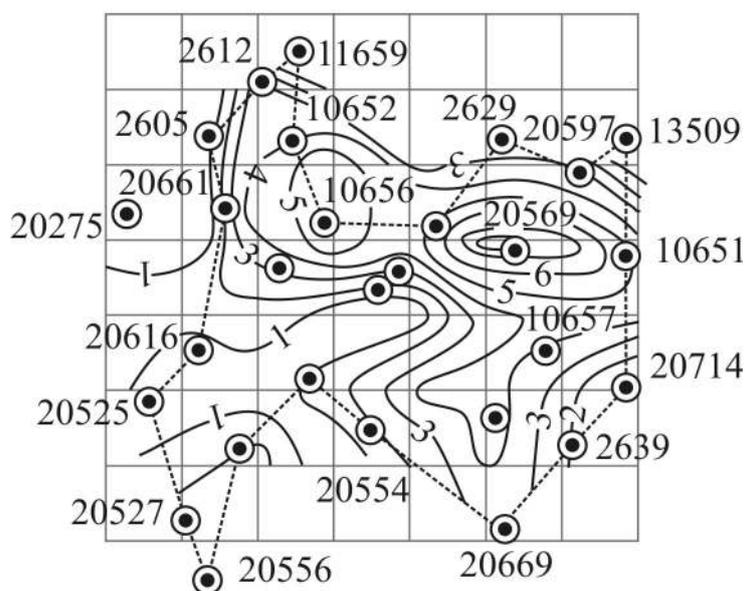


Рис. 6.4. Изолинии погрешности мощности, выраженной в дециметрах

Необходимо подчеркнуть, что при преобразовании цифровой модели погрешности в графическую для построений изолиний не следует использовать узлы, находящиеся вблизи скважин одновременно присутствующих в сравниваемых моделях изомощностей. Это связано с тем, что в окрестностях таких скважин модели будут совпадать полностью.

По результатам построенной системы изолиний погрешностей для каждого оценочного блока определяется соответствующая ему средняя погрешность. Для этого внутри блока размещаются несколько узлов (показаны на рис. 6.5 в виде «крестов»), в каждом из которых, путем интерполяции между изолиниями находят значения погрешностей, а затем их искомое среднеквадратическое значение.

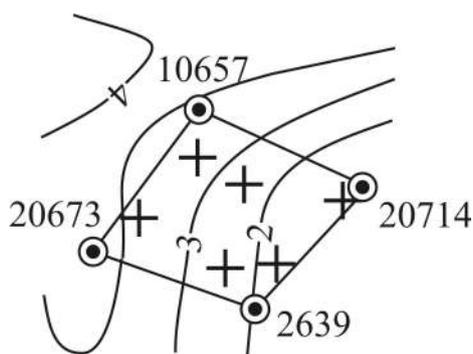


Рис. 6.5. Определение среднеквадратической погрешности модели размещения мощности в контуре оценочного блока

Размещение узлов следует осуществлять равномерно относительно изолиний под условием, что на каждый из них будет приходиться примерно одна и та же площадь контура оценочного блока.

После завершения расчетов формируется таблица, аналогичная ранее приведенной таблице 5.1 (табл. 6.2).

При этом, учитывая указанные в предыдущей главе соображения, явно заниженные значения критериев (меньшие 0,20 м) по оценочным блокам №№ 3, 4, 10, 11, 16, 18 и 19 заменены на 0,20 м.

Таблица 6.2

Расчет коэффициента K_p для условий оценки мощности
пласта «Полысаевский II»

№ п/п	Критерий разведанности Δ , м	Погрешности, м				
		фактиче- ская R_F	расчетная R при коэффициенте K_p			
			0,5	1,0	1,2	1,5
1	0,75	0,58	0,38	0,75	0,90	1,13
2	0,97	0,68	0,49	0,97	1,16	1,46
3	0,20	0,29	0,10	0,20	0,24	0,30
4	0,20	0,31	0,10	0,20	0,24	0,30
5	0,38	0,61	0,19	0,38	0,46	0,57
6	0,69	0,3	0,35	0,69	0,83	1,04
7	0,51	0,43	0,26	0,51	0,61	0,77
8	0,70	0,45	0,35	0,70	0,84	1,05
9	0,27	0,42	0,14	0,27	0,32	0,41
10	0,20	0,29	0,10	0,20	0,24	0,30
11	0,20	0,24	0,10	0,20	0,24	0,30
12	0,63	0,25	0,32	0,63	0,76	0,95
13	0,53	0,32	0,27	0,53	0,64	0,80
14	0,52	0,33	0,26	0,52	0,62	0,78
15	1,68	0,66	0,84	1,68	2,02	2,52
16	0,20	0,21	0,10	0,20	0,24	0,30
17	0,48	0,19	0,24	0,48	0,58	0,72
18	0,20	0,15	0,10	0,20	0,24	0,30
19	0,20	0,14	0,10	0,20	0,24	0,30
Число блоков, для которых $R_F \leq R$			4	12	14	16
Эмпирическая вероятность того, что $R_F \leq R$			0,21	0,63	0,74	0,84

Уровень 0,20 м принят, исходя из того, что критерии теоретически не должны быть меньше уровня, обусловленного влиянием технических погрешностей измерений в скважинах.

Оценивая эту погрешность в 0,1 м с учетом процедуры вычисления критериев (интерполяция по двум диагоналям) минимальное значение критерия следует принять на уровне двух погрешностей измерений, т. е. именно в 0,20 м.

По результатам расчетов, выполненным в табл. 6.2, осуществляется построение графика зависимости эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную от принятой величины коэффициента пропорциональности K_p (рис. 6.6).

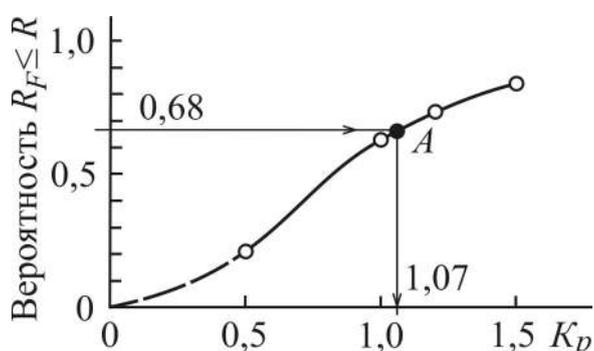


Рис. 6.6. Зависимость эмпирической вероятности того, что фактическая погрешность не превысит расчетную, от принятой величины коэффициента пропорциональности K_p (к условиям примера, приведенного в табл. 6.2)

На основании полученного графика установлено, что для условий пласта «Полысаевский II» коэффициент пропорциональности между степенью неоднозначности (критерием разведанности Δ) и погрешностью модели мощности пласта следует принять равным 1,1 при заданной вероятности получения правильной оценки 0,68.

Таким образом, по результатам учета данных участка детализации для условий пласта «Полысаевский II» при оценке достоверности изучения его мощности рекомендуется использовать уточненное значение коэффициента K_p равное 1,1 вместо среднебассейнового значения 1,3.

Наблюдаемое в примере различие в двух указанных величинах коэффициента K_p мало значимо с практической точки зрения, но в отдельных случаях это отличие достигает 2–3 раз.

Разумеется, приведенная схема реального использования данных, полученных по участку детализации, выглядит трудоемкой и затратной. Однако это не так. Общие расходы на выполнение работ по приведенному примеру соответствуют затратам на проведение всего лишь 0,5 м разведочной скважины (с учетом проведения всех видов исследований и испытаний) или от 4 до 10 см штрека, закрепленного анкерами. Учитывая то, что подобные исследования направлены на исключение в будущем форс-мажорных явлений на стадии ведения добычных работ, связанных с возникновением «бросовых» выработок, расхождения плановых и фактических эксплуатационных затрат и внепланового ремонта оборудования, такие затраты нельзя признать сколько-нибудь значимыми.

Следует отметить, что в условиях отсутствия института материальной ответственности геологоразведочных организаций за качество результатов геологического изучения недр их экономические интересы во многом отличаются от интересов угледобывающих предприятий. Геологоразведочные организации заинтересованы в максимальном сокращении своих издержек даже в угоду снижению возможно достижимого качества камеральных работ.

Отсюда следуют наблюдаемые случаи применения различных компьютерных систем моделирования в ситуациях, не отвечающих условиям их применения. Добывающие организации, наоборот, фактически заинтересованы в высоком уровне геологической информации, поскольку их финансовые потери от «ошибок» геологоразведки, многократно превышают затраты на углубленный анализ геологоразведочных данных.

Однако такое понимание значимости геологического обеспечения со стороны добывающих компаний наблюдается пока далеко не всегда, что связано с недостаточным уровнем междисциплинарной подготовки их руководящих и инженерных работников.

В настоящее время к числу реальных стимулов, побуждающих геологоразведочные организации к обеспечению максимально возможного качества выполнения работ, относятся, помимо обязательности исполнения государственных стандартов, норм и правил, необходимость формирования конкурентных преимуществ на рынке услуг и соблюдение морально-этических норм профессионального поведения специалистов.

Известные предложения о защите интересов недропользователей путем введения института материальной ответственности геологов за достоверность результатов их работ представляются спорным. Практически введение такого механизма обернется против недропользователя. Во-первых, поскольку источником оплаты штрафных санкций могут являться только собственные средства геологоразведочных предприятий, они будут вынуждены фактически заранее создавать, естественно за счет недропользователей, специальные страховые фонды. Во-вторых, для снижения вероятности возникновения штрафных исков геологоразведочные предприятия будут вынуждены не только производить переразведку объектов, но и скрыто закладывать в проекты значительный объем заверочных работ. Все это неминуемо приведет к непроизводительному росту затрат недропользователей на геологоразведочные работы [84].

Гораздо выгоднее строить взаимоотношения между производителями и потребителями геологоразведочной информации на основе заранее сформулированных требований к уровню изученности (перечень изучаемых характеристик) и разведанности (достоверность изучения характеристик) запасов.

Причем сама оценка достижения оплачиваемого уровня разведанности должна осуществляться на основе объективных количественных критериев разведанности, рассчитываемых по материалам разведки и обеспечивающих однозначность интерпретации.

При такой постановке вопроса, геологоразведочные организации будут сами заинтересованы в создании участков детализации и глубоком анализе полученных на них результатов, в качестве инструмента которого может выступать описанная выше технология.

6.2. Использование результатов мониторинга при подготовке публичных отчетов горнопромышленных компаний о ресурсах и запасах угля в соответствии с общими критериями, принятыми мировым горным сообществом

Для того чтобы понять, какие последствия имеет введение государственных требований по обязательной количественной оценке достоверности запасов для последующей оценки стоимости бизнеса, следует обратиться к мировой практике оценки состояния минерально-сырьевой базы горной промышленности. Ключевыми документами, определяющими стоимостную оценку ее состояния при выходе предприятия на IPO, котировке акций, при получении банковских кредитов и т. д., являются так называемые отчеты горнопромышленных компаний о минеральных ресурсах и запасах, находящихся в распоряжении горнодобывающей компании.

В подавляющем большинстве случаев такие отчеты формируются с использованием шаблона CRIRSCO (аббревиатура от «Combined Reserves International Reporting Standards Committee» – «Объединенный Комитет по международным стандартам отчетности о запасах»), действующая редакция которого была принята в 2006 году [97].

Общая капитализация горнопромышленных компаний, котирующих свои акции на фондовых биржах стран, применяющих этот шаблон, оценивалась в 2006 году более чем в 80 % от общемирового горнопромышленного капитала, прошедшего биржевой листинг и продолжает неуклонно увеличиваться.

Сырьевая база угольных компаний Кузбасса преимущественно оценивается по относящемуся к семейству CRIRSCO кодексу JORC [94], который используют британская «IMC Economic and Energy Consulting» и первая в мире универсальная консультационная компания «SRK Consulting» из Южной Африки.

В стандартах отчетности семейства CRIRSCO используются два основных понятия: «минеральные (угольные) ресурсы» («*mineral resources*») и «рудные (угольные) запасы» («*ore reserve*»), которым, по российской терминологии, соответствуют понятия «балансовые запасы» и, в целом, «промышленные запасы».

Отличие российских промышленных запасов от зарубежных «запасов» состоит прежде всего в том, что если первые официально оцениваются по чистым угольным пачкам, то последние с учетом засорения внутрипластовыми породными прослоями и засорения в ходе добычи при соответствующем изменении качества угля. Оценка состояния минерально-сырьевой базы предприятий производится путем осуществления ранговой оценки – присвоения ресурсам и запасам той или иной категории.

По достоверности «минеральные ресурсы» (в применении к углю допускается также использование термина «ресурсы угля») делятся на три категории, а «минеральные запасы» («запасы угля») – на две (рис. 6.7). Категория «измеренные ресурсы» присваивается, если количество полезного ископаемого, морфология, плотность и другие физические свойства, качество сырья и содержание полезных компонентов могут быть оценены с высокой степенью достоверности.

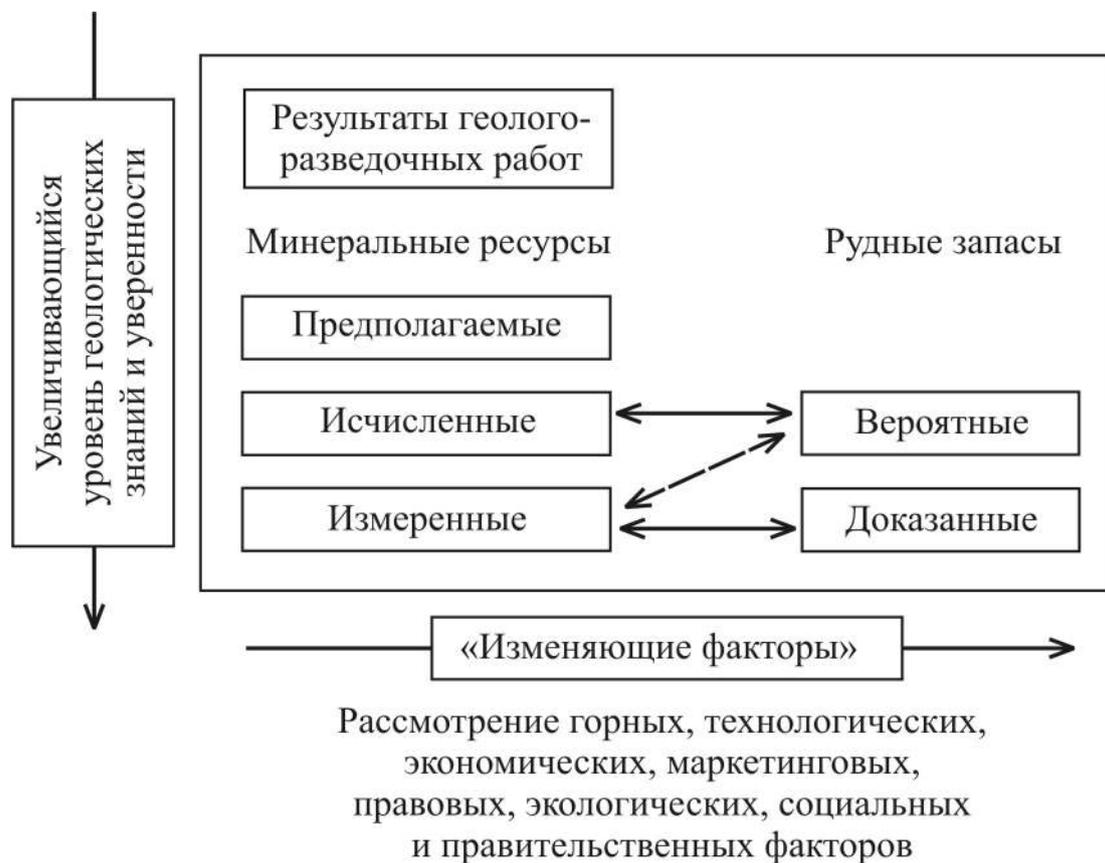


Рис. 6.7. Классификация ресурсов и запасов по шаблону CRIRSCO

Точность выполненных оценок должна быть достаточной для практического использования полученных значений технико-экономических параметров эксплуатации и оценки экономической значимости ресурсов с высоким уровнем достоверности.

Исчисленные ресурсы предполагают, что количество полезного ископаемого, морфология, плотность и другие физические свойства, качество сырья могут быть оценены с достаточно высокой степенью достоверности. При этом разведочные пересечения удалены друг от друга либо расположены таким образом, что отсутствует возможность для надежного подтверждения выдержанности геологических характеристик и (или) содержаний полезных компонентов, и в то же время расстояния между точками наблюдения (измерения) таковы, что такую непрерывность можно допускать.

Надежность оценки исчисленных ресурсов должна быть достаточной для практического использования полученных значений технико-экономических параметров при оценке экономической жизнеспособности проекта освоения недр.

Предполагаемые ресурсы – это та часть ресурсов, для которых количество полезного ископаемого и его качество могут быть оценены лишь с низкой степенью достоверности. Их оценка базируется на геологических признаках, опробовании и предполагаемой (но не подтвержденной) выдержанности геологических и (или) качественных характеристик полезного ископаемого. Надежность оценки предполагаемых ресурсов обычно недостаточна для использования результатов оценки технико-экономических параметров их отработки при оперативном планировании развития горных работ.

«Результаты геологоразведочных работ» (exploration results) включают данные и информацию, полученную во время проведения геологоразведочных работ ранних стадий, когда качество имеющихся данных совершенно не достаточно для выполнения оценки ресурсов. Российским аналогом «результатов геологоразведочных работ» в целом являются прогнозные ресурсы. Из публичных отчетов, содержащих информацию о результатах геологоразведочных работ, должно быть ясно, что эта информация не может быть использована для оценки количества и качества полезного ископаемого в недрах.

Пересчет ресурсов в запасы осуществляется путем учета так называемых «изменяющих факторов». По сути дела, «изменяющие факторы» это те же самые факторы, которые используются в российской практике при выделении из балансовых запасов их извлекаемой части – промышленных запасов (т. е. учетом размеров различных видов потерь, связанных с принимаемыми технологическими решениями, засорения).

Полагается, что доказанные запасы могут выделяться только из оцененных ресурсов, а вероятные запасы – из выявленных и даже из части измеренных ресурсов. Чем выше доля доказанных запасов, тем надежней сырьевая база предприятия и выше его стоимость.

Доказанные запасы являются категорией высшей степени надежности с точки зрения оценки экономической эффективности отработки. Вероятные запасы имеют более низкий уровень достоверности, чем доказанные, однако их оценка имеет достаточный уровень качества, чтобы служить основой для принятия решения о промышленном освоении месторождения.

Конвертация измеренных запасов в вероятные запасы (пунктирная стрелка на рис. 6.7) осуществляется при наличии неопределенности влияния модифицирующих факторов, принимаемых во внимание в процессе перевода ресурсов в запасы.

До 2010 года, а во многих случаях и в настоящее время в заключениях по угольным месторождениям, выполненным «IMC Economic and Energy Consulting» и «SRC Consulting», проводится достаточно жесткая параллель между измеренными ресурсами (measured mineral resource) и запасами отечественных категорий А и В, исчисленными ресурсами (indicated mineral resource) и запасами категории C_1 и незначительной части запасов категории В, а также между предполагаемыми ресурсами (inferred mineral resource) и запасами категории C_2 и части запасов категории C_1 .

Сама категоризация «минеральных ресурсов» выполняется международными экспертами (называемыми Компетентными лицами) самостоятельно. Однако в российских условиях зарубежные Компетентные лица всегда учитывают результаты отечественной государственной геологической экспертизы. Зарубежный эксперт не решается присвоить, например, запасам категории C_1 , статус исчисленных ресурсов.

Эта его позиция совершенно понятна и очевидна – если уж сами русские сомневаются в достоверности своей геологической информации, то уж ему, как говорится – «сам бог велел».

Вместе с тем, одной из наиболее существенных особенностей российских оценок достоверности, является предварительное разделение месторождений по группам сложности геологического строения и допустимости выделения в них запасов только отдельных категорий.

Так на месторождениях 1-й группы сложности в России выделяются все три категории А, В и С₁, на 2-й – две: В и С₁, а на 3-й – только С₁. Зарубежный специалист, не учитывает, что использование высоких категорий (А и В) на месторождениях 3-й группы сложности в России просто запрещено, вне зависимости от того насколько достоверно изучено такое месторождение. С этих позиций, например, разрез «Краснобродский» в принципе не может обладать доказанными запасами, что не отражает реальную ситуацию и снижает его капитализацию.

Такому пониманию способствует также и то, что большинство полей шахт и разрезов проходили государственную геологическую экспертизу в советское время по действовавшим тогда системам классификации. В соответствии в ними запасы высоких категорий выделялись преимущественно на участках первоочередной отработки, т. е. являлись запасами разведанными в степени, обеспечивающей возможность планирования ведения горных работ. Именно такие запасы и разумно рассматривать в качестве измеренных ресурсов. Современная классификация запасов трактует высокие категории совсем иначе.

Кроме того, даже для действующих шахт и разрезов отчет о запасах базируется исключительно на геологоразведочных данных (подчас полученных и прошедших государственную экспертизу 20–40 лет назад), полностью игнорируя информационный эффект горных работ.

В результате значимо занижается сообщаемый инвесторам уровень достоверности данных о состоянии минерально-сырьевой базы предприятий. Когда-то оцененные по категории C_1 запасы (которые составляют основную часть балансовых запасов всех угольных шахт и разрезов) сохраняют свою низкую оценку не взирая на то, что значительная их доля уже существенно уточнена материалами горных работ. Это занижает реальную привлекательность предприятия, котирующую его акций.

Таким образом, практика установления соответствия категорий запасов России и CRIRSCO не в полной мере учитывает специфику отечественной квалификационной системы, что и удалось доказать работникам ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ «ГКЗ»).

В результате большой и сложной работы 28.09.2010 CRIRSCO и ФГУ «ГКЗ» было согласовано «Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO» [70], которое, являясь официальным документом CRIRSCO, содержит сопоставление фундаментальных принципов и определений российской и международной систем отчетности, сопоставление категорий российских запасов и ресурсов по CRIRSCO, а также процедуры получения запасов в соответствии с Шаблоном CRIRSCO и определение роли Компетентного лица в процедуре составления отчетности о запасах/ресурсах.

«Руководство...» рекомендует Компетентным лицам несколько иные, более реалистичные правила соотнесения отечественных и международных категорий запасов. В соответствии с ними к измеренным ресурсам могут относиться запасы категорий А, В и C_1 , к исчисленным ресурсам – запасы категории C_2 , к предполагаемым – ресурсы категории P_1 .

Учитывая то, что повышение рыночной стоимости предприятия является, с точки зрения акционеров, одной из важнейших целей деятельности менеджмента фирмы, рекомендации по изменению практики оценки ресурсного потенциала российских горных компаний чрезвычайно важны для бизнеса. Принятие «Руководства...» это значимый и важный шаг, упрощающий процесс листинга для российских компаний на международном финансовом рынке.

Предпосылками к описанному изменению подходов к оценке ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых России явились два обстоятельства.

Во-первых, уже рассмотренное происшедшее в 1997 году существенное изменение смыслового назначения высоких (А и В) категорий запасов.

Во-вторых, введенная в действие с 2008 года новая «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [19], в отличие от всех ранее действовавших, предусматривает, что «при квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя должны использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров».

При выполнении международной оценки запасов также используются количественные оценки достоверности, однако их применение является не обязательным. Шаблон CRIRSCO [97] полагает желательным, чтобы Компетентные лица рассматривали (там, где это целесообразно) относительную точность и (или) достоверность оценок ресурсов.

В случаях, когда объявление относительной точности либо достоверности не представляется возможным, должны быть приведены итоги качественного рассмотрения выявленных неопределенностей.

При этом стандарты семейства CRIRSCO не регламентируют методы и приемы, с помощью которых Компетентные лица осуществляют оценку и классификацию ресурсов и запасов; точно так же они не регулируют и системы классификации и отчетности, используемые компаниями для своих внутренних целей.

В большинстве случаев западные коллеги для целей количественного разделения запасов по категориям использует величины расстояний между скважинами в пределах оцениваемого контура. Для оценки используются результаты построения вариограмм, на основе которых устанавливается величина геологической зоны влияния отдельной пробы или разведочного пересечения. Размер этой зоны принимается равным интервалу, в пределах которого вариограмма достигает уровня дисперсии. Как правило, наивысшая степень разведанности присваивается контуру, в пределах которого расстояния между точками измерений не превышает 60 % от размера зоны влияния.

Подобный подход нормативно не закреплён, применяется преимущественно для рудных месторождений и мало пригоден для угольных в связи с неэффективностью применения на них методов геостатистики и многообразие учитываемых признаков. В согласованном CRIRSCO «Руководстве по гармонизации...» [70] прямо указано: «Одним из преимуществ использования российских оценок, получаемых с помощью российских методов подсчета, можно считать то, что – в отличие от геостатистики – процедуры подсчета точно определены, а возможности для появления грубых ошибок относительно невелики».

Для условий простых угольных месторождений расстояние до точки измерений иногда рассматривается в качестве универсального критерия категоризации. Так циркуляр 891 Геологической службы США [95] к категории измеренного (measured) угля относит запасы, заключенные в пределах круга радиусом 0,25 американской мили (2 фурлонга – 0,4 км) с центром в точке пластоподсечения.

Исчисленный (indicated) уголь выделяется между двумя окружностями радиусами 0,25 и 0,75 мили (0,4 и 1,2 км), а предполагаемая (inferred) между окружностями радиусами 0,75 и 3 мили (1,2 и 4,8 км). Для значительно более сложных угольных месторождений России такой подход совершенно не приемлем, в связи с чем существующие рекомендации по плотности сети скважин используются в нашей стране только как ориентиры при разработке проектов ведения геологоразведочных работ, но не для классификации полученных в их ходе результатов.

«Руководство по гармонизации...» [70] указывает на правомерность применения благоприятных для российского бизнеса подходов к оценке запасов только в условиях реализации требований классификации запасов 2006 года. Это следует из текста пункта 2.2а «Руководства...»: «В российской классификационной системе при категоризации запасов в качестве дополнительной характеристики их разведанности должны использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров».

В настоящее время запасы подавляющего большинства находящихся в эксплуатации угольных участков недр России оценены до введения в действие рассматриваемых требований, и к ним, строго говоря, не могут быть применены рекомендуемые «Руководством...» [70] подходы к соотношению запасов России и CRIRSCO.

Поэтому наличие на предприятии такой оценки позволяет коренным образом повысить долю достоверных запасов и, соответственно, стоимостную оценку сырьевых активов. Отсюда следует, что выполнение количественной оценки запасов даже в статичном режиме является весьма актуальным и для ранее переданных в пользование участков недр.

Однако следует заметить, что «Руководством...» [70] не обязывает, а лишь рекомендует Компетентным лицам использовать предложенные соответствия категорий запасов. Коренным образом ситуация меняется при использовании результатов мониторинга достоверности запасов на основе постоянного учета и корректировки оценки достоверности запасов по мере развития горных работ. Информационная основа мониторинга сама по себе является для Компетентного лица доказательной базой для отнесения запасов к тем или иным категориям ресурсов. Игнорировать такую базу Компетентное лицо не сможет.

К сожалению, работники геолого-маркшейдерских служб предприятий и компаний не располагают надлежаще обобщенным фактическим материалом, позволяющим доказать Компетентным лицам действительно имеющую место достоверность представлений об их сырьевой базе.

Таким образом, в результате ведения мониторинга сырьевая компания постоянно будет обладать доказательными и актуализированными оценками состояния ее сырьевого обеспечения, позволяющими получить максимально объективные оценки уровня ее капитализации, учитывающие информационный эффект горно-эксплуатационных работ. Результаты такой постоянной корректировки запасов могут использоваться не только в официальных отчетах о «минеральных запасах и ресурсах», но и при решении целого ряда как корпоративных, так и государственных задач.

Разумеется, результаты переоценки запасов по данным мониторинга не должны постоянно передаваться на государственную геологическую экспертизу – это чрезвычайно затратно и вряд ли необходимо. Однако учитывать эти результаты при подготовке отчетности по стандартам CRIRSCO и при ежегодном расчете промышленных запасов вполне допустимо и не противоречит действующему российскому законодательству.

6.3. Использование результатов мониторинга при кредитовании угольного бизнеса

Более половины угля, добытого в основном угольном бассейне России – Кузбассе, экспортируется. По сведениям Кемеровской таможни общая стоимость экспортных поставок кузнецкого угля в 2010 году составила 7,231 млрд долларов США. Наибольшие объемы поставок были произведены в Турцию (12,2 % от стоимостного объема), Украину (11,5 %), Соединенное Королевство (11,1 %), Китай (10 %), Нидерланды (7,7 %), Республику Корея (6,3 %), Польшу (5,9 %) и Бельгию (3,6 %).

Все это предопределяет достаточно уникальную структуру источников финансирования угольной отрасли Кемеровской области: в конце 2010 года в суммарной задолженности угольных предприятий региона доля кредиторской задолженности составляла 41 %, доля банковского кредита – 14 %, иных займов, преимущественно осуществляемых головными офисами холдингов, – 46 %. Два года ранее эти доли составляли, соответственно, 45, 24 и 31 %. Основными направлениями использования заемных средств являются рефинансирование существующей задолженности и покрытие потребностей в оборотном капитале.

Сложившаяся структура финансирования и динамика ее изменения предопределяют пониженный интерес банков России к развитию кредитования угольной отрасли. Однако реализация высказанного в 2011 году предложения Президента России Д. А. Медведева по формированию мирового финансового центра в Москве может существенно изменить сложившуюся ситуацию.

Позиция иностранных банков несколько иная и не претерпела существенных изменений в период кризиса 2008–2009 годов.

Например, в сентябре прошлого года ОАО «Сибирская угольная энергетическая компания» привлекла синдицированный кредит на сумму 700 млн долларов США. Организаторами кредита выступил ряд международных банков, в том числе BNP Paribas, The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Commerzbank Aktiengesellschaft, Credit Agricole Corporate and Investment Bank, ING Bank N.V., Rabobank International, London Branch, Reiffeisen Zentralbank Osterreich AG, Viena, Societe Generale Corporate & Investment Banking, Sumitomo Mitsui Banking Corporation, UniCredit Bank AG. В тот же период ОАО Угольная компания «Южный Кузбасс» – получила в UniCredit Bank AG, London Branch два кредита на сумму более 857 и 514 млн долларов США.

Однако рост напряженности в мировой энергетике сказывается на политике кредитования угольной отрасли со стороны российских банков. Так, в 2011 г. Сибирский банк Сбербанка России открыл несколько кредитных линий для строительства новых шахт (шахты «Сибиргинская» ОАО «Угольная компания Южный Кузбасс» – 12,5 млрд руб., ООО «Шахта «Бутовская» – 508 млн руб.) и технического перевооружения предприятий (шахты «Заречная» – 62,98 млн долл. США, предприятий ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – 736,8 млн руб.).

Вместе тем, российское банковское сообщество еще не в полной мере понимает проблемы оценки кредитных рисков и кредитоспособности заемщиков, специализирующихся в области добычи угля.

Вопрос оценки кредитоспособности предприятия был, есть и всегда будет актуальным для кредитных организаций. По существующим представлениям основой для выполнения такой оценки являются показатели, характеризующие рентабельность, деловую активность, финансовую устойчивость, ликвидность и платежеспособность предприятий.

В отличие от иных отраслей промышленности кредитоспособность предприятий горнодобывающего, в том числе и угледобывающего сектора, самым решительным образом зависит и от достоверности геологических представлений о характере находящихся в их распоряжении недр.

Это связано с тем, что в основе всех финансируемых проектов и планов создания, строительства и развития угольных шахт и разрезов лежат не фактические данные о недрах, а лишь их геологические модели. Такие модели всегда содержат в себе погрешности и ошибки, поскольку формируются по результатам прямого определения значений изучаемых характеристик в сечениях геологоразведочных скважин, площадь которых составляет многомиллионные доли от общей площади участка недр. Для характеристики степени достоверности геологоразведочной информации традиционно используется термин «достоверность запасов», хотя при этом имеется в виду не столько собственно погрешность представлений о количестве имеющихся запасов, сколько погрешность геологических моделей формы размещения тела полезного ископаемого и его свойств в недрах.

В ходе использования геологической информации ее погрешности трансформируются в погрешности и ошибки проектных технологических, экономических, инвестиционных и иных решений. Именно уровень этих погрешностей и определяет кредитоспособность добывающего предприятия. Даже если предприятие обладает эффективной добычной техникой, современными технологиями и квалифицированным персоналом встреча горными работами ранее непрогнозируемого тектонического нарушения может потребовать ремонта оборудования и, как следствие, остановки ведения добычных работ на 1–2 месяца.

Подчас ошибки геологической информации достигают значительных величин, приводящих к невозможности реализации уже начатых горных проектов.

При оценке влияния степени достоверности геологической информации следует иметь в виду следующие обстоятельства, во многом определяющие кредитоспособность предприятия.

Во-первых, погрешность информации в пределах намечаемых к отработке контуров не постоянна, что вызвано перемещением горных работ в пространстве недр. Подтверждение достоверности представлений о геологии месторождения в контуре отработки прошедшего периода совершенно не означает, что они будут такими же и в будущем. В связи с этим используемые многими банками процедуры скоринга, в основе которых лежит анализ кредитной истории заемщика, не могут обеспечить объективной оценки кредитоспособности угледобывающих предприятий.

Во-вторых, оценка достоверности обладает эффектом масштаба. Погрешности информации, наблюдаемые в пределах контура, например, пятилетнего срока отработки запасов, могут являться вполне приемлемыми (за счет взаимной компенсации положительных и отрицательных погрешностей), тогда как в границах годовой отработки части этого же контура они могут достигать критических величин. Данное обстоятельство следует особо учитывать при предоставлении «коротких» кредитов.

В связи с этим решаемые при кредитовании задачи оценки несколько отличаются от задач, возникающих при биржевом листинге горных компаний большей детализацией оценок, особенно при открытии краткосрочных кредитных линий, на которые преимущественно ориентированы российские банки.

Для подтверждения сырьевого потенциала горных предприятий при их кредитовании отечественными банками ранее в основном использовались результаты государственной экспертизы запасов, представляемые в форме протоколов ФГУ «ГКЗ».

Такой подход в целом вполне разумен, так как порядок проведения экспертизы и характер предоставляемой отчетности в России в целом соответствуют вышеописанным подходам CRIRSCO. Однако в случае сохранения такого подхода и впредь, банкам следует обратить внимание на то, что размер оцениваемой части участка недр при работе в интересах кредитора может существенно отличаться от используемого при государственной экспертизе запасов в ФГУ «ГКЗ».

Если, например, предполагается годовой кредит, то необходимо оценить возможные риски неподтверждения геологических данных (т. е. геологические риски, которые могут препятствовать исполнению предприятиями своих обязательств) не в целом по предприятию, а только в пределах годового контура ведения горных работ. Использование для этих целей только результатов экспертизы ФГУ «ГКЗ» возможно далеко не всегда, а только в случаях, когда этот контур совпадает с границами подсчетного блока. Кроме того, особенно при использовании результатов экспертизы выполненной много лет назад он вообще мало продуктивен, поскольку рассматриваемые данные не учитывают информационный эффект горных работ.

В последнее время отечественные банки начинают использовать результаты оценки, выполненные компаниями «IMC Economic and Energy Consulting» и «SRC Consulting». Однако представляется, что используемые ими кодексы семейства CRIRSCO не в полной мере отвечают задачам обеспечения краткосрочной кредитной деятельности.

Следует также иметь в виду, что шаблон CRIRSCO был, в первую очередь, ответом финансового сообщества на авантюру «Bre-X Minerals» и действительно перекрыл наиболее явные пути фальсификации геологических данных. Однако опыт последних лет показал, что креативные (назовем их так) представители горного бизнеса уже адаптировались к подходам CRIRSCO и научились «учитывать» их соответствующим образом.

В связи с этим, вероятно и связано наблюдаемое активное сохранение на балансе предприятий технологически бесперспективных запасов, которые обеспечивают эфемерный рост капитализации компаний. Привлекаемые для экспертизы иностранные Компетентные эксперты далеко не всегда владеют тонкостями российских систем оценки запасов и не всегда могут выявить такие ситуации. Подтверждением сказанному является серия крупных просчетов в оценке сырьевых ресурсов ряда как отечественных, так и зарубежных участков недр, называть которые, в связи с отсутствием результатов официальных расследований причин их возникновения, авторы считают некорректным.

Надо полагать, что именно в связи с этим CRIRSCO сообщила о намерениях в самое ближайшее время внести ряд изменений в дефиниции международного шаблона отчетности. Характер этих изменений пока неизвестен, но, судя по ответам на вопросы председателя CRIRSCO Р. Диксона на конференции «Россия и международные стандарты отчетности о ресурсах/запасах твердых полезных ископаемых» (сентябрь 2010 года), можно полагать, что они будут, в числе прочего, предусматривать и более широкое использование количественных методов оценки. При этом следует иметь в виду, что и ныне действующий шаблон не препятствует применению таких методов.

Разработанные количественные методы оценки позволяют осуществлять ее в пределах контуров незначительной площади (что снимает проблему эффекта масштаба), в 3–4 раза повышают ее надежность и резко снижают возможность «подтасовки» данных. В условиях использования количественных методов в режиме мониторинга, вероятность «подтасовки» данных вообще исключается.

Известно, что в настоящее время отдельные банки России начали работу по созданию специальных подразделений, задачей которых является оценка предприятий горного бизнеса.

Представляется, что такие подразделения должны ориентироваться преимущественно на количественные методы оценки минерально-сырьевой базы. В целом, уже сейчас разработанная система оценки достоверности геологической информации, при ее грамотном использовании, в состоянии обеспечить определение реальной кредитоспособности предприятий угольного бизнеса.

Таким образом, результаты мониторинга достоверности запасов обеспечивают решение задач, возникающих при открытии краткосрочных кредитных линий, как по информационной глубине выполняемых оценок, так и по возможному уровню их детализации, и могут быть рекомендованы для использования банковским сообществом в качестве дополнения к традиционной процедуре скоринга.

6.4. Использование результатов мониторинга при организации опережающего геологического изучения недр

К числу обязательных государственных требований по рациональному использованию и охране недр, предусмотренных к исполнению недропользователями в соответствии с требованиями ст. 23 федерального закона «О недрах», относится «проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку запасов полезных ископаемых». Данное требование обязательно включается в условия лицензионных соглашений к лицензиям на право пользования недр, а его исполнение подлежит контролю со стороны органов Ростехнадзора.

Необходимость достоверной оценки запасов полезных ископаемых на всех стадиях освоения месторождения вытекает из того, что она определяет [43]:

– полноту использования недр (отсутствие качественных данных о геологии месторождения приводит к неоптимальной раскройке и к неплановому оставлению в недрах запасов, которые могли бы быть извлечены);

– экономическую, в том числе и бюджетную эффективность горного бизнеса (недостоверные данные приводят к неоптимальным проектным решениям, а, следовательно, и к невозможности достижения запланированных экономических показателей работы предприятий).

В соответствии с действующими «Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» по различным видам твердых полезных ископаемых «рациональное соотношение запасов различных категорий определяется недропользователем с учетом допустимой степени предпринимательского риска». Тем самым государство как бы вообще устранилось от участия в решении вопроса об оценке состояния принадлежащей ему собственности (запасов месторождений полезных ископаемых), т. е. от вопроса, решение которого напрямую определяет степень эффективности использования национального сырьевого потенциала.

Только в «Методических рекомендациях...» для угля и горючих сланцев [30], учитывая высокую опасность данного производства, предусмотрено: «в случае, если по результатам статистического наблюдения за движением запасов будет установлен недопустимо высокий уровень списания и неподтверждения запасов, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с недостаточной детальностью (достоверностью) геологического изучения эксплуатируемого участка недр, по итогам специального рассмотрения материалов в ГКЗ заключение о подготовленности участка недр к промышленному освоению и решение недропользователя о рациональном соотношении категорий разведанности запасов может быть аннулировано, а последнее заменено соотношением запасов по категориям, предложенным ГКЗ».

Одним из эффективных инструментов оперативного управления фондом недр является их опережающее геологическое изучение, в процессе которого должен обеспечиваться и поддерживаться рациональный уровень достоверности геологических представлений об объекте эксплуатации, позволяющих принимать необходимые и достаточные решения по обеспечению безопасности горных работ и наиболее полной отработке запасов.

Практика показывает, что существенное количество запасов утрачивает свое промышленное значение именно в связи с отсутствием требований по опережающему геологическому изучению недр. Списание запасов, нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам, является следствием неожиданного выявления горными работами участков усложнения геологических условий в контуре балансовых запасов, т. е., по сути – выявления не установленных разведкой контуров забалансовых запасов. Такие запасы списываются с баланса предприятия без отнесения их в потери. Разумеется, их существование объективно и не зависит от того, была ли проведена разведка или нет. Однако, «внезапность» проявления неизвестных на момент планирования горных работ нецелесообразных к отработке запасов ведет и к утрате промышленной значимости части балансовых запасов из-за невозможности их отработки в рамках уже реализованной системы горных выработок.

Сама «внезапность» появления списаний может являться следствием действия двух видов причин. Во-первых, результатом исчерпания возможности геологоразведки, а во-вторых, результатом «экономики» недропользователем средств на геологоразведочные работы. Представляется, что во втором случае недропользователь должен нести материальную ответственность за утрату промышленной значимости части балансовых запасов, примыкающих к контуру действительно нецелесообразных к отработке, в форме признания их сверхнормативными потерями.

Например, рассмотрение 12-ти произвольно выбранных «свежих» случаев списания запасов на шахтах Кузбасса [25], показало, что в 50 % случаев зоны списания находились в пределах участков резкого (по отношению к фоновому) роста критериев разведанности, что однозначно указывало на высокую вероятность усложнения условий эксплуатации. Расчеты показывают, что если бы недропользователь заранее выполнил на этих участках эксплуатационные разведочные работы, то количество списываемых запасов снизилось бы на 30–40 %.

Разумеется, что реализация такого подхода невозможна без наличия однозначно определяемых критериев разведанности, которые позволяли бы разделить два указанных вида причин списаний нецелесообразных к отработке запасов. В качестве таковых могут выступать рассмотренные количественные критерии разведанности, адаптированные к условиям конкретного предприятия в результате организации мониторинга достоверности запасов.

В настоящее время в нормативно-правовых документах отсутствует конкретное содержание понятия «опережающее геологическое изучение недр». В связи с этим, какая-либо стратегия такого изучения на горных предприятиях не существует, и, в основном, оно сводится к геологической документации горных выработок и осуществлению на их основе горно-геологического прогнозирования условий отработки подготавливаемых и готовых выемочных единиц. При этом зачастую, эксплуатационная разведка выполняется в очень ограниченном объеме.

Рассматривать такой подход в качестве компонента опережающего изучения невозможно. Таким образом, актуальность разработки конкретного порядка и определения содержания работ по опережающему геологическому изучению месторождений твердых полезных ископаемых в полнее очевидна, т. к. это позволит обеспечить надлежащее исполнение требований законодательных и нормативных актов в области эффективного использования государственной собственности – недр Российской Федерации.

В качестве основного принципа проведения такого изучения предлагается [43] использовать широко известный принцип последовательных приближений в сочетании с предложенной авторами процедурой мониторинга достоверности запасов.

Предполагается, что перед началом выполнения работ по опережающему геологическому изучению недр недропользователь, уже на стадии проектирования, должен осуществить статическую количественную оценку достоверности запасов и выделить локальные участки с пониженной степенью разведанности. Уточнение геологических условий на таких участках как раз и должно явиться целью последующего опережающего изучения, для планирования развития горных работ.

В ходе ведения горных работ необходимо организовать мониторинг достоверности запасов. В процессе его выполнения будет проведена адаптация методов оценки достоверности и выявлен приемлемый для условий участка недр уровень погрешностей геологической информации. В качестве технических мер по опережающему геологическому изучению участков пониженной разведанности должны выступать эксплуатационная разведка, результаты горных работ (в случае их «выгодного» расположения относительно этих участков) и методы прогноза горно-геологических условий.

Уровень понимания недропользователями значения мониторинга достоверности запасов, как инструмента обеспечения необходимой степени разведанности недр, пока недостаточен. Тем не менее, уже наблюдаются явные предпосылки к его изменению.

Так ООО «УК Межегейуголь» (входящая в «ЕВРАЗ Груп С. А.», являющаяся одной из крупнейших в мире вертикально-интегрированных металлургических и горнодобывающих компаний, с активами в России, на Украине, в Европе, США, Канаде и Южной Африке, и количеством сотрудников, превышающим 110 000 человек)

в технико-экономических предложениях, подготовленных для участия в конкурсе на получение права пользования недрами участка недр «Восточный Западной части Улуг-Хемского угольного бассейна» в Республике Тыва, запланировала выполнение организации мониторинга достоверности запасов.

В протоколе Конкурсной комиссии Роснедра, которым данный участок был передан в пользование ООО «УК Межегейуголь», отмечено [48]:

«Предложения Заявителя содержат инновационные элементы:

– запланировано осуществление опережающего геологического изучения недр на основе организации постоянного контроля (мониторинга) за достоверностью геологической информации, осуществляемого с использованием рекомендованных ГКЗ количественных критериев оценки достоверности запасов (это предложение превышает требования Порядка и условий проведения конкурса и может быть рекомендовано к включению в основные условия пользования недрами в п.1.1.2 п.п. «в»): «проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку запасов полезных ископаемых и рациональное ведение горно-эксплуатационных работ на основе результатов мониторинга количественно оцененной достоверности геологической информации».

Таким образом, результаты мониторинга достоверности запасов могут быть эффективно использованы в качестве основы для организации опережающего геологического изучения недр угольных месторождений, направленного на обеспечение рационального использования государственной собственности – недр Российской Федерации.

*6.5. Использование результатов мониторинга
для повышения промышленной безопасности в угольной отрасли*

Современная нормативная база недропользования предполагает возможность проектирования, строительства и эксплуатации горнодобывающих предприятий исключительно на запасах категории C_1 . Как уже отмечалось в настоящее время запасы категорий А и В, выделяемые на относительно простых по геологическому строению месторождениях, рассматриваются как запасы, расположенные на участках детализации.

Основная задача, которая решается за счет создания таких участков, состоит в подтверждении степени достоверности запасов категории C_1 . В связи с этим «Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO» [70] рассматривает доведение части запасов до уровня требований категорий А и В в качестве методического приема, призванного обеспечить высокую надежность квалификации запасов по промышленной категории C_1 . В таком понимании контуры запасов категории А и В – это участки сознательно создаваемой избыточности геологической информации, т. е. участки «переразведки» запасов.

В связи с изложенным напрашивается вывод о том, что при дальнейшем развитии российской классификации запасов в направлении сближения с международной системой оценки, в связи с отсутствием экономически оправданной необходимости сохранения понятий категорий А и В, они могут быть ликвидированы. Кроме того, ликвидация понятий категорий А и В может способствовать и уже существующий прецедент состоящий в том, что на месторождениях третьей группы сложности запасы участков детализации уже сейчас не выделяются в самостоятельную категорию и оцениваются по «фоновой» категории C_1 .

Однако, помимо основного геолого-методического обоснования существования категорий А и В, имеется и еще одно чрезвычайно важное обстоятельство, позволяющее рассматривать выделение высоких категорий разведанности как оправданное в случае наделения их некими особыми функциями. Перед обсуждением этих функций необходимо напомнить о том, как понимались категории запасов А и В в период их введения в отечественную практику оценки запасов.

Первая советская классификация запасов [22] была выполнена в виде таблицы (табл. 6.3) и предусматривала выделение категорий запасов, исходя из их целевой функции. Содержащиеся в Классификации Геолкома 1927 года [22] понятия категорий были в 1931 году дополнены конкретными требованиями по плотности разведочных сетей для различных категорий запасов [42].

Например, предусматривалось, что отнесение запасов угля к категории A_2 на простых месторождениях (с выдержанными углами падения, мощностями и структурой пластов) должно осуществляться при расстояниях между скважинами по направлению простирания не более 1000 м, а по падению – на горизонте, где проектируется основной штрек, должно размещаться не менее 2 скважин. Для пластов, мощность и количество породных прослоев которых не сохраняется, но изменяется постепенно, для достижения категории A_2 необходимо было сгущать сеть до тех пор, пока показания [так в тексте] соседних выработок не будут отличаться менее чем на 15 % друг от друга. При этом расстояние между скважинами не должно было превышать 200 м [67].

Вторая советская Классификация запасов Госплана СССР 1933 года также сохранила целевую функцию запасов (A_1 – для расчетов эксплуатационных работ; A_2 – для строительства горнодобывающих предприятий, В – для составления эскизных проектов; C_1 – для постановки детальных геолого-разведочных работ; C_2 – для перспективного планирования народного хозяйства и перспективного планирования геологоразведочных работ).

Первая советская классификация запасов

Группа	Назначение запасов	Характер и детальность фактического материала
A ₁	Для точных эксплуатационных расчетов предприятий	Подготовленный к добыче запас. Для месторождений, не требующих подготовительных работ, – детально разведанный и опробованный запас
A ₂	Для производственных планов, как фонд, оправдывающий возврат капитальных и производственных затрат	Запас в пределах объемного контура, определяемого выработками, скважинами и естественными выходами (иногда уточняемого геофизическими исследованиями), расположенными на таких расстояниях, что по характеру месторождений допускается интерполяция соседних данных
B	Для перспективных планов предприятий и планирующих органов	Запас в пределах объемного контура, определяемого выработками, скважинами и естественными выходами и геофизическими исследованиями, но с количеством данных, недостаточным для включения запасов в предыдущую группу
C	Для общегосударственных соображений, составление планов геологоразведочных работ и геологических выводов	Запас, установленный только на основании геологических предпосылок, результатов геофизических исследований и отдельных редких искусственных и естественных обнажений

Следует обратить внимание также и на то, что запасы категории A₁ выделялись лишь на стадии эксплуатационной разведки.

Последующие советские классификации 1941, 1953, 1960, 1981 годов постепенно отошли от жесткого определения целевого назначения категорий запасов, определив в качестве критерия правомерности проектирования и строительства добывающего предприятия определенного соотношения категорий запасов.

При этом предусматривалась более детальная степень разведки для участков и горизонтов месторождения, предназначенных к первоочередной отработке (по категориям А+В для 1-й, В для 2-й и С₁ для остальных групп сложности).

Однако под участками первоочередной отработки понимались не фактические контуры начала ведения горных работ, а их предположительное размещение, определенное по результатам технико-экономического обоснования производства детальной разведки (пункт 20, д «Классификации запасов...» 1981 года [20]). Таким образом, целевое назначение категорий запасов было фактически полностью утрачено.

«Классификация запасов...» 2006 года [19] вообще не содержит формальных признаков, оценивающих степень подготовленности месторождения к промышленному освоению. Таким образом, действующая «Классификация запасов...» России [19] ориентирована на рассмотрение категорий в качестве ранговой оценки степени достоверности запасов для их использования при определении степени экономического риска, возникающего при реализации проекта освоения участка недр в целом.

Аналогичную функцию выполняют и категории запасов, используемые шаблоном CRIRSCO. При таком понимании дальнейшее выделение запасов категорий А и В действительно представляется нецелесообразным. Достаточно ограничиться категориями С₁ и С₂, из числа которых должны впоследствии выделяться две различные по достоверности категории промышленных запасов (так называемые вероятные и достоверные запасы по шаблону отчетности CRIRSCO).

В тоже время ориентация категорий на последующую оценку экономического риска совершенно не исчерпывает все направления использования геологоразведочной информации.

Характерной особенностью добычи твердых полезных ископаемых является невозможность ее осуществления без присутствия людей в опасных условиях подземной горной среды. Особую опасность эта среда представляет при ведении подземных горных работ и, прежде всего, при добыче угля. Серия тяжелых аварий в угольной отрасли последних лет придала задаче повышения уровня промышленной безопасности угледобычи особый государственный статус, определяемый рангом задействованных в ее решении структур: начиная с органов государственного надзора и заканчивая Федеральным собранием Российской Федерации. Для более эффективного ее решения в 2010 году образована даже Кемеровская межрайонная прокуратура по надзору за работой угольных шахт,

Как известно, наиболее значимым явлением, примерно на 50 % определяющим уровень травматизма на угольных шахтах мира (прежде всего в странах с высоким уровнем технологической и трудовой дисциплины – Австралии, Канаде, США, ЮАР), является внезапное обрушение пород кровли. Для России степень влияния этого явления существенно ниже, так как у нас, к сожалению, основное количество несчастных случаев в шахтах происходит из-за нарушения правил техники безопасности.

В большинстве случаев причиной внезапного обрушения является несоответствие принятых технических решений реальным горно-геологическим условиям, определяемым в результате геологического прогноза. При этом следует помнить, что все технические и технологические решения по строительству и эксплуатации шахт выбираются под условием их соответствия не реальным геологическим условиям, а их геологоразведочным моделям. Эти модели, построенные по результатам прямого определения значений изучаемых характеристик в скважинах, объективно обладают тем или иным уровнем погрешности и могут содержать значительные ошибки.

Ошибочная или недостоверная геологоразведочная информация влечет за собой принятие неверных и промышленно опасных технических решений. Поэтому качественная оценка достоверности геологической информации становится в настоящее время одной из главных проблем обеспечения безопасности горного производства и горного бизнеса.

При рассмотрении вопросов промышленной безопасности наиболее «травмогенной» угольной отрасли фактор достоверности геологической информации долгое время практически игнорировался. Во многом это было связано с тем, что он полностью «перекрывался» причинами, связанными с нарушениями трудовой и технологической дисциплины. Постепенно, в результате постоянной работы органов государственного управления и надзора, влияние человеческого фактора начало снижаться и степень влияния геологического фактора, соответственно, расти.

Таким образом, в настоящее время наметились явные предпосылки к возникновению совершенно новой проблемы обеспечения промышленной безопасности – недостаточного уровня достоверности геологической информации используемой при планировании и проектировании горных работ.

Значимость геологического фактора промышленной безопасности можно проиллюстрировать некоторыми примерами. Например, при расследовании известной аварии на шахте «Гайжина», происшедшей 10.04.2004 г., в результате которой погибло 47 горняков, Кемеровскому Представительству ВНИМИ (по личному сообщению директора Представительства Т. И. Лазаревич) не удалось реконструировать геологическую обстановку района ее возникновения из-за наличия на участке только одной разведочной скважины.

В акте технического расследования причин аварии на шахте «Ульяновская», произошедшей 19.03.2007 г., унесшей жизни 110 шахтеров, в числе мероприятий, направленных на недопущение подобных аварий всем угольным шахтам России предписано [41]:

«3.3. При разработке паспортов выемочных участков, оборудованных механизированными комплексами, обеспечивающими подвигание забоя более 100 м/мес., в целях проведения геомеханического анализа производить детальную оценку вмещающих пород кровли для уточнения параметров очистного забоя и мер безопасности по управлению горным давлением. Срок исполнения: 01.06.07.

3.4. Установить порядок обязательного проведения геофизического обследования оконтуренных комплексно-механизированных забоев (лав) в целях выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли. Срок исполнения: 01.06.07».

При расследовании аварии на шахте им. Ленина 29.07.2008 г., в результате которой пострадало 17 человек, было установлено, что ее причиной явилось то, что «РосНИИГД не установил полноту, достоверность и правильность представленной информации в горно-геологическом прогнозе о наличии геологических нарушений» [69].

Если уподобить процесс освоения недр входу человека в совершенно темную комнату, то геологоразведка – это небольшой источник света, позволяющий с той или иной степенью безопасности перемещаться по ней. Наличие в этой комнате совершенно не освещенных или очень слабо освещенных мест недопустимо, так как присутствие человека в пределах такого фрагмента, столь же опасно, как и в полностью затемненной комнате. Таким образом, уровень и качество геологической информации по фрагментам участков месторождений, в пределах которых предполагается нахождение людей, должен быть существенно выше, чем требуется для принятия управленческих решений по управлению бизнес-процессами горного промысла.

Очевидно, что основным инструментом решения задачи по достижению более высокого уровня достоверности запасов в примыкающей к контуру горных работ зоне является опережающее геологическое изучение недр.

Однако в настоящее время такое изучение пока является достаточно неопределенным понятием [43], преимущественно ориентировано на решение экономических задач, а его эффективность – не контролируется. Отсутствие государственного контроля эффективности опережающего геологического изучения недр при его выполнении в целях оптимизации управленческих решений, по-видимому, и не требуется, однако при решении вопросов промышленной безопасности он необходим.

Такой контроль явно актуален особенно для «травмогенной» угольной отрасли. Наблюдаемые в ней в последние годы существенные изменения параметров систем отработки существенно снизили «геологическую информативность» горных работ. Если ранее расстояния (по направлению падения пласта) между штреками были близки к 100 м, то теперь они уже достигают 300 м. Всегда считалось, что проведение горных выработок угольных шахт существенно уточняет имеющуюся информацию о состоянии недр.

Это обстоятельство учитывалось при определении необходимого уровня достоверности разведки, прежде всего, путем выделения высокоразведанных участков первоочередной отработки. За пределами этих контуров оперативная информация о предполагаемых условиях работы нижележащих лав формировалась с учетом достаточно корректной экстраполяции уже имеющихся данных на расстояния порядка 100 м.

В настоящее время реализация такого подхода возможна только при экстраполяции на расстояния порядка 300 м (сопоставимой с плотностью разведочной сети), что не допустимо.

Во многих случаях, запасы, находящиеся в уже подготовленном выемочном столбе современных лав, не могут квалифицироваться по высоким категориям (например, по фактору выявления мелкоамплитудной нарушенности). Отсюда следует, что за пределами участка первоочередной отработки оценка геологических условий даже прилегающих к контуру отработки лав не может быть в настоящее время достоверно выполнена только с использованием данных эксплуатации и требует проведения дополнительных исследований.

Постоянное поддержание достоверности запасов в зоне ведения горных работ на высоком уровне обеспечивает возможность применения так называемого «инновационного типа менеджмента промышленной безопасности», который основан на безопасном поведении человека и контроле риска, компонентом которого и является установление степени достоверности геологической информации в зоне нахождения персонала, т. е. категоризация запасов.

Применяемый ныне, так называемый «традиционный тип менеджмента безопасности», состоящий в минимизации опасных действий человека и в традиционном планировании и проектировании, явно устарел.

В работе [26] сделан вывод о том, что необходимым условием существенного снижения уровня аварийности и травматизма на угольных шахтах является реализация принципов согласованности, превентивности и приоритетности действий всех субъектов процесса управления охраной труда и промышленной безопасностью.

А в работе [2] доказано, что уровень риска возникновения травм и аварий на угольных шахтах закономерно связан с уровнем отклонений параметров производственного процесса от заданных значений, устанавливаемых с учетом горно-геологических условий работы. Причем «безопасный» уровень этих отклонений невелик и составляет 5–7 %.

Понятно, что повышенная достоверность геологических данных в зоне ведения горных работ (достижение которой подтверждается соответствующей категорией запасов) является элементом превентивных действий, минимизирующим возможные отклонения параметров реального производственного процесса от установленных в ходе планирования.

Таким образом, целесообразным представляется выделение запасов, достоверность которых обеспечивает принятие обоснованных технических решений в области обеспечения промышленной безопасности ведения горных работ. Такие запасы можно было бы обозначить как запасы категории D (фактически такие запасы близки по смыслу к запасам категории A, но это внесло бы путаницу с учетом того, что такая категория уже используется), которые должны выделяться на месторождениях всех групп сложности (иначе следует признать, что рост сложности геологического строения предусматривает и рост травматизма горняков). Выделение этой категории должно выполняться преимущественно по результатам опережающего геологического изучения недр выполняемого, в том числе, и с использованием эксплуатационной разведки. Контур таких запасов должен постоянно перемещаться в пространстве недр, несколько опережая фронт развития горных работ. Быть может, контур запасов этой категории следует ежегодно официально корректировать в ходе государственной экспертизы оперативного изменения запасов, представляемого горнодобывающими предприятиями. Такой подход дополнительно обеспечивает и государственный контроль по выполнению обязательств недропользователя по осуществлению опережающего геологического изучения недр.

Запасы предлагаемой категории D должны отражать специфические требования российского законодательства в области промышленной безопасности и охраны недр.

Они должны выделяться только на уже осваиваемых месторождениях с учетом результатов опережающего геологического изучения недр и определять границы участка месторождения, для которого достигнута степень разведанности, обеспечивающая исполнение всех требований по промышленной безопасности.

Из сказанного следует, что действующую «Классификацию запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» необходимо дополнить «Промышленной классификацией запасов твердых полезных ископаемых», которая определила бы конкретные требования к степени разведанности запасов категории D, обеспечивающих безопасное ведение горных работ.

Несомненно, что методологической основой выделения запасов категории D может стать количественная оценка достоверности запасов, выполняемая в режиме динамического подхода, т. е. на основе предложенной технологии мониторинга достоверности, поскольку оценка таких запасов не может не учитывать информацию, полученную в ходе ведения горных работ.

7. Нормативно-методическое, программное и кадровое обеспечение мониторинга достоверности запасов

7.1. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга достоверности запасов

Внедрение технологии мониторинга достоверности запасов в практику работы угледобывающих предприятий требует наличия свода требований и правил, определяющих последовательность действий инженерно-технического персонала. В связи с этим авторами в содружестве с группой работников «Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых» были разработаны «Методические рекомендации по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию» [65].

Данные рекомендации прошли соответствующее рассмотрение и рекомендованы к практическому применению экспертно-техническим советом ФГУ «ГКЗ» (протокол от 22.05.2007) и признаны в качестве официального нормативно-методического документа, рекомендованного «Обществом экспертов России по недропользованию» (протокол экспертно-технического совета Общества от 12.05.2011). Основу этих рекомендаций составили работы авторов, исключение составил лишь раздел «Особенности оценки достоверности изучения гипсометрии пласта сложнодислоцированного месторождения», основанный на результатах исследований, выполненных С. В. Шаклеиным и О. П. Никифоровой.

Следует отметить, что «Общество экспертов России по недропользованию» (ОЭРН) является российским аналогом зарубежных центров персональных компетенций объединяющих Компетентных лиц.

Разрабатываемый ныне «Российский Кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых», относящийся к кодексам семейства CRIRSCO, как и действующая отечественная классификация запасов [19], предполагает необходимость использования при оценке запасов специальных количественных методов.

Причем такие методы должны обладать определенным статусом: «Для выполнения количественной оценки могут использоваться методы и подходы, рекомендованные к применению решением ОЭРН» (пункт 17).

Таким образом, с принятием методических рекомендаций [65] угольная отрасль первой в России методически подготовлена к использованию Российского Кодекса публичной отчетности.

Полный текст «Методических рекомендаций...» [65], содержание которых представляет определенный интерес для практических работников угольной отрасли, полностью приведен в качестве приложения к настоящему изданию и, по понятным причинам, дублирует некоторые ранее приведенные формулы и рисунки.

7.2. Программное обеспечение мониторинга достоверности запасов

Для автоматизации работ по мониторингу достоверности запасов разработано специальное программное обеспечение, реализующее разработанные авторами алгоритмы, – программа «MDZ», правомочность применения которой подтверждена вышеупомянутыми протоколами экспертно-технических советов ФГУ «ГКЗ» и ОЭРН.

Данная программа обеспечивает выполнение работ по оценке достоверности как в статическом, так и в динамическом (в режиме мониторинга) режимах и имеет дружественный интерфейс, ориентированный на непрофессионального пользователя.

При старте программы пользователю предлагается основное меню, состоящее из семи режимов: «Данные»; «Расчет критериев»; «Адаптация»; «Установки»; «Сервис»; «Информация»; «Выход».

Работа в программе начинается с режима «Установки» (рис. 7.1).

The screenshot shows the 'Установки' (Settings) window. At the top, there are input fields for 'Предприятие' (Company) and 'Пласт' (Layer). Below these are sections for coefficients and classification criteria. The 'Коэффициенты пересчета дельта-критериев' section has a table with columns for 'для 0,68', 'для 0,80', and 'при дельта меньше'. The 'Пределные погрешности для категорий запасов' section has a table with columns for 'категория А', 'категория В', and 'категория С₁'. There are also checkboxes for 'относительные' and 'абсолютные' criteria, and buttons for 'Сохранить в специальном файле', 'Загрузить из специального файла', 'Указать средние по бассейну', 'Обнулить', 'Инструкция', and 'Завершить'.

Рис. 7.1. Панель режима «Установки»

В нем указываются наименования рассматриваемых признаков (помимо предусмотренного по умолчанию признака «гипсометрия», пользователь может указать до восьми дополнительных признаков), число отображаемых знаков в их значениях, предельные значения их погрешностей для различных категорий запасов, а также коэффициенты перехода от критериев разведанности к погрешностям.

Для всех дополнительных восьми признаков, достоверность изучения которых оценивается с помощью дельта-критериев разведанности, указывается также вид используемого для классификации критерия (относительный или абсолютный). Кроме того, выбирается уровень надежности оценок (0,68 или 0,80).

Для каждого признака предусматривается несколько вариантов указания коэффициентов перехода. В случае если коэффициенты перехода определены без учета ограничений, то в графы «при лямбда менее» и «при дельта меньше» заносятся нулевые значения (так как это показано на рис. 7.1). Если выполняется ограничения, то в этих графах указывается пороговое значение критерия. При этом если массив сопоставление обработан без разделения на подмассивы то в графах коэффициентов указываются одинаковые, а при разделении – различные.

Введенные установки могут быть сохранены в специальном или в стандартном, загружаемом по умолчанию файле (имеющем строго определенное наименование). При сохранении установок в стандартном файле обращение к режиму установки при последующих обращениях к программе может не производиться, т. к. данный файл будет загружаться при старте программы автоматически.

Режим «Данные» имеет два подрежима «Данные геологоразведки» и «Данные горных работ», которые обеспечивают, соответственно, ввод данных по геологоразведочным скважинам и по данным замеров в горных выработках. Данные горных работ используются только при выполнении оценки достоверности в режиме мониторинга и могут не вводиться при выполнении расчетов в статическом режиме.

При вызове подрежима «Данные геологоразведочных работ» на экране возникает панель ввода данных (рис. 7.2). В верхней части панели находятся два, необязательных к заполнению, окна ввода наименований предприятия и пласта.

К числу вводимых в программу исходных данных относятся:

- номер скважины (текстовая переменная);
- плоские геодезические координаты точек плаstopодсечения (колонки «X» и «Y» в метрах или в миллиметрах плана);
- высотная отметка пласта в точке плаstopодсечения («Z», в метрах);

- дирекционный угол направления линии падения пласта в точке замера («Азимут», в градусах);
- угол падения пласта в точке замера («Угол», в градусах);
- данные о значениях признаков, принятых пользователями к обработке в режиме «Установки» (например, мощность пачек, зольность пачек и т. п.).

№	Скважина	X, мм (м)	Y, мм (м)	Z, м	Азимут	Угол	Мощность пачек	Зольность пачек
1	2072	94220.4	145320.6	233.10	317	15	3.25	6,7
2	3380	94559.7	145093.3	129.80	347	7	3.10	
3	3245	94815.7	144887.3	96.10	343	6	2.87	7,4
4	9754	95052.6	144773.5	65.65	325	7	2.94	11,3
5	3238	95225.6	144678.1	40.15	323	8	3.26	8,4
6	1620	93924.6	145130.5	242.50	330	17	3.11	8,1
7	656	94111.1	144936.8	188.00	330	10	3.01	7,9
8	3258	94507.7	144665.3	121.50	331	8	2.77	10,1
9	9750	94678.1	144546.8	96.62	330	7	2.99	
10	9752	94856.2	144463.9	66.90	328	6	3.46	12,1
11	2053	93605.8	145114.0	307.24	326	7	3.12	8,3
12	911	93684.7	145068.9	283.41	326	12	3.43	8,7
13	2059	93761.3	145015.2	263.07	326	12	2.65	9,1
14	615	93916.3	144829.0	214.50	334	7	4.12	11,1
15	2067	93580.1	144792.1	268.85	323	14	2.91	9,7
16	914	93710.8	144710.7	230.48	319	13	3.11	8,4
17	3247	94065.7	144373.3	156.04	352	8	2.15	9,8
18	3219	94530.7	144211.8	97.46	333	6		

Рис. 7.2. Панель подрежима «Данные геологоразведочных работ»

Масштаб плана указывается с помощью переключателя, расположенного в верхней правой части панели. В случае, если в графах «X мм (м)» и «Y мм (м)» плоские координаты X и Y указываются не в миллиметрах плана, а в истинной размерности (в метрах), указывается масштаб 1:1000.

Для обеспечения оценки достоверности гипсометрии используются первые шесть колонок данных, а для остальных признаков – их значения (которые могут иметь пропуски), номера скважин и координаты точек плаstopодсечений.

Для удобства ввода данных в верхней части панели предусмотрена группа переключателей режимов ввода – «Вводимые данные». При включении переключателей соответствующих наименованиям вводимых признаков (указанных пользователем в режиме «Установки») порядок перемещения предлагаемых окон ввода после нажатия клавиши «Enter» будет соответствовать установленному переключателями порядку.

Таблица данных может содержать до 300 строк, что, как показала практика, вполне достаточно для угольных месторождений. Последовательность размещения скважин в таблице не имеет значения, кроме одного исключения. Если по скважине имеется два пересечения пласта (скважина находится в зоне перекрытия), имеющих одинаковые плановые координаты X и Y , то они должны иметь одинаковый номер скважины (т. е. без пометок: «висячее крыло», «лежачее крыло») и обязательно располагаться в соседних строках.

Ввод данных осуществляется в соответствии с общими правилами и настройками Windows.

Нажатие правой клавиши мыши при нахождении курсора на любой строке таблицы ввода приводит к появлению контекстного меню, включающего 6 режимов (рис. 7.2): «Копировать ячейку», «Вставить ячейку», «Удалить ячейку», «Удалить строку», «Расчет углов» и «Вставить из буфера Excel (... колон.)». Первые три действия осуществляются с данными находящимися в ячейках, в которых находится курсор. Режим «Удаление строки» выполняется относительно строки, в которой находится курсор.

Режим «Расчет углов» обеспечивает расчет элементов залегания пласта в точке замера методом перекрещивающихся сечений по формулам (3.5) и (3.6). При старте режима на экране возникает панель (рис. 7.3).

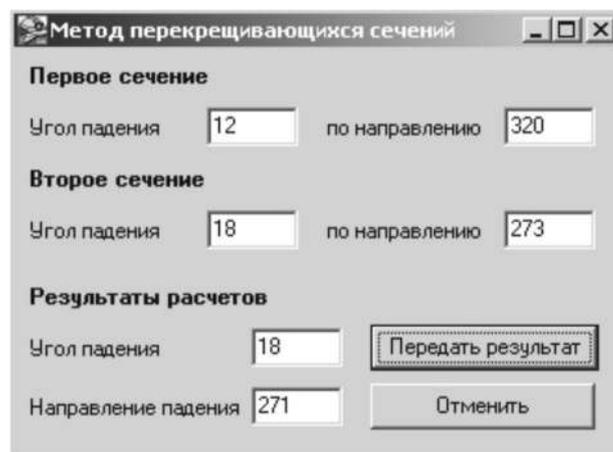


Рис. 7.3. Панель «Расчет углов»

Пользователь должен ввести в графы «Угол падения» и «По направлению» целые числа, соответствующие по значениям углу падения и дирекционному углу направления, вдоль которого производилось измерение этого угла (в градусах). Ввод осуществляется по первому и по второму сечению. Переход из одного окна ввода к следующему рекомендуется осуществлять путем нажатия «Enter».

По заполнению всех четырех окон ввода в окнах «Результаты расчетов» появляются результаты расчета – элементы залегания пласта. «Нажатие» клавиши «Передать результат» приводит к занесению элементов залегания пласта в графы «Азимут» и «Угол» активизированной строки таблицы исходных данных. «Нажатие» клавиши «Отменить» приводит к выходу из режима расчета элементов залегания без передачи данных.

С помощью режима «Вставить из буфера Excel» можно осуществить передачу в таблицу данных, подготовленных в табличном редакторе Excel. Данные всегда передаются в колонки таблицы данных, начиная с первой колонки «Скважина». Для передачи необходимо выделить в документе Excel требуемый блок данных (начиная с данных о номерах замеров), скопировать его в буфер обмена и перейти в программу «MDZ».

Затем необходимо выделить в таблице данных программы «MDZ» любую ячейку, находящуюся в столбце, который соответствует последнему из выделенных столбцов документа Excel. После этого запустить режим «Вставить из буфера Excel» из контекстного меню.

При переносе данных предполагается заполнение ими всех копируемых ячеек таблицы документа Excel. Предполагается, что колонки «Скважина», «X, мм (м)», «Y, мм (м)» обязательно заполнены. Если имеется пропуск в данных об отметках плаstopодсечений, то в ячейке Excel должно быть указано число 10000, пропуск данных в «углах» отмечается числом 120, а в «азимуте» и в остальных данных числом «-1».

В случае если цифровая информация введена некорректно, при выходе из таблицы данных на экране возникнет соответствующее предупреждение. По его закрытию активизируется та ячейка таблицы данных, в которой была допущена синтаксическая ошибка ввода.

Если необходимо быстро осуществить поиск строки, в которой записаны данные по интересующей скважине, используется режим поиска. При этом номер скважины указывается в окне «Поиск скважины» (расположена в правой верхней части панели) и нажимается «Enter». После этого, при наличии отыскиваемой скважины, ячейка таблицы, содержащая ее номер, будет активизирована.

После введения данных рекомендуется записать данные в файл. Для этого «нажимается» клавиша «Записать в файл» – на экране возникает стандартная панель записи. Пользователю необходимо выбрать (или создать) каталог для записи файла, задать его имя и осуществить запись. При указании имени файла его расширение указывать не следует – оно будет сгенерировано автоматически. Все файлы данных имеют единое стандартное расширение «.mz».

Ранее сохраненные данные могут быть введены в программу с помощью клавиши «Загрузить из файла».

Нажатие клавиши «Создать файл Excel» приводит к автоматическому открытию табличного редактора Excel, в который будут помещены введенные исходные данные. Программа «MDZ» не будет при этом закрыта.

При нажатии клавиши «Завершить» программа покидает режим ввода данных. При этом происходит преобразование введенной пользователем текстовой информации в цифровую (кроме данных о номерах точек замеров, которые хранятся только в текстовой форме).

При работе в режиме мониторинга помимо данных по скважинам вводятся результаты замеров, произведенных в горных выработках. Для этого используется подрежим «Данные горных работ» При его запуске не экране возникает панель ввода данных (рис. 7.4). Работа в режиме полностью аналогична работе в режиме ввода данных по скважинам.

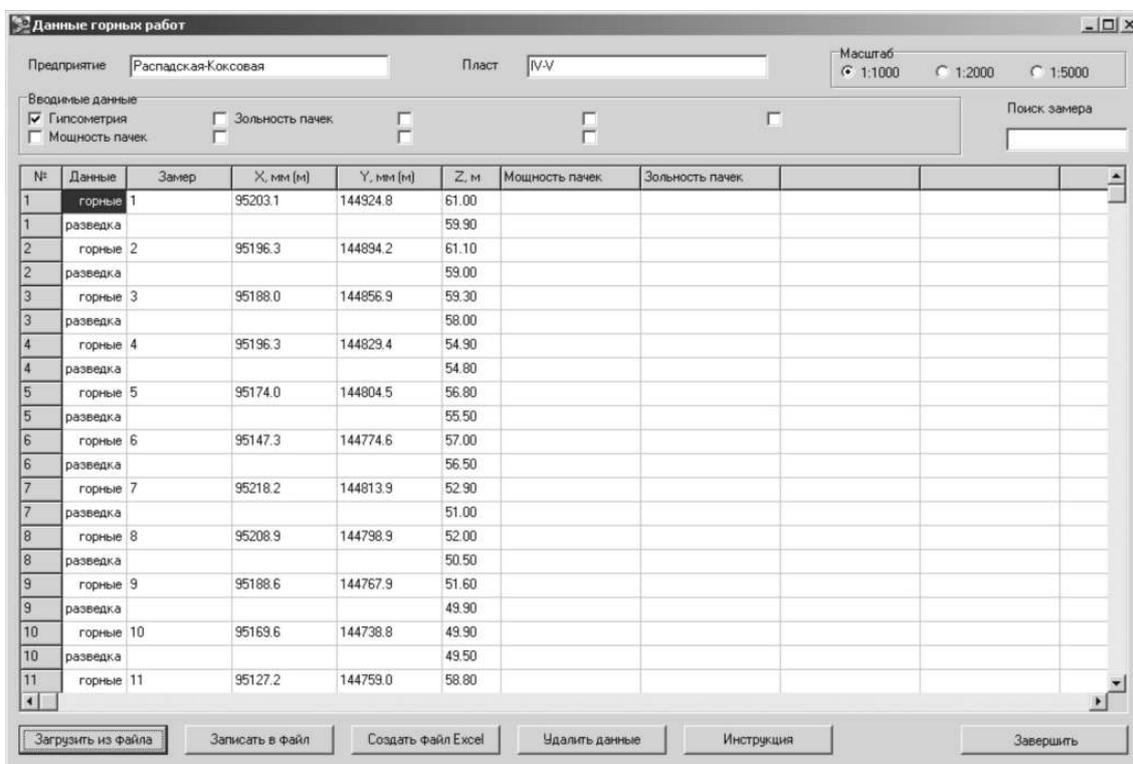


Рис. 7.4. Панель подрежима «Данные горных работ»

К числу вводимых исходных данных относятся:

- номер замера (текстовая переменная без использования пробелов);
- плоские геодезические координаты точек измерения (колонки « X » и « Y » в метрах или в миллиметрах плана);
- высотная отметка пласта в точке замера (« Z », в метрах);
- данные о значениях признаков, принятых пользователями к обработке в режиме «Установки».

Каждому замеру выделяется две строки. Верхняя строка содержит данные горных, а нижняя – геологоразведочных работ. Поскольку номер замера и его координаты X и Y по данным горных и разведочных работ совпадают, повторный их ввод в нижней строке не предусмотрен. Файлы, содержащие данные горных работ, получают единое стандартное расширение «.mzz».

Для расчета критериев разведанности используется режим «Расчет критериев» основного меню программы. Данный режим состоит из двух подрежимов: «Выбор признака» и «Оценка геологоразведки».

Работа начинается с первого подрежима, в котором с помощью переключателя выбирается обрабатываемый признак (гипсометрия или любой из указанных пользователем в режиме «Установки»). По завершению выбора запускается подрежим «Оценка геологоразведки», панель которого изображена на рис. 7.5

При старте режима на панели в произвольном масштабе показывается положение точек плаstopодсечений. В верхней части панели указывается наименование признака и его минимальное и максимальное значение.

Пользователь имеет возможность увеличить или уменьшить изображение (клавиши «Увеличить» и «Уменьшить»).

Кнопка «Нанести номера» обеспечивает переход программы в режим подписывания номеров скважин.

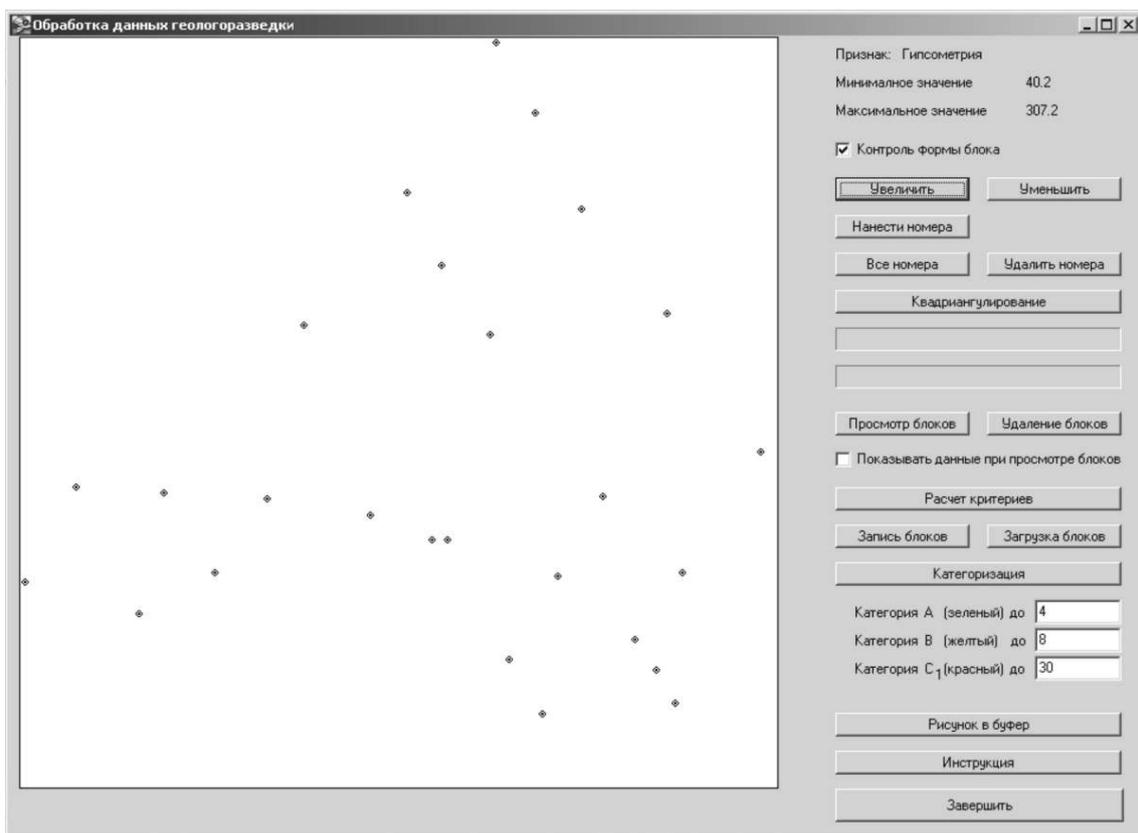


Рис. 7.5. Панель подрежима «Оценка геологоразведки»

Для подписи номера необходимо установить маркер мыши (имеющий форму креста) на скважину, нажать левую кнопку и, не отпуская ее, переместить номер в нужное место. При отпускании кнопки мыши место расположения подписи фиксируется.

Нажатие кнопки «Все номера» приводит к подписыванию номеров одновременно всех скважин. Корректировка положений номеров производится в режиме «Нанести номера». Нажатие кнопки «Удалить номера» удаляет все номера скважин с экрана.

Выполнение квадриангулирования, т. е. разделение сети на систему выпуклых четырехугольников с вершинами – точками пласто-подсечений выполняется интерактивно после выбора режима квадриангулирования с помощью клавиши «Квадриангулирование». После этого пользователь должен указать маркером мыши первую скважину четырехугольника и нажать левую клавишу мыши (в качестве первой скважины может приниматься любая скважина сети).

При этом в окне под клавишей входа в режим появится указание на номер скважины в блоке («1-я скважина») и на ее истинный номер. Затем, обходя четырехугольник по или против направления движения часовой стрелки, пользователь выбирает (нажатием левой клавиши мыши) вторую, третью (как на рис. 7.6) и четвертую скважины четырехугольника.



Рис. 7.6. Фрагмент панели подрежима «Оценка геологоразведки» при выполнении квадриангулирования

Стороны выделяемого четырехугольника выделяются красным цветом. После выбора четвертой скважины выполняется оценка геометрической формы блока и, при некорректной форме блока (в случае включения переключателя автоматического контроля формы – «Контроль формы блока»), выдается информация о некорректной форме блока. Если выделенный четырехугольник не является выпуклым, то результаты его выделения аннулируются без предупреждения. Если форма блока корректна, то его стороны окрашиваются четным цветом, а в окне появляется информация об общем количестве уже выделенных и принятых в обработку оценочных блоков (четырёхугольников).

Если по скважине имеется два подсечения (скважина расположена в зоне перекрытия крыльев), имеющих одинаковые координаты X и Y , то при ее выборе при квадриангулировании на экране появляется панель выбора и информация о значениях признаков по обоим пересечениям (рис. 7.7).

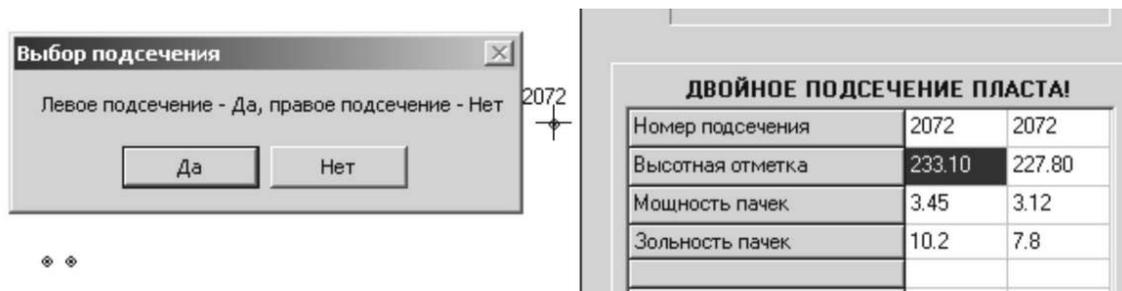


Рис. 7.7. Фрагмент панели подрежима «Оценка геологоразведки» при выборе плаstopодсечения с двукратным подсечением пласта

Кнопка «Просмотр блоков» обеспечивает возможность удаления любого из ранее выделенных четырехугольников. Для этого пользователь должен установить маркер мыши внутрь интересующего блока и нажать правую клавишу мыши. При этом блок будет выделен цветом, а на экране появится контекстное меню с двумя режимами: «Оставить блок» и «Удалить блок» (рис. 7.8).

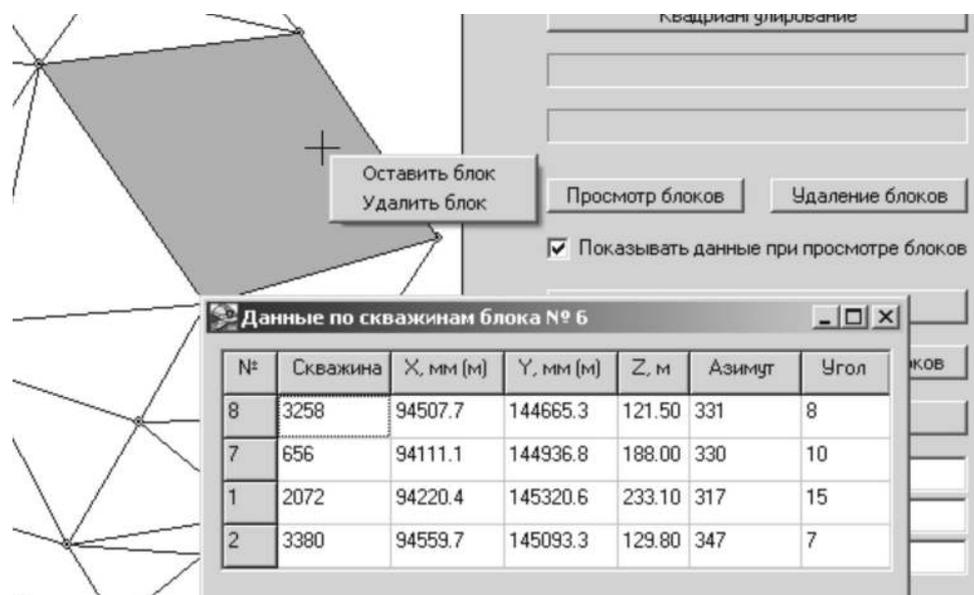


Рис. 7.8. Фрагмент панели подрежима «Оценка геологоразведки» в режиме просмотра выделенных блоков

Выбор «Удалить блок» приводит к удалению выделенного четырехугольника.

В случае если переключатель «Показывать данные при просмотре блоков» был включен, помимо указанного контекстного меню на экран выведутся данные по скважинам – вершинам блока (рис. 7.8).

Нажатие кнопки «Удаление блоков» приводит к удалению всех ранее выделенных блоков. После завершения квадрирования осуществляется расчет критериев разведанности. Для этого нажимается кнопка «Расчет критериев», и на экране появляется панель (рис. 7.9) результата расчета критериев (при оценке гипсометрии используются ламбда-критерии, при оценке остальных признаков – дельта-критерии).

№	1 вершина	2 вершина	3 вершина	4 вершина	Ламбда (верт.)	Ламбда (норм.)	Погрешность модели, м	Площадь, тыс. м2	Категория
1	20147	20177	10602м	11837	1.7	1.5	3	29	A
2	11837	20921	10654м	10602м	3.2	3.0	3	35	A
3	10654м	10655м	20902	20921	6.6	6.5	4	64	A
4	20921	11849	20918	20902	2.0	2.0	3	115	A
5	20902	20746	20852	10655м	4.7	4.7	3	94	A
6	20019	20746	958	20291	10.5	10.5	6	149	B
7	20019	20291	959	20020	4.1	4.1	2	171	A
8	20020	20270	20023	959	1.6	1.6	3	129	A
9	20023	11658	20028	20270	2.2	2.2	3	133	A
10	20852	20253	20275	10655м	9.4	9.4	6	153	B
11	10655м	10654м	2605	20275	8.0	7.9	5	109	B
12	10655м	10654м	2612	2605	3.3	3.2	2	89	A
13	10654м	10602м	11659	2612	0.4	0.4	3	46	A
14	10602м	20177	2598	11659	3.5	3.1	2	53	A
15	2598	20659	20651	11659	1.3	1.2	3	55	A

Вероятность оценки погрешности модели 0,68
 Коэффициент перевода = 0,60
 Пороговое значение критерия = 3,0 при меньшем критерии коэффициент перевода = 0,95

Рис. 7.9. Панель результатов расчетов критериев разведанности

На панели приводятся наименование признака, принятые пользователем в режиме «Установки» вероятность оценок и значение коэффициента перевода критериев в погрешности (если его значение не было указано, то на панели размещается соответствующая информация), а также собственно таблица результатов расчетов.

Таблица расчета содержит колонки с порядковым номером оценочного четырехугольного блока, номера скважин – его вершин, значения критериев разведанности (для гипсометрии лямбда-критериев, в вертикальном и в нормальном пласту направлении, для остальных признаков – абсолютный и относительный дельта-критерии), ожидаемая погрешность модели, площадь проекции оценочного блока в тысячах квадратных метрах и рекомендуемая категория запасов.

Погрешность модели гипсометрии выражается только в метрах, моделей остальных признаков в абсолютных или в относительных единицах (в зависимости от размерности, указанной пользователем в режиме «Установки»).

Если вершиной блока является скважина с двойным подсечением пласта, то под ее номером указывается высотная отметка использованного подсечения.

Предпоследняя и последние строки таблицы содержат средние значения рассчитанных характеристик и среднеквадратические отклонения их текущих значений от среднего (строка «Отклонения»).

В нижней части панели приводится информация о принятом уровне вероятности оценок и величине использованного коэффициента перехода от неопределенности к погрешности. В случае, если при выполнении оценки погрешности учитывалось пороговое значение критерия, то оно и коэффициент перехода, применяемый для допороговых критериев, также указываются на панели.

При обработке данных по указанным пользователем дополнительным признакам (т. е. кроме гипсометрии) в верхней части панели выдается сообщение о результатах оценки правомерности интерполяции, которое может иметь две формы:

- «Интерполяция признака не правомерна, критерии не информативны (отношение – 0,85)»;
- «Интерполяция признака правомерна (отношение – 0,57)».

Оценка правомерности выполняется в соответствии с методикой, изложенной в подразделе 2.5. Величина указываемого в сообщении отношения автоматически рассчитывается по формуле (2.24) при статическом подходе или по формуле (5.10) при использовании данных мониторинга.

В случае правомерности выполнения интерполяции в нижней правой части панели дополнительно отображается кнопка «Оценка погрешности положения изолиний». При ее «нажатии» на экране возникает специальная панель (рис. 7.10).

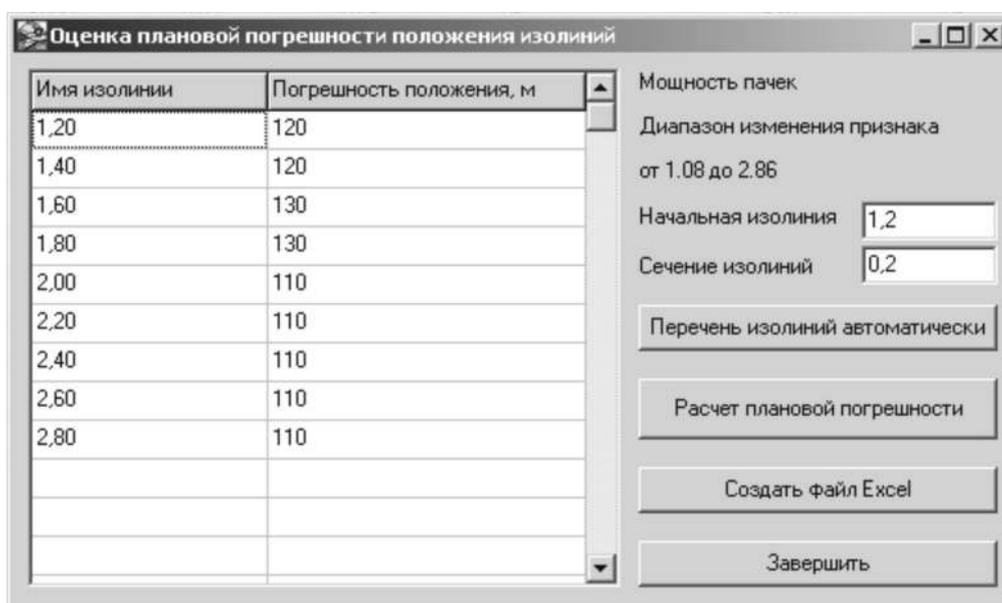


Рис. 7.10. Панель оценки погрешности планового положения изолиний

Для определения погрешностей планового положения изолиний, пользователь должен занести в графу «Имя изолинии» их значения и нажать клавишу «Расчет плановой погрешности».

В результате будут определены искомые погрешности, которыми будет заполнена колонка «Погрешность [планового] положения [изолинии], м». При указании имен изолиний не следует предлагать имена, превышающие максимальное и меньшие, чем минимальное значение признака (диапазон изменения признака приводится в верхней части панели).

Для облегчения процесса ввода имен изолиний можно ввести в графу «Начальная изолиния» имя изолинии с наименьшим (из рассматриваемых) значением признака, а в графу «Сечение изолиний» – рассматриваемое значение изолиний и нажать клавишу «Перечень изолиний автоматически». В результате произойдет автоматическое заполнение столбца «Имя изолинии», который может быть отредактирован и пополнен пользователем. Нажатие кнопки «Создать файл Excel» приводит к автоматическому открытию табличного редактора «Excel» с передачей в него таблицы плановых погрешностей

Передача полученных значений критериев разведанности обеспечивается «нажатием» кнопки «Таблицу в Excel» (рис. 7.9).

После завершения квадратулирования и расчета критериев рекомендуется записать блокировку в файл. Для этого используется кнопка «Запись блоков» – при ее «нажатии» на экране возникает стандартная панель записи. Пользователю необходимо выбрать (или создать) каталог для записи файла, задать его имя и осуществить запись (по умолчанию пользователю предлагается имя, совпадающее с именем файла, в котором сохранены данные геологоразведки). При указании имени файла его расширение указывать не следует, оно будет сгенерировано автоматически. Расширение файла зависит от номера обрабатываемого признака. Для гипсометрии используется расширение «.mza», первого и последующих указанных в режиме «Установки» признаков, соответственно, «.mzb», «.mzc», «.mzd», «.mze», «.mzf», «.mzg», «.mzh», «.mzi».

Ранее сохраненные данные по блокам могут быть введены в программу с помощью клавиши «Загрузка блоков». При «нажатии» кнопки «Категоризация» выполняется построение картограммы разведанности, при этом квадратулированная часть сети скважин окрашивается соответствующими различным категориям запасов цветами в зависимости от величины ожидаемых погрешностей (рис. 7.11).

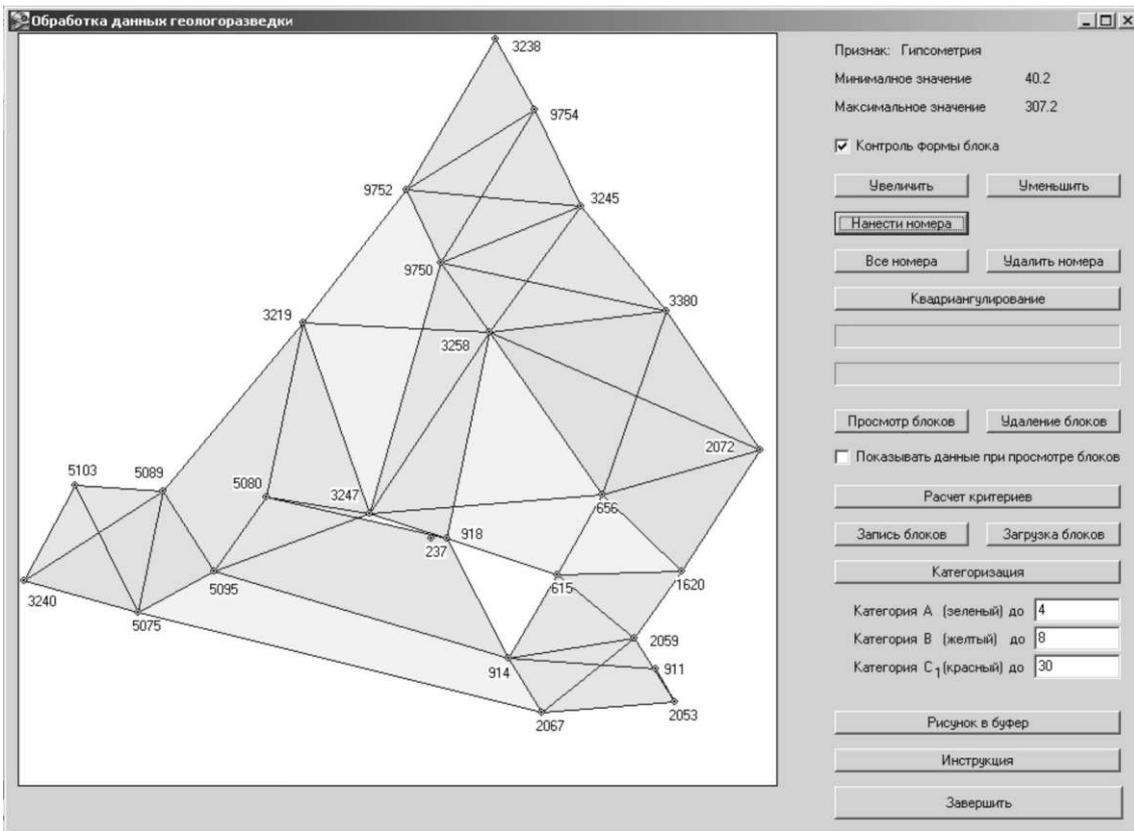


Рис. 7.11. Панель построения картограммы разведанности

На участках перекрытия блоков друг другом указывается цвет низшей категории. Предельные значения погрешностей для различных категорий приводятся на панели и соответствуют указанным в режиме «Установки».

«Нажатие» кнопки «Рисунок в буфер» приводит к помещению изображения в стандартный буфер обмена, из которого его можно внедрить в документы текстовых, табличных и графических редакторов. Построение картограммы разведанности является итоговой процедурой оценки достоверности запасов, выполняемой как на основе статического, так и динамического подхода.

Для реализации предусмотренной мониторингом достоверности запасов процедуры корректировки коэффициентов пересчета критериев разведанности в погрешности признаков используется режим «Адаптация».

Работа начинается с подрежима «Систематические погрешности», который обеспечивает выявление наличия и величины систематической погрешности данных геологоразведочных работ. При его старте на экране возникает панель (рис. 7.12), на которой указывается величина возможной величины систематической погрешности (вычисленной на основе сопоставления данных горных и разведочных работ), а также коэффициент конкордации, характеризующий ее значимость.



Рис. 7.12. Панели подрежима «Систематические погрешности» режима «Адаптация»

В случае если значение коэффициента превышает 0,6, систематическая погрешность признается (путем «нажатия» кнопки «Принять в обработку») значимой и подлежащей учету в дальнейших расчетах. В противном случае нажимается кнопка «Не принимать в обработку» – при этом в дальнейших расчетах систематическая погрешность полагается равной нулю.

Если систематическая погрешность положительна по знаку, то это означает, что значение признака по данным геологоразведки занижено, если отрицательна, то завышено в сравнении с данными горных работ.

Собственно установление коэффициентов пересчета критериев разведанности в погрешности признаков (ранее упомянутых коэффициентов K_g и K_p) осуществляется в подрежиме «Коэффициенты перехода».

При старте режима появляется панель (рис. 7.13), на которой показывается положение плаstopодсечений (в форме окружностей) и замеров в горных выработках (в форме «косых» крестов). В верхней части панели указывается наименование признака.

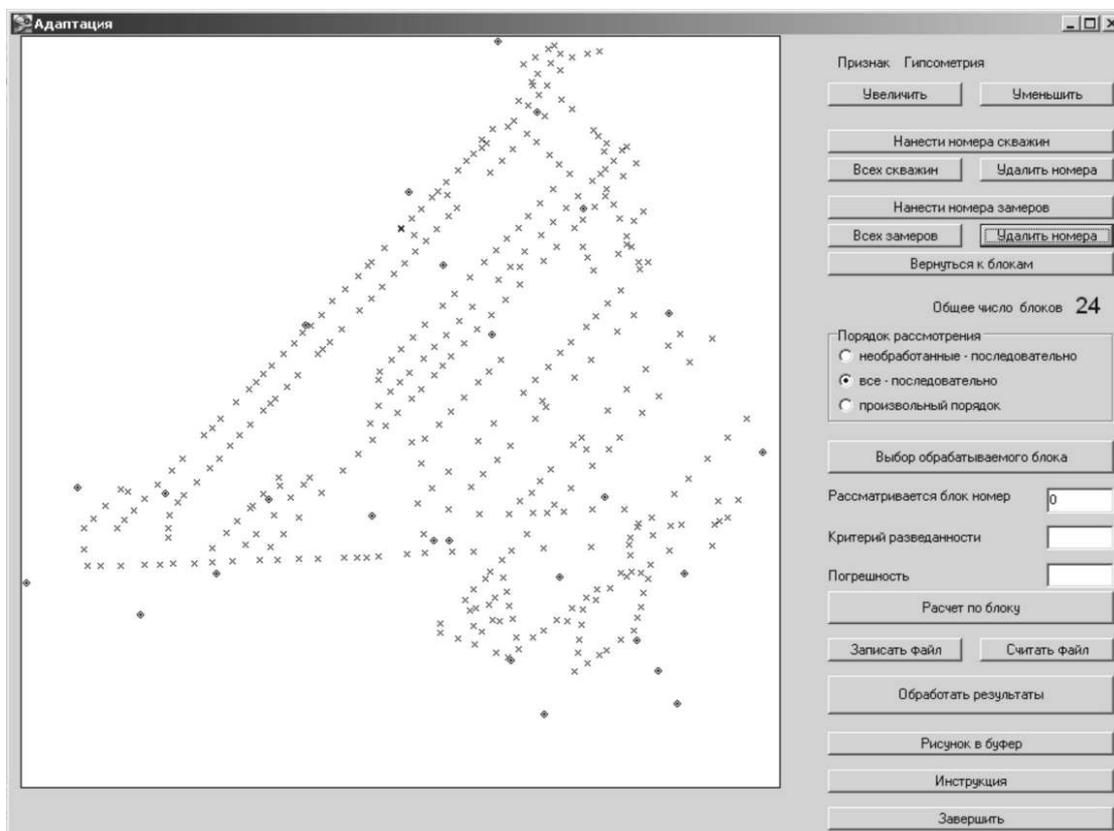


Рис. 7.13. Панели подрежима «Коэффициенты перехода»
режима «Адаптация»

Как и в подрежиме «Оценка геологоразведки» пользователь имеет возможность увеличить или уменьшить изображение.

Кнопки «Нанести номера скважин» и «Нанести номера замеров» обеспечивают переход программы в нанесения на график номеров скважин и замеров, работа в котором совпадает с порядком, указанным при описании подрежима «Оценка геологоразведки». Подписывание номеров может осуществляться из любого режима, но предполагает обязательность выхода из него с помощью кнопки «Вернуться к блокам».

Первая задача работы в подрежиме «Коэффициент перехода» состоит в определении истинной погрешности горно-геометрической модели в пределах контура оценочного четырехугольного блока. Она решается путем расчета среднеквадратического отклонения данных горных и геологоразведочных работ в точках замеров, относящихся к рассматриваемому оценочному блоку.

Предусмотрено три варианта порядка рассмотрения оценочных блоков, устанавливаемых с помощью группы трех переключателей «Порядок рассмотрения».

Вариант «Все – последовательно» предполагает, что блоки будут рассматриваться в порядке роста их порядковых номеров (порядка квадриангулирования), начиная с номера, следующего за рассмотренным до его выбора (при входе в режим с блока № 1).

Вариант «Необработанные – последовательно» также предполагает рассмотрение блоков в порядке роста их номеров. Однако при этом все ранее обработанные блоки будут пропускаться.

Вариант «Произвольный порядок» предоставляет возможность принять к обработке блок с произвольным номером.

После выбора порядка рассмотрения блоков «нажимается» кнопка «Выбор обрабатываемого блока». Если был принят «Произвольный порядок», то на экране возникает таблица номеров блоков (рис. 7.14). Номера сформированных при квадриангулировании блоков выделяются в таблице цветом (красным – уже обработанные, зеленым – не обработанные).

Выбор блока для обработки осуществляется установкой курсора мыши на необходимый номер и нажатием левой клавиши мыши. Если блок уже был ранее обработан, на экране возникает предупреждение с предложением либо отказаться от обработки блока, либо выполнить ее повторно. Подобное предупреждение возникает и при использовании режима выбора «Все – последовательно».

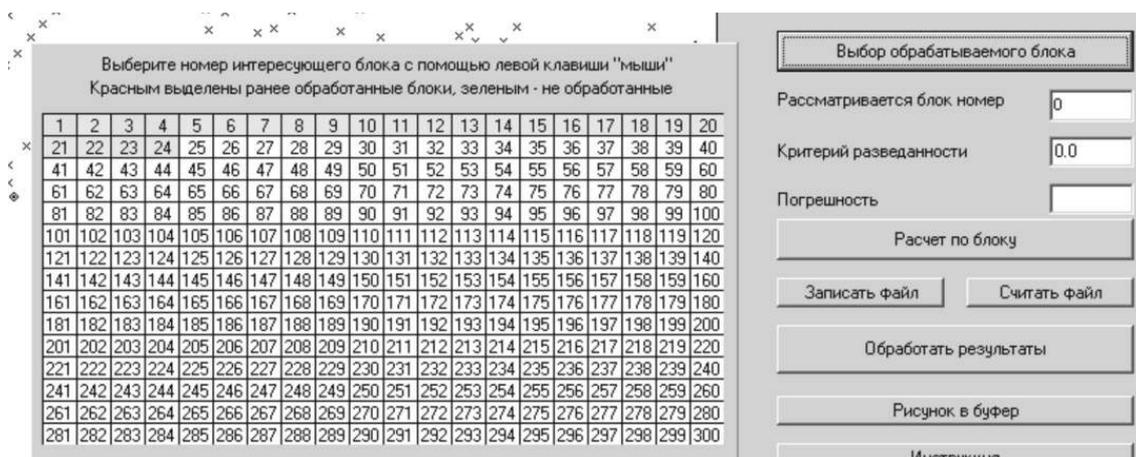


Рис. 7.14. Фрагмент панели подрежима «Коэффициенты перехода» в режиме выбора обрабатываемых блоков в произвольном порядке

После выбора блока в таблице (в других режимах – сразу после «нажатия» кнопки «Выбор обрабатываемого блока») в графической части панели отображаются границы предлагаемого к обработке блока.

Контур выбранного блока показывается на графической части панели, его номер и значение критерия разведанности указываются в окнах, расположенных под кнопкой «Выбор обрабатываемого блока» (рис. 7.15).

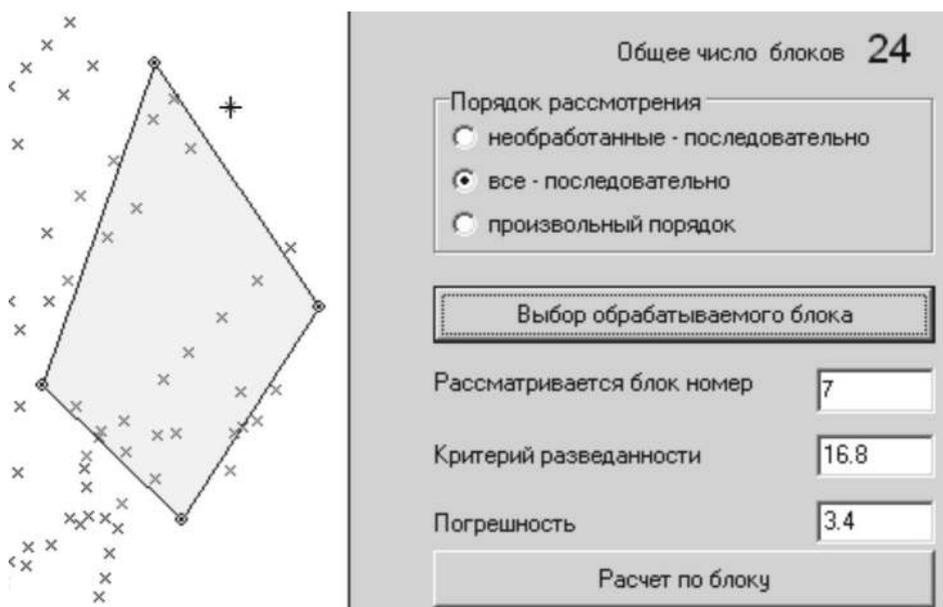


Рис. 7.15. Фрагмент панели подрежима «Коэффициенты перехода» в режиме выбора относящихся к блоку замеров в горных выработках

Замеры внутри блока принимаются для оценки погрешности, величина которой указывается в специальном окне. Признаком учета замера является красный цвет его условного обозначения. При необходимости пользователь, устанавливая курсор мыши на замер и нажимая ее левую клавишу, может выбрать дополнительные, окружающие блок замеры, которые будут учтены при расчете погрешности (при этом цвет их знака меняется на красный).

Повторный выбор замера приводит к его исключению из расчетов (цвет условного знака сменится на черный). Целесообразность исключения замера, находящегося внутри контура оценочного четырехугольника может быть вызвана необходимостью обеспечения равномерности размещения замеров по его площади.

Включение и исключение каждого замера из обработки сопровождается выполнением расчета среднеквадратической погрешности.

После завершения выбора замеров «нажимается» кнопка «Расчет по блоку». Если обработку блока выполнять нет необходимости (замеры отсутствуют, либо их мало), нажимается кнопка «Выбор обрабатываемого блока».

При нажатии кнопки «Расчет по блоку» на экране возникает панель расчета (рис. 7.16). На панели указываются номер блока, наименование его вершин (скважин), значение критерия разведанности, наименование обрабатываемого признака и величина учтенной при расчетах систематической погрешности.

В находящейся на панели таблице указаны номера использованных замеров в горных выработках, значения признака в них и результаты промежуточных расчетов. В качестве указанной в последней строке таблицы погрешности горно-геометрической модели принимается среднеквадратическая разность значений признака по данным горных и геологоразведочных работ в замерах, отнесенных к оценочному блоку.

Результаты расчета по блоку № 7 (2072 - 1620 - 656 - 3380), критерий: 16.8

Признак Гипсометрия

Замер	Данные разведки	Данные разработки	Разность - d	(d - C)	(d - C) ²
341	204.8	197.3	7.5	7.5	56.25
342	203.3	202.0	1.3	1.3	1.69
343	195.0	193.8	1.2	1.2	1.44
229	168.3	168.2	0.1	0.1	0.01
339	211.3	211.1	0.2	0.2	0.04
340	208.4	207.8	0.6	0.6	0.36
344	213.8	213.9	-0.1	-0.1	0.01
286	214.2	211.7	2.5	2.5	6.25
195	119.2	119.6	-0.4	-0.4	0.16
291	245.8	234.3	11.5	11.5	132.25
345	189.6	189.1	0.5	0.5	0.25
Сумма	5081.9	5041.9	40.0	40.0	298.92
Среднее	195.5	193.9	1.5	1.5	11.5
Среднеквадратич.					3.4

Систематическая погрешность (C): отсутствует

Передать в Excel Вернуться Не принимать в обработку Принять для обработки

Рис. 7.16. Фрагмент панели подрежима «Коэффициенты перехода» в режиме выбора расчета погрешности по блоку

Приведенные в таблице результаты сопоставлений рекомендуется анализировать на предмет выявления ошибочных и нехарактерных результатов, появление которых связано с использованием в качестве замеров точек маркшейдерской сети не всегда однотипно расположенных по отношению к пласту: например, в кровли и на почве.

При необходимости удаление замера из обработки может быть осуществлено непосредственно из таблицы. Для этого ячейка, подлежащая удалению, выделяется (например, ячейка замера 291 на рис. 7.15), нажимается правая кнопка мыши – на экране появляется контекстное меню, содержащее предложение по удалению замера, после чего сопоставление может быть игнорировано (удалено) или сохранено.

«Нажатие» кнопки «Передать в Excel» панели приводит к автоматическому открытию редактора Excel, в который будет экспортирована таблица расчета погрешности (программа «MDZ» закрыта не будет). Если пользователь удовлетворен результатами расчета, то нажимается кнопка «Принять для обработки», и результаты будут сохранены для дальнейшего использования. В противном случае «нажимается» кнопка «Не принимать в обработку» (блок не принимается в дальнейшую обработку), либо кнопка «Вернуться» (в этом случае осуществляется возврат к выбору замеров, относящихся к рассматриваемому блоку). «Нажатие» любой из трех перечисленных кнопок закрывает панель обработки.

После обработки блока «нажимается» кнопка «Выбор обрабатываемого блока», и программа переходит к рассмотрению следующего четырехугольника. После завершения обработки группы блоков (в том числе и при перерыве в работе) результаты можно сохранить в файле. Для этого используется кнопка «Записать файл» (рис. 7.13), после «нажатия» которой на экране возникает стандартная панель записи. Пользователю необходимо выбрать (или создать) каталог для записи файла, задать его имя и осуществить запись. При указании имени файла его расширение не следует указывать – оно будет сгенерировано автоматически.

Расширение файла зависит от номера обрабатываемого признака. Для гипсометрии используется расширение «.mz1», первого и последующих указанных признаков, соответственно, «.mz2», «.mz3», «.mz4», «.mz5», «.mz6», «.mz7», «.mz8». Ранее сохраненные данные могут быть введены в программу с помощью клавиши «Считать файл». Корректность использования ранее сохраненных данных обеспечивается только в случае, если после их записи пользователь не удалял оценочные блоки, выделенные на момент записи (дополнение блоков допускается).

После завершения обработки блоков переходят собственно к расчету коэффициентов пересчета критериев в погрешность – это обеспечивается нажатием кнопки «Обработка результатов».

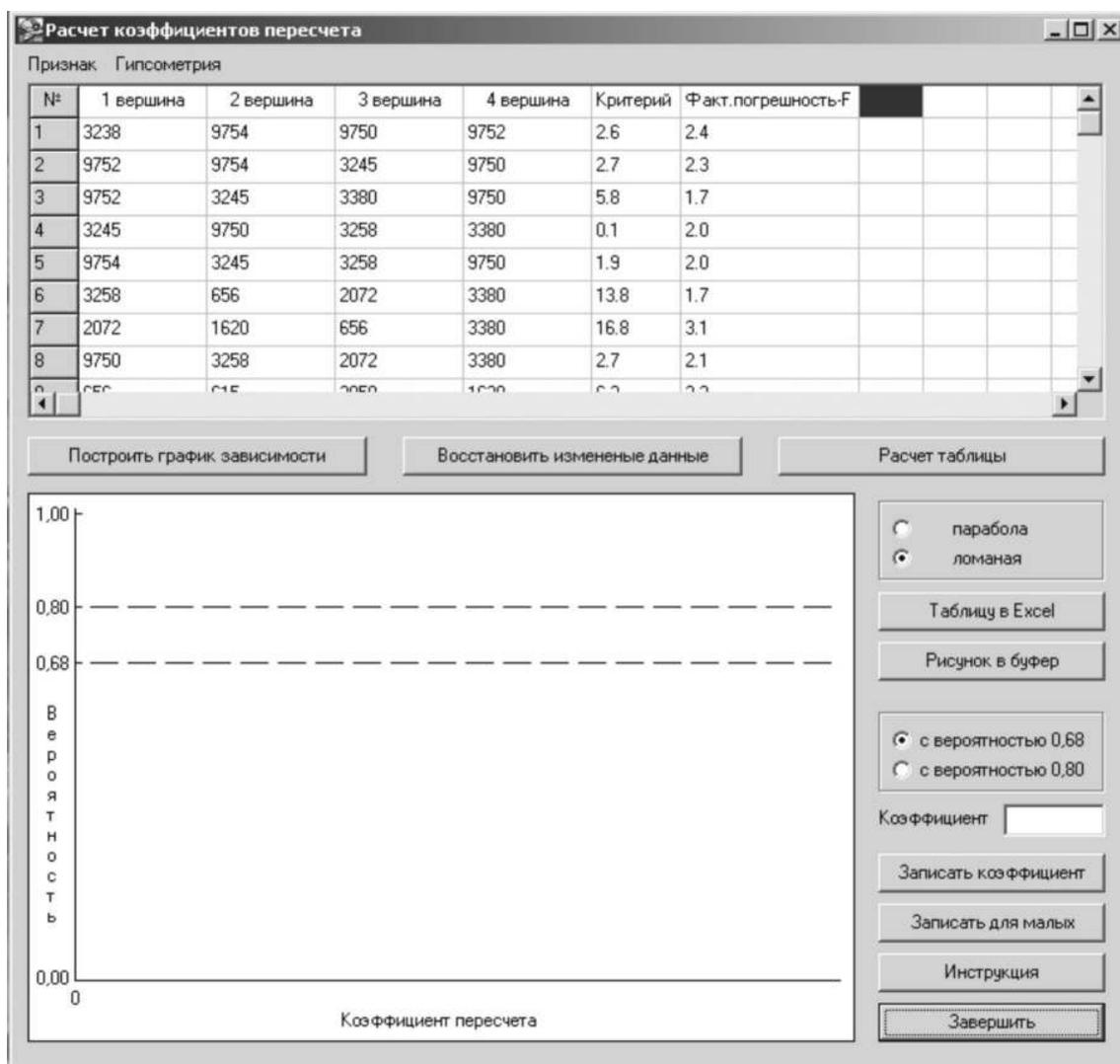


Рис. 7.17. Панель подрежима «Расчет коэффициентов пересчета»

При старте подрежима появляется панель (рис. 7.17). На панели указывается наименование признака, и приводится сводная таблица, содержащая номера скважин – вершин блоков, критерии разведанности и погрешности по блокам.

Работа в подрежиме начинается с анализа полученных данных в графическом режиме. Для этого «нажимается» кнопка «Построить график зависимости».

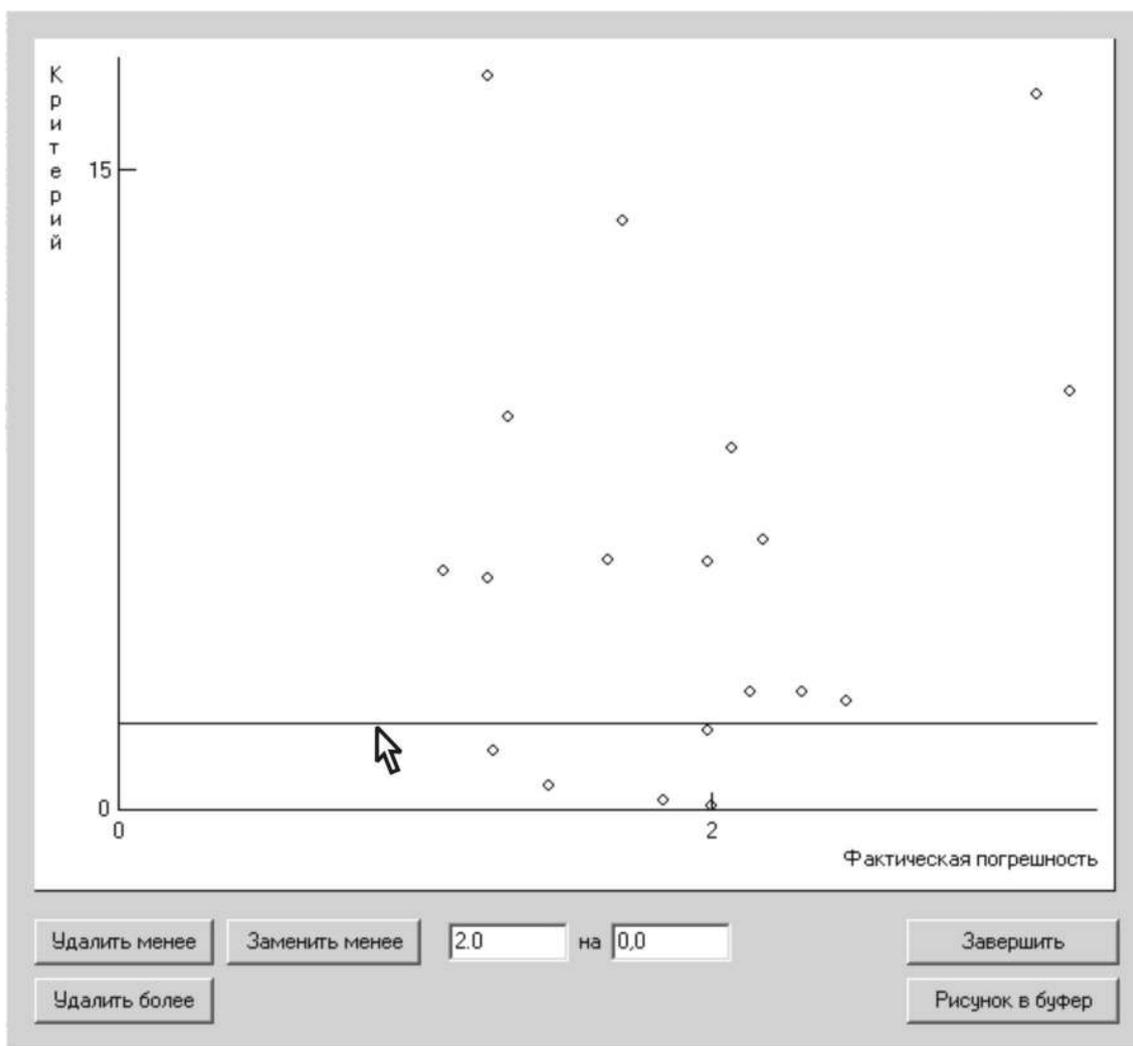


Рис.7.18. Панель анализа характера зависимости критериев разведенности от фактических погрешностей модели подрежима «Расчет коэффициентов пересчета»

На поле этого графика (рис. 7.18) будет отображена «зависимость» погрешностей от критериев разведенности (каждая его точка соответствует оценочному блоку).

При помещении курсора мыши на поле графика и нажатии ее левой кнопки появляется горизонтальная линия, положение которой соответствует значению критерия, отображаемому в специальном нижнем левом окне. Не отпуская кнопку мыши, данную прямую можно свободно перемещать по полю графика.

Как уже отмечалось в теоретической части работы, наличие в выборке оценочных блоков с неоправданно низкими значениями критериев существенно искажают результаты расчетов, в связи с чем они должны либо исключаться из расчетов, либо заменяться на заданное пороговое значение.

Выполнение именно такого рода ограничений и обеспечивает рассматриваемый подрежим. После установления горизонтальной линии графика в нужное положение (либо прямого указания величины граничного значения критерия в левом окне ввода) все блоки, расположенные ниже этой линии, можно удалить путем «нажатия» клавиши «Удалить менее». При таком подходе можно впоследствии осуществить поиск величины коэффициента перехода для критериев, превышающих пороговое значение.

Нажатие клавиши «Удалить более» позволяет определить индивидуальный коэффициент перехода для малых критериев.

В случае целесообразности ограничения критериев «нажать» клавишу «Заменить менее», и малые значения критериев будут заменены пороговым значением, указанным в правом окне ввода.

После выполнения указанных действий панель графика будет закрыта (в случае отсутствия необходимости внесения изменения в данные панель «нажимается» кнопка «Завершить»). Для того, чтобы просмотреть результаты выполненной корректировки, необходимо вновь «нажать» клавишу «Построить график зависимости». Отменить все произведенные изменения можно с помощью кнопки «Восстановить измененные данные» (рис. 7.17).

Для поиска оптимального значения коэффициента пересчета в верхнюю строку таблицы необходимо ввести несколько возможных вариантов (от 1 до 12 вариантов) значений коэффициентов пересчета (например: 1,0; 1,2; 0,7; 0,9; 1,4 – рис. 7.19). После ввода любого количества вариантов нажимается кнопка «Расчет таблицы».

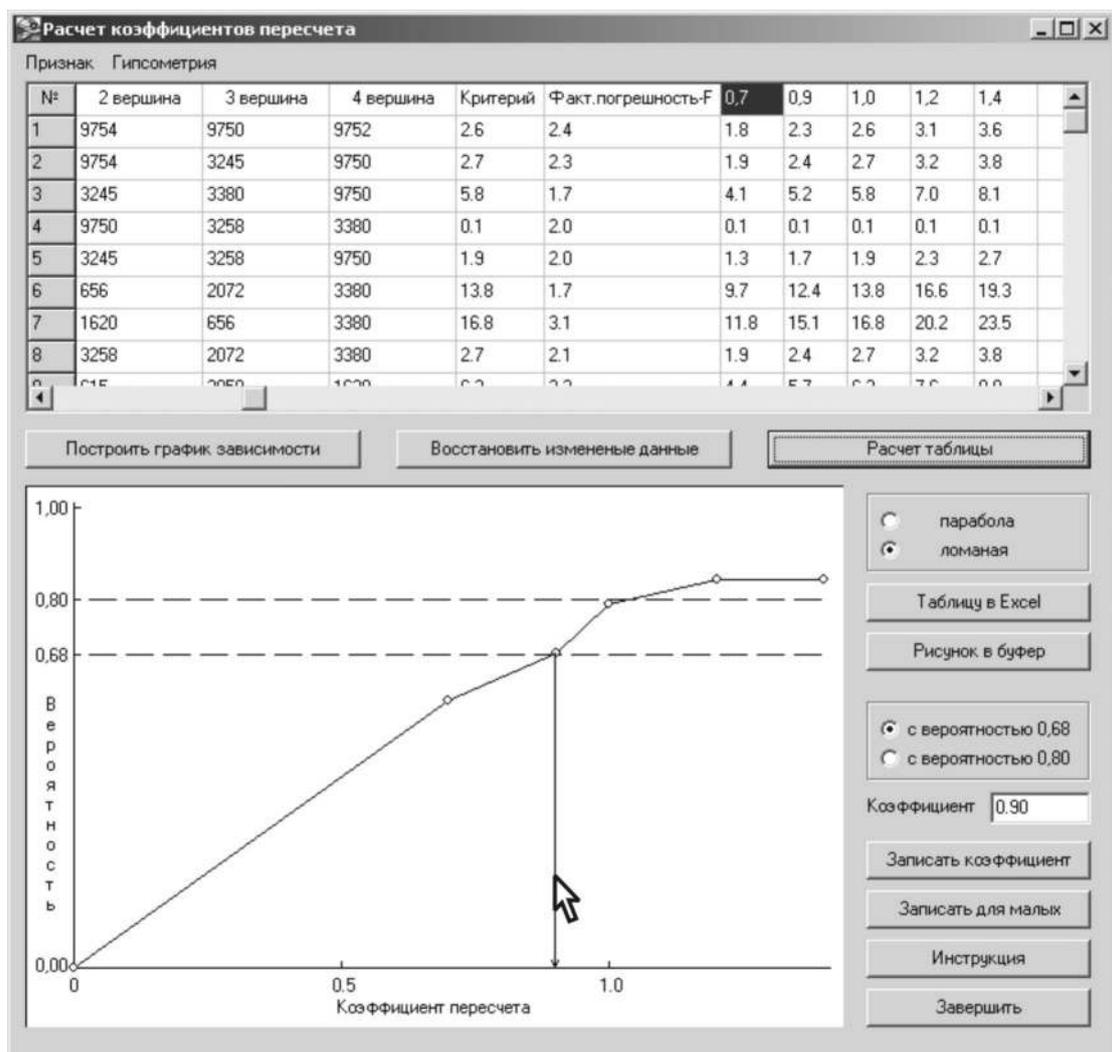


Рис. 7.19. Панель подрежима «Расчет коэффициентов пересчета» при установлении величины коэффициентов пересчета критериев в погрешности

В результате этого таблица заполняется – для каждого блока рассчитывается теоретическая погрешность, а для всей группы блоков – эмпирическая вероятность того, что фактическая погрешность не превысит теоретическую (нижняя строка таблицы). При этом в графической части панели показывается график зависимости вероятности от коэффициентов пересчета. Этот график отображается в двух вариантах: в виде ломаной прямой, соединяющей точки (рис. 7.19), или аппроксимирующей параболы.

Выбор варианта графика производится с помощью переключателя, имеющего два варианта «Парабола» и «Ломаная». Для смены варианта построения графика необходимо изменить его с помощью переключателя и «нажать» «Расчет таблицы».

На графике, пунктирными линиями, показываются линии, соответствующие двум уровням вероятности (0,80 и 0,68). После построения графика с помощью переключателя устанавливается вероятность (0,68 или 0,80), для которой рассчитывается коэффициент.

Далее пользователь перемещает курсор в поле графика, нажимает и удерживает левую клавишу мыши: на экране возникает изображение вертикальной стрелки. Не отпуская кнопку мыши, стрелку перемещают по графику влево или вправо до тех пор, пока ее положение не совпадет с точкой пересечения графика и пунктирной линии вероятности (0,68 рис. 7.19). При перемещении стрелки значение коэффициента, соответствующего ее положению отражается в окне «Коэффициент». Отпускание левой клавиши мыши фиксирует положение стрелки.

Нажатие кнопки «Передать в Excel» панели приводит к автоматическому открытию редактора Excel, в который будет экспортирована таблица расчета коэффициентов (программа «MDZ» закрыта не будет). Кнопка «Рисунок в буфер» приводит к передаче изображения графика в стандартный буфер обмена, из которого его можно внедрить в документы текстовых, табличных и графических редакторов.

«Нажатие» клавиши «Записать коэффициент» приводит к передаче значения коэффициента в блок установок режима «Установки». Для передачи индивидуального значения коэффициента, полученного для малых критериев, «нажимается» кнопка «Записать для малых». Если обработка данных выполнялась путем замены малых значений пороговыми значениями, то коэффициенты для малых и больших значений должны быть равны.

В связи с этим для передачи таких результатов нажимается две кнопки «Записать коэффициент» и «Записать для малых». После смены уровня вероятности процедура установления коэффициента пересчета повторяется.

Полученные в результате указанных действий значения коэффициентов пересчета K_g и K_p будут использоваться программой при выполнении категоризации запасов в режиме «Оценка геологоразведки».

Режим «Сервис» главного меню программы содержит вспомогательные процедуры, основной из которых является процедура построения и анализа кривой разведанности, используемой для оценки правомерности интерполяции высотных отметок пласта.

При старте режима «Построение кривой разведанности» на экране отображается его панель (рис. 7.20). При работе в режиме пользователь последовательно вводит в соответствующие окна данные о средних значениях лямбда-критериев, их среднеквадратических отклонениях от среднего, числе оценочных блоков и средней площади проекции блоков для исходной и для двух разреженных сетей скважин.

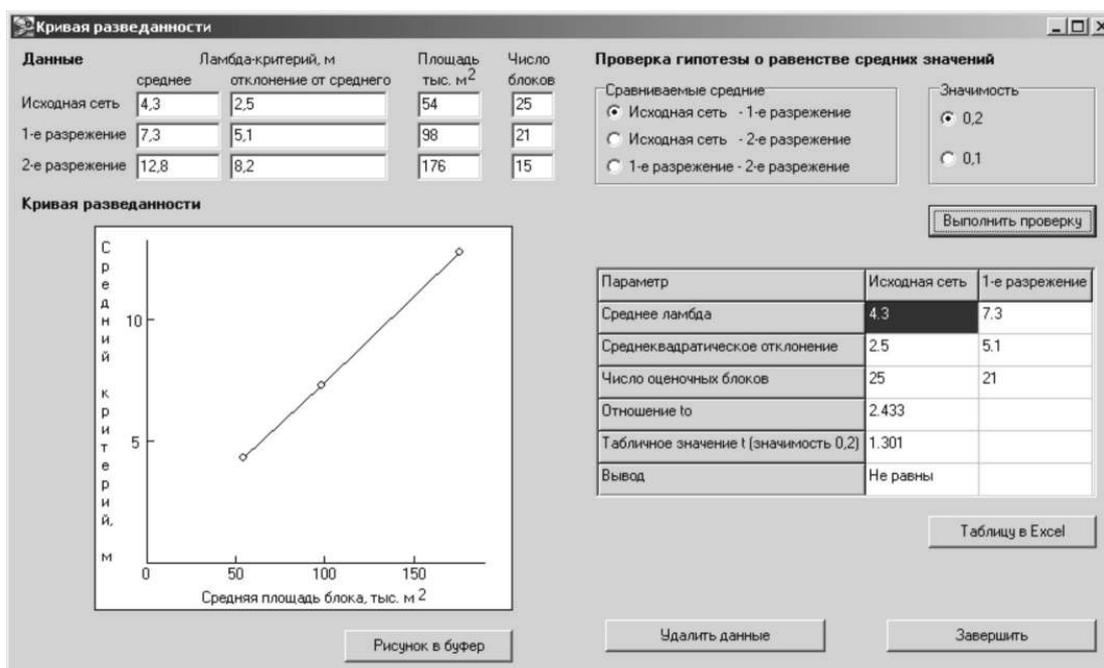


Рис. 7.20. Панель режима «Построение кривой разведанности»

После завершения ввода данных на экране отображается кривая разведанности. Изображение кривой может быть помещено в стандартный буфер обмена путем «нажатия» кнопки «Рисунок в буфер». Кроме того, пользователь имеет возможность осуществить проверку статистической гипотезы о равенства средних значений лямбда-критериев по различным вариантам сети наблюдений. Проверка может выполняться при двух различных уровнях значимости, устанавливаемых с помощью переключателя.

Для выполнения проверки необходимо определить с помощью переключателя «Сравнимые средние» сопоставляемые варианты сети скважин и «нажать» кнопку «Выполнить проверку». После этого в специальной таблице будут представлены основные данные к расчету, его результаты и вывод. «Нажатие» кнопки «Таблицу в Excel» приводит к автоматическому открытию табличного редактора Excel, в который будет помещена таблица. Программа «MDZ» закрыта не будет.

Представление результатов теоретических исследований в форме реализованных в программе алгоритмов потребовало от авторов значительных затрат труда, какие-либо сторонние специалисты к разработке программы не привлекались. Однако авторы не сожалеют о затраченном на это времени. Реализация разработанных теоретических предложений в форме алгоритмов, не являющейся, строго говоря, научной задачей позволило выявить и устранить все возможные неопределенности действий и, в ряде случаев, потребовало их научно-го решения.

В целом наличие компьютерного обеспечения мониторинга достоверности запасов позволило перевести данную разработку из научно-исследовательской стадии в инженерную.

7.3. Кадровое обеспечение мониторинга достоверности запасов

В результате выполненной работы создано научное, методическое и программное обеспечение мониторинга достоверности запасов угольных месторождений. Однако полномасштабное внедрение полученных результатов в практику работы угольной отрасли могут обеспечить только практические работники угольной отрасли.

В связи с этим совершенно естественной стадией разработки системы мониторинга является стадия профессиональной подготовки обеспечивающих выполнение мониторинга инженерных кадров.

Такая подготовка осуществляется авторами в Кузбасском государственном техническом университете в рамках «опережающего» профессионального обучения студентов маркшейдерской специальности, имеющего целью подготовку будущих молодых специалистов к решению еще только назревающих проблем.

Для получения необходимых знаний авторами было инициировано включение в перечень учебных дисциплин регионального компонента студентов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело», двух дисциплин: «Оценка риска пользования недрами» и «Горно-геометрический мониторинг геотехногенных систем» [64].

Дисциплина «Оценка риска пользования недрами» преподается студентам четвертого курса в объеме 70 ч (в том числе 18 ч лекций и 16 – лабораторных занятий). В рамках лекционного курса студенты изучают основные факторы риска осуществления недропользования на различных этапах развития горных предприятий, порядок принятия государственных и корпоративных решений по организации недропользования, особенности действующей российской классификации запасов, международный шаблон отчетности о ресурсах и запасов CRIRSCO (с детальным описанием австралийского кодекса JORC), принципы и методы количественной оценки риска пользования недрами по фактору неполноты горно-геометрических знаний о состоянии недр.

Рассматриваются принципы и методы качественной экспресс-оценки степени риска, а также порядок организации учета факторов риска при планировании развития горных работ и формировании сбытовой политики предприятия и некоторые другие проблемы, сопряженные с перечисленными.

Для практического закрепления получаемых знаний выполняются три лабораторных работы. Первая из них, занимающая половину всех выделенных часов, вызывает наибольший интерес обучаемых.

В качестве исходных данных студентам индивидуально предоставляется краткое геологическое описание реально существующих участков недр (в формате, используемом Федеральным агентством по недропользованию при объявлении конкурсов и аукционов).

Задача студента состоит в том, чтобы выявить все возможные риски при принятии корпоративного решения по их вовлечению в эксплуатацию, определить мероприятия по управлению рисками и критерии его успешности.

Результатом работы является макет служебной записки, подготавливаемый студентом от имени руководителя маркшейдерской службы, содержащий результаты выполненной оценки и рекомендации. Написание записки является, как показывает практика, первым опытом работы обучаемых в части подготовки подобных документов и вызывает у них наибольшие затруднения.

Выполнение лабораторной работы предполагает активное участие преподавателя, который детально рассматривает выводы студентов, иллюстрирует результаты проявления факторов риска конкретными примерами из практики организации недропользования в Кузбассе. Обсуждение происходит в открытом режиме, при котором каждый студент знакомится со спецификой участков анализируемых коллегам, с их выводами и ошибками.

В результате выполнения работы студенты лучше понимают специфику отечественной системы недропользования, характер возникающих проблем и пути их решения, причины и характер взаимодействия различных служб угледобывающих предприятий. Чрезвычайно полезным представляется также и первичный опыт подготовки служебных записок технического содержания.

Две другие лабораторные работы имеют достаточно традиционный вид: в процессе их выполнения студенты по индивидуально предоставляемым данным осуществляют «ручной» расчет количественных критериев разведанности гипсометрии, мощности и зольности пласта, а также выполняют качественную экспресс-оценку степени риска освоения участка недр. В результате изучения дисциплины студент начинает понимать основные проблемы, связанные с достоверностью горно-геометрической информации, отечественную и международную практику ее оценки, основные подходы выполнения количественной оценки в статичном режиме. Тем самым он постепенно подводится к идее и к необходимости выполнения количественного мониторинга достоверности запасов. Изучение дисциплины перед направлением на вторую производственную практику позволяет обучаемому несколько шире воспринимать возникающие на предприятиях проблемы, с которыми он столкнется в процессе ее прохождения.

Дисциплина «Горно-геометрический мониторинг геотехногенных систем», «почва» для изучения которой была создана на предыдущем курсе, изучается студентами пятого курса в объеме 120 ч (в том числе 30 ч лекций и 30 ч – лабораторных занятий). Лекционная часть курса направлена на получение знаний о государственных требованиях к содержанию горно-геометрического мониторинга как составной части мониторинга месторождений твердых полезных ископаемых, организации, содержанию и методическом обеспечении мониторинга достоверности горно-геометрической информации, получению первичных представлений о системах обработки и анализа горно-геометрической информации.

В рамках курса рассматриваются мониторинг зольности добываемого угля и его использование при управлении качеством полезного ископаемого, а также технология горно-геометрического прогноза дизъюнктивных нарушений и адаптация его методики в режиме мониторинга.

Лабораторная часть курса включает в себя три работы, которые выполняются на персональных компьютерах. Наибольшее время выделяется на первую лабораторную работу «Мониторинг достоверности горно-геометрической информации», занимающую три четверти всего «звонкового» времени. Работа выполняется с использованием учебной версии вышерассмотренной прикладной программы «MDZ», внешне ни чем не отличающейся от ее рабочего варианта.

При выполнении работы каждому студенту выдаются необходимые сведения по двум фрагментам шахтного поля: уже отработанному и только намеченному к отработке. По данным разведочных работ отработанной части участка студент в статическом режиме выполняет оценку достоверности запасов по факторам изученности гипсометрии и мощности пласта с помощью методик [88, 65].

Затем, используя данные, полученные в ходе ведения горных работ, осуществляет адаптацию методики (в режиме мониторинга) к условиям конкретного участка и применяет полученные результаты к геологоразведочным данным неотработанной части пласта, получая актуализированные оценки достоверности представлений о его строении. Оценивается возможная степень нарушенности неотработанной части пласта и ожидаемая доля списаний и неподтверждений запасов. Ежегодно несколько студентов выполняют лабораторную работу на фактических материалах, собранных в период второй производственной практики. В этом случае полученные материалы, как правило, используются в качестве основы специальной части дипломных проектов и дипломных работ.

Вторая лабораторная работа обеспечивает получение практических навыков в области прогноза зольности добываемых углей. В ходе ее выполнения студент осваивает не только технологию прогнозирования, но и моделирует процессы изменения качества угля при применении механизированных комплексов различных типоразмеров, выбирая наилучший из них по критерию получения максимальной стоимости реализуемой углепродукции.

Третья лабораторная работа посвящена обучению технологии прогнозирования тектонических аномальных зон в пределах подготовленного выемочного столба.

Несложно заметить, что представленные дисциплины регионального компонента подготавливают молодых специалистов к практическому решению задачи оценки достоверности горногеометрических моделей. К настоящему времени в Кузбассе уже подготовлено более 100 специалистов, которые в состоянии практически ее решать.

8. Метод уравнивания сетей геологоразведочных измерений

8.1. Понятие уравнивания

Получаемые в ходе применения ранее рассмотренных критериев разведанности оценки относятся к категории информации о результатах «взаимодействия» изучаемого геологического объекта и используемой для сети измерений, т. е. относятся к категории горно-геометрической информации. В философском плане знание характера пространственного изменения степени познания объекта само по себе является позитивным «знанием», использование которого позволяет повысить уровень его изучения. Такое понимание результатов оценки достоверности позволяет поставить задачу о разработке методов обеспечивающих их использование в целях повышения качества горно-геометрического моделирования. В качестве такого метода авторами предложен метод уравнивания сетей геологоразведочных измерений.

Разработка метода уравнивания была начата в 1977 году, а первая открытая публикация появилась в 1979 году [78]. 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 применительно к горно-геометрической информации попытки применения математического аппарата уравнивания до 1977 г. никогда не предпринимались и соответствующие идеи не высказывались.

Сущность уравнивания сетей геологоразведочных измерений состоит в следующем. Пусть дана сеть измерений (рис. 8.1).

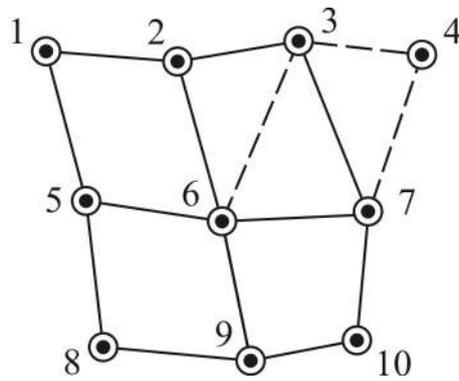


Рис. 8.1. К понятию уравнивания сети геологоразведочных измерений

Квадриангулируем ее, т. е. разделим на систему выпуклых четырехугольных оценочных блоков, которые могут перекрывать друг друга (например, 1–2–6–5, 5–6–9–8, 2–3–7–6, 3–4–7–6 и 6–7–10–9).

Для каждого оценочного блока, в соответствии с формулой (2.1) определим критерий разведанности K_p (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, то и полученные поправки объективно зависят от этих факторов. Именно эта зависимость и лежит в основе уравнивания как метода анализа.

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 используемым в геодезии методом условий и сводится к следующему. Пусть нами уравнивается признак P , зная который, по каждому k -му четырехугольному блоку сети по правилу $f(P_{1k}, P_{2k}, P_{3k}, P_{4k})$ находится значение необходимого критерия разведанности K_{pk} . Тогда можно записать систему, состоящую из n уравнений вида

$$f(P_{1k}, P_{2k}, P_{3k}, P_{4k}) = K_{pk}, \quad (8.1)$$

где P_{ik} – значение признака в скважине (замере), входящей в k -й оценочный блок под условным номером i .

Для того чтобы в уравнениях (8.1) устранить невязки, необходимо исправить результаты измерений в каждом ik -м замере на некоторую поправку ε_{ik} , т. е. превратить их в уравненные значения

$$U_{ik} = P_{ik} + \varepsilon_{ik} \quad (8.2)$$

Следовательно, после уравнивания, должно быть получено

$$f(P_{1k} + \varepsilon_{1k}, P_{2k} + \varepsilon_{2k}, P_{3k} + \varepsilon_{3k}, P_{4k} + \varepsilon_{4k}) = 0. \quad (8.3)$$

Вычтем из каждого из n уравнений вида (8.3) соответствующее уравнение типа (8.1) и получим систему из n уравнений вида

$$\sum_{i=1}^4 a_{ik} \varepsilon_{ik} = -K_{pk_i}, \quad (8.4)$$

где a_{ik} – числовой коэффициент.

Если (8.4) не линейно, то уравнение вида (8.3) предварительно разлагается в ряд Тейлора [39], 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 (8.4). Далее система, состоящая из уравнений типа 8.4, решается под условием минимума суммы квадратов поправок.

Квадриангулирование сети замеров для уравнивания целесообразно производить несколько иначе, чем для расчета критериев разведанности. Основные отличия в подходах к квадриангулированию состоят в том, что при уравнивании:

- необходимо исключать использование блоков или их групп, вообще не имеющих общих точек с другими блоками;
- целесообразно чтобы все выделяемые четырехугольники сети замеров имели общие стороны;
- в целях выполнения вышеперечисленных рекомендаций, допустимо использование блоков неоптимальной формы.

Допустимость последнего условия объясняется тем, что при уравнивании критерии разведанности выполняют функции объективно существующего геометрического условия, а при оценке достоверности – показателя ожидаемой степени неоднозначности геометрической модели.

8.2. Уравнивание мощностей и показателей качества углей

Пусть имеются t оценочных блоков, образованных n замерами (существует статистически надежная связь вида $t = 1,032n - 8$), по каждому из которых известна невязка – абсолютный дельта-критерий Δ_i .

Для производства уравнивания формируется таблица 8.1, строки которой соответствуют блокам, а столбцы – скважинам.

Таблица 8.1

Таблица производных a_{ik}

Номер блока (k)	Номер скважины (i)				
	1	2	3	...	n
1	a_{11}	a_{21}	a_{31}	...	a_{n1}
2	a_{12}	a_{22}	a_{32}	...	a_{n2}
...
...
...
t	a_{1t}	a_{2t}	a_{3t}	...	a_{nt}

В каждую ячейку таблицы заносятся значения коэффициентов a_{ik} (i – номер скважины, k – номер блока). Если данная скважина i не входит в блок k , то $a_{ik} = 0$, а если входит, то a_{ik} определяется в зависимости от условного номера скважины в блоке (в табл. 8.1 используются фактические их номера):

$$\begin{aligned}
 & \text{– для скважины № 1:} & a_{ik} &= 1 - x; \\
 & \text{– для скважины № 2:} & a_{ik} &= x' - 1; \\
 & \text{– для скважины № 3:} & a_{ik} &= x; \\
 & \text{– для скважины № 4:} & a_{ik} &= -x',
 \end{aligned}
 \tag{8.5}$$

где параметры x и x' , равно как и условные номера скважин, определяются в соответствии с комментариями к формуле (2.7).

Таким образом, в каждой строке табл. 8.1 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. 8.2, куда записываются суммы произведений строк табл. 8.1 – S_{ik} (где i и k – номера перемножаемых строк табл. 8.1).

Таблица 8.2

Таблица произведений строк табл. 8.1

Номера строк	1	2	3	...	t
1	S_{11}	S_{21}	S_{31}	...	S_{t1}
2	S_{12}	S_{22}	S_{32}	...	S_{t2}
...
...
...
t	S_{1t}	S_{2t}	S_{3t}	...	S_{tt}

Так S_{11} является результатом перемножения строки 1 саму на себя:

$$S_{11} = \sum_{i=1}^t a_{i1}^2 ; \quad S_{12} = \sum_{i=1}^t (a_{i1}a_{i2})$$

и так далее.

По полученным суммам записывается система уравнений

$$\begin{aligned}
 S_{11}K_1 + S_{21}K_2 + \dots + S_{t1}K_t &= -\Delta_1 \\
 S_{12}K_1 + S_{22}K_2 + \dots + S_{t2}K_t &= -\Delta_2 \\
 \dots & \\
 S_{1t}K_1 + S_{2t}K_2 + \dots + S_{tt}K_t &= -\Delta_t
 \end{aligned} \tag{8.6}$$

в результате решения которой, находятся коррелаты K_i .

После этого каждая k -я строка табл. 8.1 умножается на корреляту K_k , а полученные произведения складываются по столбцам (то есть по замерам):

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^t a_{ik} \cdot K_k . \quad (8.7)$$

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, которые, при качественном уравнивании, должны принимать нулевые значения.

Практически уравнивание может быть выполнено только на ЭВМ. Для этого разработана специальная программа «LUR».

8.3. Выделение аномальных замеров мощностей пластов и показателей качества угля с помощью уравнивания

Задача выделения аномальных (ураганных) замеров является одной из до сих пор 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, 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 [15]) 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 точка зрения В. М. Крейтера (примечание 1 на с. 295 [24]): «Мы считаем, что никаких исключительных («ураганных») проб вообще не существует, и само понятие «ураганная проба» – исторический пережиток. Только несовершенство наших приемов опробования 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, в связи с тем, что поправка к значению признака обусловлена техническими погрешностями измерений и интерполирования.

Следовательно, если значение поправки резко выделяется по своей величине (рис. 8.2), необходимо сделать вывод: либо признак определен по данному замеру с существенной ошибкой (в этом случае замер должен быть исключен из рассмотрения), либо в окрестности данной скважины имеет место резкое изменение характера поведения изучаемого признака (замер необходимо использовать при производстве оценки возможной точности геометризации).

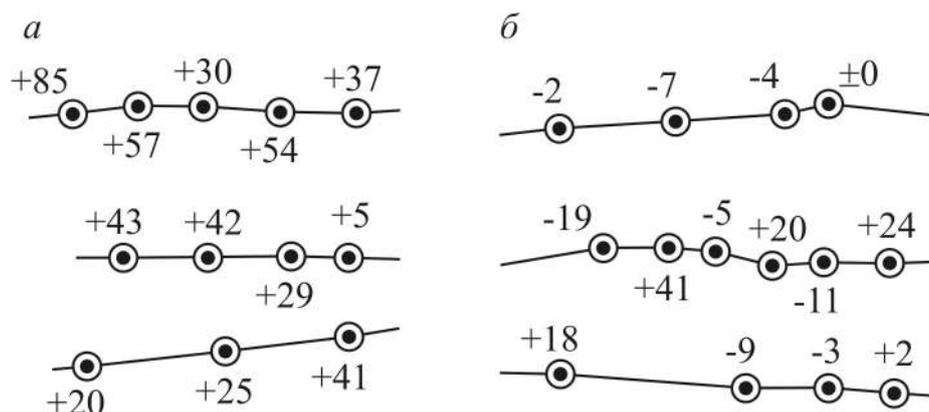


Рис. 8.2. Результаты уравнивания сетей замеров мощности пластов по полю шахты «Нагорная», размерность поправок – сантиметры: *a* – фрагмент разведочной сети по пласту 14; *б* – фрагмент разведочной сети по пласту 8^б

Поэтому, данный метод выделения ураганных замеров автоматически учитывает не только результат произведенного замера, но и его пространственное положение. В качестве примера, в таблице 8.3 приведены значения поправок к практически одинаковым по величине мощностям (от 0,96 до 1,03 м), измеренным в скважинах, пробуренных по угольному пласту Семеновскому (геологический участок «Ровненский» Кемеровского района Кузбасса).

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

Таблица 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. 8.2, *а*) и 273 (рис. 8.2, *б*) факторов. Этим обеспечивается глубина анализа. Напомним, что в соответствии с принципом психологической обзорности человек в состоянии анализировать одновременно не более чем 7 ± 2 фактора.

Выделение аномалий может быть осуществлено двумя путями.

Первый путь состоит в отбраковке замеров по уровню значений поправок [78]. 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. 8.3).



Рис. 8.3. Гистограмма распределения и теоретический нормальный закон распределения значений поправок к зольности (основная пачка пласта Волковского по участку «Глушинский»)

Поэтому признаком аномальности i -го замера при рассматриваемом подходе является выполнение условия:

$$\varepsilon_i \geq t\sigma_\varepsilon, \quad (8.8)$$

где t – квантиль нормального распределения; σ_ε – среднеквадратическое значение поправки, определяемое по формуле

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}, \quad (8.9)$$

где n – количество замеров.

Практический опыт показывает, что в большинстве случаев целесообразно принимать $t=1,8$, что соответствует 7 % доли аномальных замеров (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 [79]. Оценка работоспособности метода в плане его использования в указанном направлении выполнена по результатам многовариантного разрежения разведочной сети по россыпному месторождению золота (опробованного по сети 5×5 м). В качестве интегральных показателей качества метода использовались общепринятые характеристики [15]:

– 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 (не реагирования) больших (более +20 %) исходных положительных погрешностей.

Для рассматриваемого метода они составили, соответственно, 1,53 и 13 %. Лучший из известных методов (упрощенный метод П. Л. Каллистова) имеет худшие показатели: 1 и 33 % [15]. Являясь эффективным при подсчете запасов высокоизменчивых россыпных месторождений, метод должен являться таковым и при оценке ряда характеристик угольных.

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. 8.4).

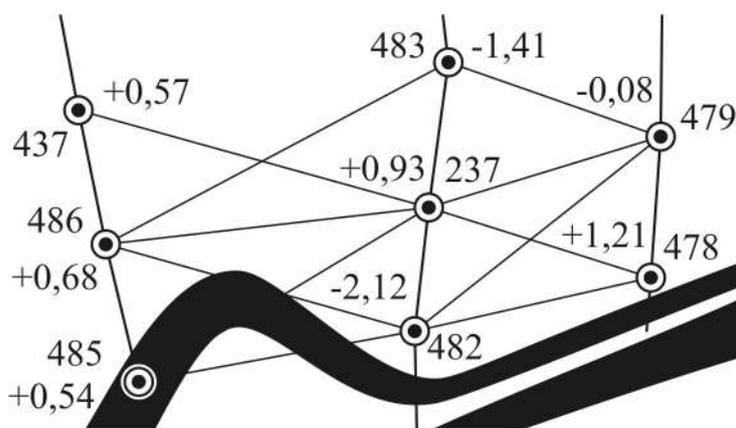


Рис. 8.4. Результаты уравнивания сети определений содержания общей серы в угле пласта 1 Ишидейского месторождения Иркутской области

Во-первых, на плане выделяются пары соседних замеров (практически ими будут являться стороны и диагонали выделенных оценочных блоков).

Во-вторых, оформляется таблица 8.4, 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 произвольно задается критический уровень приращений $U_{кр}$ (1,0 % в табл. 8.4.). Разности поправок, превышающие $U_{кр}$, маркируются (в табл. 8.4 они 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.

Таблица 8.4

Таблица приращений поправок

Исход- ный замер (<i>i</i>)	Направ- ление на замер (<i>j</i>)	Разность поправок $\Delta\varepsilon = |\varepsilon_i - \varepsilon_j|$	Исход- ный замер (<i>i</i>)	Направ- ление на замер (<i>j</i>)	Разность поправок $\Delta\varepsilon = |\varepsilon_i - \varepsilon_j|$
437	483	1,98	483	437	1,98
	237	0,36		486	2,09
	486	0,11		237	2,34
486	437	0,11	482	479	1,33
	483	2,09		485	2,66
	237	0,25		486	2,80
	482	2,80		237	3,05
485	485	0,14	479	479	2,04
	486	0,14		278	3,33
	237	0,39		483	1,33
237	282	2,66	478	482	1,01
	437	0,36		237	2,04
	483	2,34		478	1,29
	479	1,01	478	478	1,29
	478	0,28		482	3,33
	482	3,05		237	0,28
	485	0,39		Критическое приращение – 1,0 % Доля аномальных замеров: 3/8 = 38 %	
486	0,25				

Доля аномальных замеров в массиве составляет

$$D_a = 100 \frac{N}{n}, \% \quad (8.10)$$

где N – количество аномальных замеров; n – общее количество замеров.

Поиск наиболее вероятного значения $U_{кр}$ осуществляется на основе построения и анализа зависимости вида $U_{кр}=f(D_a)$. На рис. 8.5 приведено изображение указанной экспериментальной зависимости.

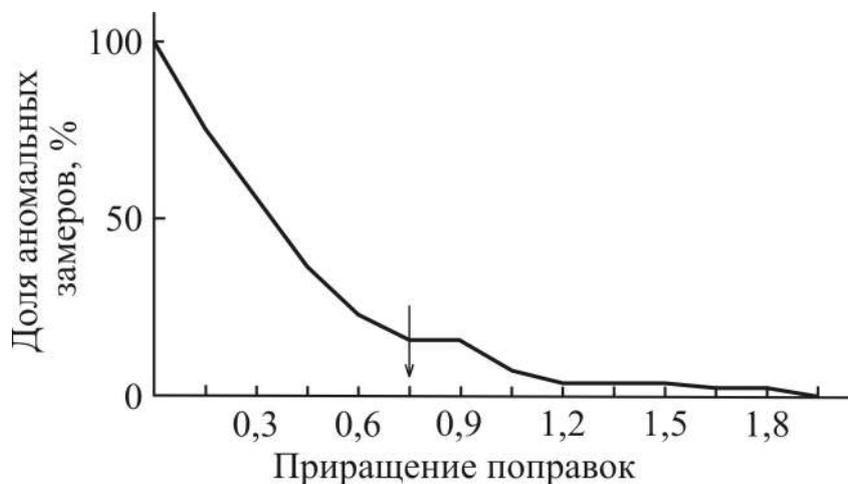


Рис. 8.5. Выбор уровня аномальности поправок – мощность пласта Кемеровского по участку «Глушинский»

При наличии нехарактерных (в геометрическом плане) замеров функция $U_{кр}=f(D_a)$ имеет своеобразную «ступеньку», протяженность которой зависит от «яркости» проявления аномальности на фоне общей изменчивости признака. Например, на рис. 8.6 (коэффициент вариации мощности 38 %) эта ступенька выражена значительно более четко, чем на рис. 8.5 (коэффициент вариации 10 %). 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 аномальных зон (см. следующий подраздел). Поэтому при анализе данных одновременно используются оба метода. При этом, к аномальным относятся замеры признанные таковыми хотя бы одним из методов.

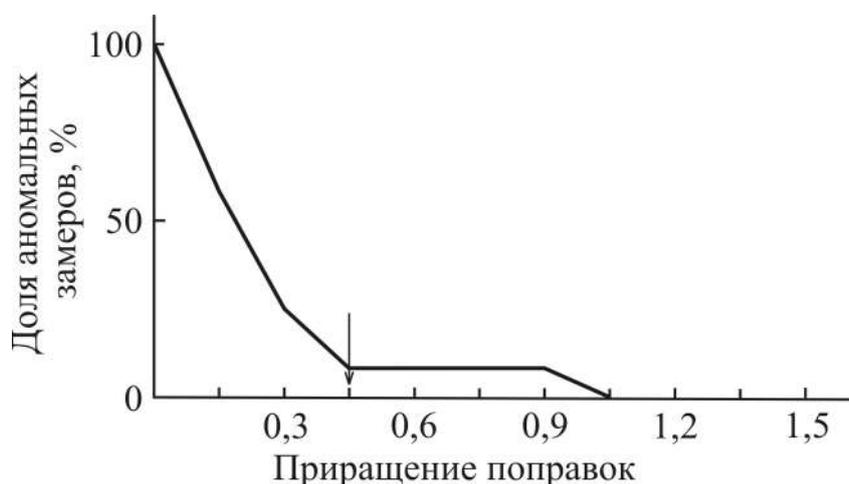


Рис. 8.6. Выбор уровня аномальности поправок – мощность пласта Полысаевского II поля шахты «Восточная»

При выполнении оценки точности геометризации данные по всем аномальным замерам подвергаются анализу на предмет подтверждения надежности произведенных в них измерений (методика выполнения которого была описана ранее). Если измерения не достоверны, то они исключаются из обработки, а если достоверны, то используются, не взирая на уровень их аномальности. Отметим, что заведомо ошибочные замеры есть смысл сразу исключать из рассмотрения и не анализировать с помощью уравнивания.

8.4. 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 заданной величины.

Например, на рис. 8.7 по уровню поправок «-4 %» выделена зона повышенных значений зольности пласта I Ишидейского месторождения (Иркутская область).



Рис. 8.7. Аномальная зона повышенных значений зольности пласта I (Ишидейское месторождение)

После знакомства с результатами уравнивания специалистами-геологами Нижнеудинской геологоразведочной экспедиции был проведен углубленный анализ материалов плаstopодсечений этой зоны, и она была интерпретирована как сингенетический размыв (до производства уравнивания наличие данного размыва не было установлено).

Аномальные зоны бывают двух видов:

- положительные (когда значения признака в них оказываются больше ожидаемых из общей тенденции – поправки отрицательны);
- отрицательные (когда значения признака оказываются меньше ожидаемых – поправки положительны).

По пластам, имеющим размывы, отмечено их пространственное совпадение с отрицательными аномальными зонами, однако обратное утверждение было бы несправедливым, то есть наличие отрицательной зоны не свидетельствует о размыве, оно лишь указывает на его возможность.

Например, в результате применения метода уравнивания геологоразведочных измерений к материалам пласта Надконгломератового поля шахтоуправления «Физкультурник» были выделены зоны с аномально низкими значениями мощности пласта (одна из зон показана на рис. 8.8). Зоны выделялись по уровню поправок «-15 см», как величины, сопоставимой с точностью выполнения скважинных измерений мощности.

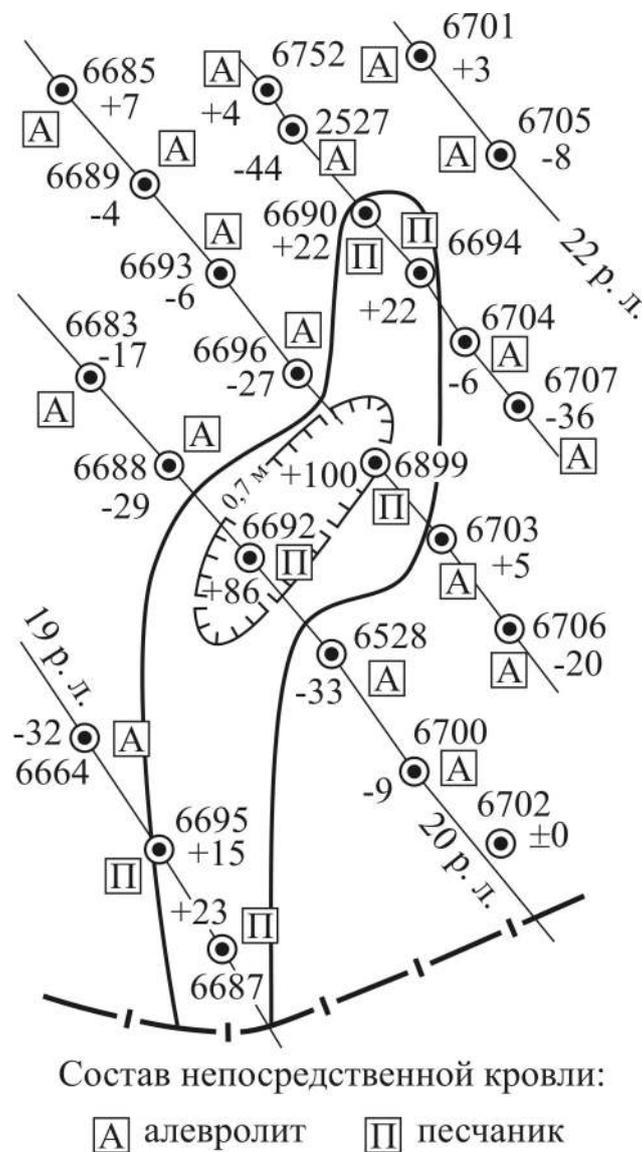


Рис. 8.8. Аномальная зона пониженных значений мощности пласта Надконгломератового (шахтоуправление «Физкультурник»)

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 и возможность активного куполообразования.

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 мало эффективным.

При оценке результатов уравнивания на предмет выделения аномальных зон возникает ряд ситуаций:

а) аномальные зоны не выделяются, колебания значений поправок не велики 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.

Выделение зон осуществляется путем проведения изолиний поправок некоторой заданной величины. Для ее установления можно использовать изложенную в [92] методику И. В. Рязанова и М. П. Кетиса, разработанную применительно к выделению ассоциаций геохимических элементов на основе анализа тесноты корреляционных связей между ними. Сущность методики состоит в следующем:

- выполняется построение нескольких вариантов аномальных зон путем использования изолиний поправок различной величины;

- для каждого варианта построений устанавливается количество возникающих аномальных зон (причем в контуре аномальной зоны должно находиться не менее чем два расположенных рядом замера).

- строится график зависимости количества выделенных аномальных зон от использованного уровня аномальности (значений изолиний поправок) – рис. 8.9;

- с помощью графика устанавливается рекомендуемый уровень аномальности (оконтуривающая зоны изолиния поправок), соответствующий максимальному количеству аномальных зон (10 см при 4 зонах на рис. 8.9);

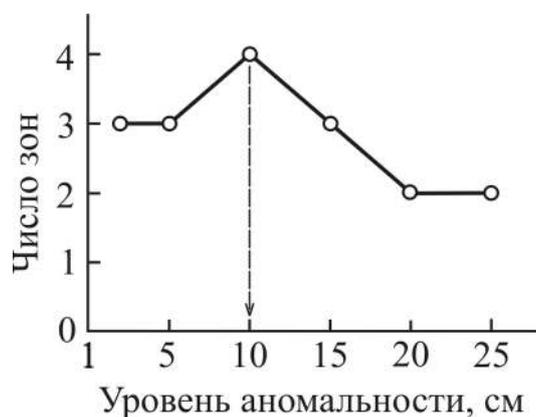


Рис. 8.9. Зависимость числа выделенных аномальных зон мощности породных прослоев пласта 5 поля разреза «Майский» от принятого уровня аномальности

– по установленному уровню аномальности окончательно отстраиваются границы аномальных зон, в качестве которых используются изолинии аномального уровня поправок (т. е. поправок «+10 см» и «–10 см» для условий рассматриваемого примера).

В результате выполнения практических работ по уравниванию установлено, что получаемые с помощью описанной методики уровни аномальности близки по своей величине к среднеквадратическим значениям поправок. Данное обстоятельство позволяет 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. Во-вторых, для каждого замера вычисляется уравненное значение показателя

$$U_i = P_i + \varepsilon_i, \quad (8.11)$$

где P_i – измеренное значение признака по i -му замеру; U_i – уравненное значение признака по i -му замеру; ε_i – поправка к признаку по i -му замеру.

В-третьих, в изолиниях отстраивается поверхность уравненных значений признака.

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 уравненных значений вычитается поверхность измеренных. В результате этого будет получена поверхность поправок. Причем в процессе вычитания нет необходимости строить саму поверхность поправок – достаточно ограничиться построением лишь одной требуемой изолинии. Средством автоматизации процесса выделения аномальных зон служит уже упомянутая программа «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 геологический 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» может при проведении работ по геометризации и подсчету запасов приводить к значимым изменениям в результатах оценки количества запасов и геометрии 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») рекомендуется учитывать при геометризации и последующей оценке ожидаемого качества углепродукции, планировании объемов добычи и особенно, при нахождении значений признаков вблизи предельных допустимых значений (предусмотренных контрактами характеристик качества угля, граничных значений диапазона раздвижки механизированных крепей и т. д.)

8.5. Уравнивание высотных отметок пласта

Пусть, как и при уравнивании мощностей и показателей качества углей, имеются t оценочных четырехугольных блоков, по каждому из которых известна «невязка» – определенный в вертикальном направлении лямбда-критерий разведанности λ_i . Для производства уравнивания формируется таблица производных a_{ik} (аналогичная табл. 8.1), величины которых определяются в зависимости от условного номера скважины в блоке:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для скважины № 1:} & a_{ik} &= 1 - (3 - 2x)x^2; \\
 & \text{– для скважины № 2:} & a_{ik} &= (3 - 2x')x'^2 - 1; \\
 & \text{– для скважины № 3:} & a_{ik} &= (3 - 2x)x^2; \\
 & \text{– для скважины № 4:} & a_{ik} &= (2x' - 3)x'^2 - 1.
 \end{aligned} \tag{8.12}$$

Если скважина i не входит в блок k , то $a_{ik} = 0$.

Затем формируется таблица произведений строк S_{ik} , аналогичная табл. 8.2, на основании которой записывается система нормальных уравнений 8.13. После ее решения, по формуле 8.7 рассчитываются значения поправок к высотным отметкам.

$$\begin{aligned}
 S_{11}K_1 + S_{21}K_2 + \dots + S_{t1}K_t &= -\lambda_1 \\
 S_{12}K_1 + S_{22}K_2 + \dots + S_{t2}K_t &= -\lambda_2 \\
 \dots & \\
 \dots & \\
 \dots & \\
 S_{1t}K_1 + S_{2t}K_2 + \dots + S_{tt}K_t &= -\lambda_t
 \end{aligned}
 \tag{8.13}$$

После ее решения, по формуле (8.7) рассчитываются значения поправок к высотным отметкам. Следует иметь в виду, что уровень обусловленности систем уравнений вида (8.6) и (8.13) не допускает их решения с помощью традиционно применяемого при геодезическом уравнивании метода К. Гаусса.

В результате экспериментальной апробации значительного числа различных алгоритмов решения систем уравнений установлено, что применительно к процессам уравнивания геологоразведочных наблюдений наилучшим является метод В. Н. Трушникова.

8.6. 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, к которым относятся, например, контуры подготовленных выемочных столбов, чрезвычайно важно выделять конкретные зоны пласта, вероятно пораженные разрывными нарушениями.

Одним из методов прогноза дизъюнктивных дислокаций является метод уравнивания сетей высотных отметок пласта.

Собственно значения лямбда-критериев, выступающие при уравнивании в качестве «невязок», обусловлены действием трех основных факторов:

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

Отсюда следует, что значения поправок ε_j 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 средств) и погрешности интерполирования (зависящие от плотности разведочной сети и сложности геологического строения) в условиях отдельного конкретного фрагмента объекта носят характер своеобразного «информационного шума», действуют повсеместно и относительно постоянны.

В это же время погрешности построений, связанные с тектоническими нарушениями, проявляются лишь на локальных участках, переменны по величине и образуют отдельную статистическую совокупность.

Выделение «шумовой составляющей» предлагается осуществлять на основе анализа «скорости» изменения значений поправок между соседними точками измерений, характеризующего изменения уровня влияния перечисленных выше факторов. Числовой характеристикой этого изменения является величина, условно именуемая градиентом поправок,

$$\text{grad}\varepsilon_{ik} = \frac{|\varepsilon_i - \varepsilon_k|}{L_{ik}}, \quad (8.14)$$

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, характеризуясь некоторым ожидаемым средним значением и дисперсией. Распределение таких градиентов (которые будем в дальнейшем называть «нормальными», в силу порождающих их явлений) теоретически должно подчиняться нормальному закону (распределение A на рис. 8.10).

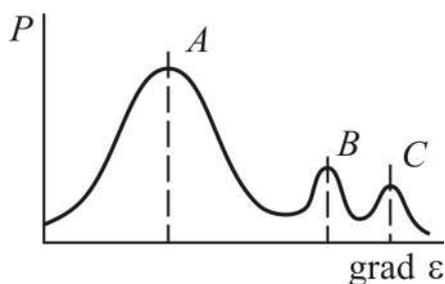


Рис. 8.10. Теоретическое распределение значений градиентов поправок

Градиенты, связанные с наличием дизъюнктивных нарушений (в дальнейшем – «аномальные» градиенты) также должны образовывать собственные законы распределения, отличающиеся своим математическим ожиданием и дисперсией.

При наличии нескольких групп геометрически однотипных разрывов могут образовываться несколько распределений аномальных градиентов (распределения *B* и *C* на рис. 8.10).

Отсюда следует, что распределение градиентов поправок в пределах нарушенных участков недр должно представлять собой суперпозицию нескольких законов распределения, что многократно подтверждалось в ходе практического применения метода.

Таким образом, одним из первых этапов прогнозирования является расчет градиентов поправок и построение гистограммы их распределения. Главной проблемой при этом является установление рационального числа количества интервалов гистограммы. Например, на рис. 8.11 приведены гистограммы распределения одних и тех же градиентов поправок, построенные при различном числе интервалов. Из рисунка наглядно видно насколько сильно их количество изменяет характер гистограммы.

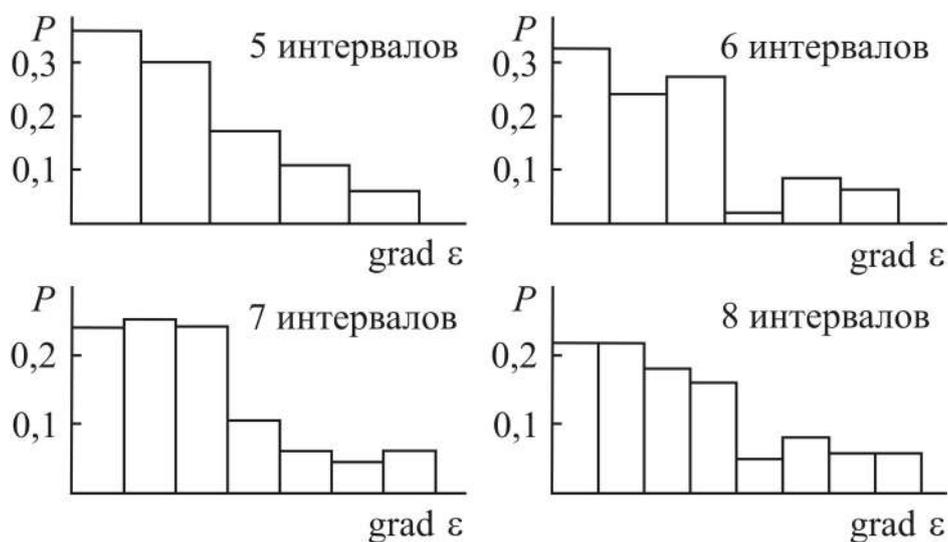


Рис. 8.11. Гистограммы распределения градиентов поправок к отметкам плаstopодсечений пласта Толмачевского поля шахты «Комсомолец»

Большинство авторов [33, 11, 8, 101 и др.] рекомендуют производить выбор величины интервала (класса) Δh по формуле

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{N}, \quad (8.15)$$

где h_{\max} – максимальное значение признака; h_{\min} – минимальное значение признака; N – число интервалов.

Известны также предложения, состоящие в выборе величины интервала равной удвоенной или утроенной погрешности измерений. Однако, они полностью не применимы в рассматриваемом случае, поскольку градиенты поправок не являются измеренными величинами.

Наибольшие расхождения во мнениях наблюдаются при решении вопроса о выборе числа интервалов K . Многие авторы, занимающиеся вопросами обработки горно-геометрической информации, рекомендуют использовать для этой цели формулу, которую еще в 1926 году предложил Н. Sturges [102]:

$$K = 1 + \log_2 n = 1 + 3,322 \lg n, \quad (8.16)$$

где n – число обрабатываемых наблюдений.

Эта формула исходит из возможности, во многих случаях далеко неочевидной, аппроксимации нормального распределения биномиальным. Отечественные специалисты, имеющие большой опыт практической деятельности в области обработки статистической информации, предлагают принимать количество интервалов вне зависимости от объема выборки. Так А. К. Митропольский [33] рекомендует, вне зависимости от числа наблюдений, всегда принимать число интервалов равным 12, а А. М. Длин – 7, 9 или 11 [11], 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].

Из рассмотрено ясно, что задача отыскания оптимальной величины интервала гистограммы пока не относится к числу однозначно решаемых. Для поиска ее решение необходимо, 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 $9 (1+3,3\lg 200)$. Теперь представим себе, что необходимы гистограммы распределения отдельно для кондиционных и некондиционных мощностей. Каждая из них должна состоять из $8 (1+3,3\lg 100)$ интервалов. Следовательно, в этом случае весь диапазон изменения мощностей будет разделен уже на 14, а не на 8 частей. На лицо явное противоречие. Оно возникает и при использовании любого другого из рассмотренных способов оперирующих нелинейной зависимостью количества интервалов от числа данных.

Разрешить это противоречие можно двумя путями:

- принять нелинейную зависимость между числом интервалов и числом измерений;
- отыскивать не оптимальное число интервалов, а их оптимальную величину.

Первый путь выглядит бесперспективным. Во-первых, весь многолетний опыт практической статистики не указывает на возможность существования такой формы связи. А, во-вторых, зависимость числа интервалов от объема выборки должна зависеть от вида 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, что следует даже из рис. 8.11, достаточно узок.

Поэтому первый путь решения задачи построения оптимальной гистограммы является лишь частным случаем второго пути. Отсюда следует, что целесообразно ориентироваться на непосредственный поиск величины интервала для каждой конкретной гистограммы.

Именно на него ориентированы современные подходы. Так D. Scott [101] предлагает определять величину интервала по формуле

$$\Delta h = \frac{3,5\sigma}{\sqrt[3]{n}}, \quad (8.17)$$

где σ – стандартное отклонение значений ряда измерений,

D. Freedman и H. Diaconis [96] рекомендуют использовать для этих целей формулу

$$\Delta h = \frac{2IQ}{\sqrt[3]{n}}, \quad (8.18)$$

где IQ – разница между верхним и нижним квартилем (как известно, нижний квартиль – это значение, ниже которого в упорядоченном по возрастанию множестве данных находится их четверть, а верхний квартиль – значение, выше которого располагается четверть значений).

Однако и подходы Скотта и Фрийдмана-Диакониса также альтернативны и не дали положительного результата в ходе исследований метода прогнозирования нарушений, выполненного на материалах отработанных контуров угольных пластов. Причиной тому, вероятно, послужили три обстоятельства: полимодальный характер распределения градиентов, его усеченность и необходимость его детального изучения в пределах «хвоста».

Ясно, что интервал гистограммы не должен быть слишком велик (при его величине, равной размаху выборки, любое распределение станет равномерным) или слишком мал (при его величине меньшей точности записи чисел, любое распределение также будет сводиться к равномерному).

Длин А. М. считает, что «ширина интервала должна способствовать выявлению основных черт распределения и сглаживанию случайных колебаний. При этом нужно учесть, что случайные колебания будут преобладать в малом интервале, так как в малом интервале заключено меньшее число наблюдений, чем в большом» [11, 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 характера распределения.

Рассмотрим, какой интервал наиболее приемлем с позиции изучения «подробностей» распределения. Очевидно, что им является интервал, стремящийся к нулю. В этом случае будет обеспечиваться минимальная разность частот, попавших в соседние интервалы наблюдений, т. е. максимальная подробность гистограммы.

Степень этой «подробности», для каждой рассматриваемой величины интервала, может быть охарактеризована величиной

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K-1} (P_i - P_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{K-1} (P_i + P_{i+1})^2}}, \quad (8.19)$$

где K – число интервалов; P_i – частота в i -ом интервале.

Легко видеть, что параметр η характеризует среднеквадратическое отклонение частот соседних интервалов гистограммы, выраженных в относительной мере.

С позиции уровня нежелательных незакономерных колебаний частот целесообразно также минимизировать изменение частот соседних интервалов, т. е. обеспечить выполнение следующего условия:

$$\eta = \min . \quad (8.20)$$

Пользуясь формулой (8.19) можно, для каждого наперед заданного интервала Δh , рассчитать и построить зависимость $\eta=f(\Delta h)$. Интервал, соответствующий условию (8.20) является наилучшим, т. к. обеспечивает минимизацию незакономерных колебаний при максимальной подробности гистограммы.

В качестве примера, на рис. 8.12 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 [82]. 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. 8.12 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).

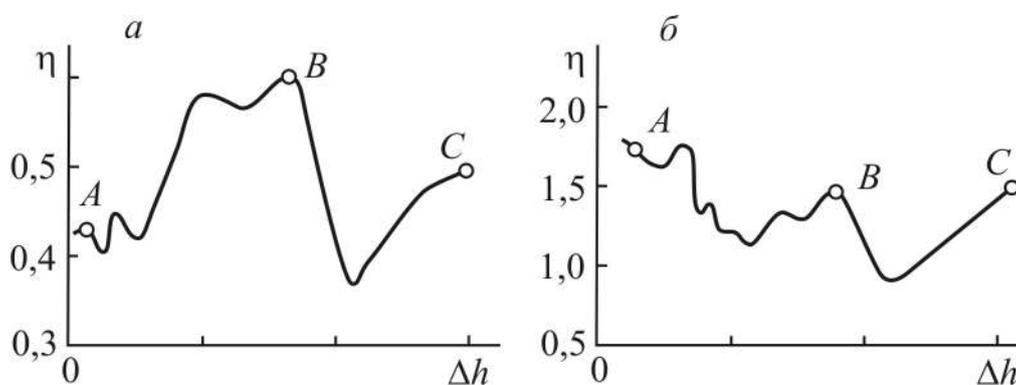


Рис. 8.12. Зависимость показателя изменчивости частот η от величины интервала Δh гистограммы распределения градиентов поправок:

- a – пласт Кемеровский поля шахты им. Волкова;
- b – пласт Рытвинный поля шахты «Карагайлинская»

Характер «флага» катастрофических скачков и отсутствие «флага» гистерезиса на участке AB указывают на необходимость примене-

ния 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, используя идеологию подхода Фридмана-Диакониса, при расчете η следует использовать только часть данных, ограниченную значением квартиля, соответствующего 80 % общего количества данных.

Направления выделенных по результатам анализа гистограммы аномальных градиентов показываются на плане и рассматриваются как направления, пересекаемые разрывными нарушениями (рис. 8.13).

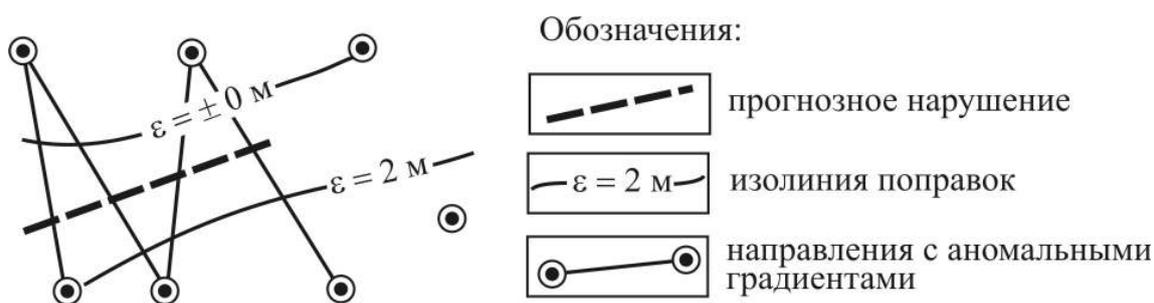


Рис. 8.13. Прогноз положения нарушения

На следующем этапе прогнозирования намечаются положения вероятных линий скрещения нарушений с пластом.

Они проводятся под условием пересечения ими линий аномальных градиентов. Само построение выполняется одним из двух способов.

Первый из них состоит в построении линии скрещения при ее расположении, соответствующей ориентировке известных систем разрывных нарушений. Второй способ применяется при невозможности использования первого (при отсутствии сведений об элементах залегания систем или при наличии нескольких систем нарушений) и состоит в прогнозировании направления развития нарушения параллельно специально построенным изолиниям поправок (рис. 8.13).

Ожидаемую точку выклинивания дизъюнктива («окончание» линии скрещения) предлагается располагать на середине расстояния между «последним» аномальным и ближайшим к нему нормальным градиентом.

Важной составной частью процесса прогноза разрывных нарушений является прогноз их амплитуд. В результате статистической обработки экспериментальных материалов, учитывающих нарушения с амплитудами от 1 до 19 м, была разработана следующая методика прогноза вертикальных амплитуд смещений.

На первой стадии прогноза амплитуды работа ведется по отдельным оценочным четырехугольникам. В случае, если прогнозное нарушение пересекает одну диагональ оценочного блока (рис. 8.14, *a*), определяется точка *A* пересечения диагонали и разрыва, находится ближайшая к ней вершина четырехугольника (2 на рис. 8.14, *a*) и измеряется расстояние между ними *r*. Ожидаемая вертикальная амплитуда разрыва рассчитывается по формуле

$$H = |\lambda|(1,86 - 4,17e + 2,70e^2), \quad (8.21)$$

где $e = \frac{r}{R}$, λ – значение лямбда-критерия разведанности; *R* – длина диагонали, пересекаемой нарушением.

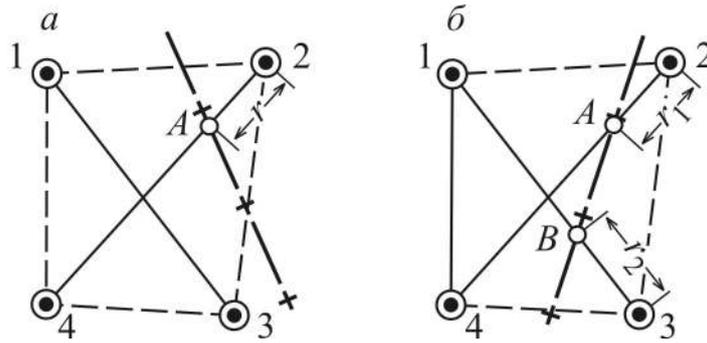


Рис. 8.14. К методике прогноза вертикальных амплитуд дизъюнктивов

В случае, если прогнозное нарушение пересекает обе диагонали (рис. 8.14, б), определяются две точки их пересечения с разрывом (*A* и *B*), измеряются расстояния от них до ближайших к ним вершинам четырехугольника (r_1 и r_2). Ожидаемая вертикальная амплитуда разрыва оценивается по формуле

$$H = \frac{|\lambda|}{0,4 + 0,40|\lambda|} (1,94e_1 + 1,94e_2 + 0,3) \quad (8.22)$$

при $e_1 = \frac{r_1}{R_1}$; $e_2 = \frac{r_2}{R_2}$,

где R_1 и R_2 – длины соответствующих диагоналей. Если прогнозное нарушение пересекает диагонали нескольких четырехугольников, то расчет амплитуды производится по каждому из них, а в качестве ожидаемой ее величины принимается среднеарифметическое из полученных частных значений.

Необходимым условием успешного применения метода является наличие качественных геологических данных, соответствующих вполне достижимым инструктивным требованиям.

Понятно, что невозможно достичь хороших результатов прогнозирования по фальсифицированным или недобросовестно полученным исходным материалам.

Например, в 1989 году 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 % плаstopодсечений, 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 плаstopодсечению, залегающему на глубине всего 20 м. Так как на практике, к сожалению, часто приходится работать с материалами подобного уровня, 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 незатронутой 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 квадриангулирования сети с последующим выявлением устойчивой группы аномальных градиентов.

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 по участку, целесообразно исключать, поскольку 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. Вероятнее всего, что данные по такому замеру просто искажены. В этом случае требуется перепроверить их на предмет выявления грубых ошибок.

В-пятых, интерпретация одиночного градиента в качестве результата влияния нарушения должна производиться лишь в случае подтверждения его наличия косвенными признаками.

К таким признаком геометрического порядка можно отнести:

- наличие по участку выявленного нарушения, естественным продолжением которого является прогнозируемое;
- существование нарушения по выше- или нижележащим пластам, продолжением которого может являться прогнозируемое.
- аномальные колебания в значениях углов напластования по окружающим скважинам (данный поисковый признак наличия нарушений основан на усеченном использовании методики И. П. Жингеля [12]).

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.

Средством автоматизации процесса прогноза по геологоразведочным данным является программа «PDD».

В последнее время резко повысилась актуальность прогноза разрывных нарушений в контурах уже подготовленных выемочных столбов угольных шахт.

Главная причина этого – практически двукратное увеличение длин лав, при сохранении ранее имевших место параметров сетей разведочных скважин, приведшее к значительному снижению информационного эффекта, достигаемого при проведении подготовительных выработок и, соответственно, к снижению качества прогноза горно-геологических условий.

Следствием этого явилось усиление значимости влияния геологического фактора на безопасность ведения подземных горных работ. В результате крупной аварии, происшедшей на шахте «Ульяновская» в 2007 году, по всем вновь вводимым в эксплуатацию выемочным столбам предусмотрено [41] обязательное проведение геомеханического анализа вмещающих пород кровли в целях выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли.

К таким тектоническим зонам относятся и зоны влияния дизъюнктивных нарушений, полнота выявления которых оставляет желать лучшего.

В связи с этим на базе изложенного выше метода прогноза разрывных дислокаций был разработан специальный его вариант, учитывающий специфику использования результатов шахтных наблюдений [62].

Данный вариант был оформлен в виде методики, утвержденной в 2009 году Научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевым научным центром ВНИМИ и Институтом угля и углекислоты Сибирского отделения Академии наук России [59] и практически применяется Кемеровским Представительством ВНИМИ в ходе подготовки заключений по вновь вводимым в действие лавам шахт Кузбасса.

Необходимым и достаточным условием выполнения прогнозирования разрывных нарушений с помощью этой методики является наличие измерений, выполненных геолого-маркшейдерской службой угольных шахт в конвейерных и вентиляционных штреках выемочных столбов в соответствии с требованиями «Инструкции по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации» [16]. Нормативный комплект таких данных включает в себя координаты точек производства измерений и результаты прямых измерений элементов залегания пласта. Наличие таких данных позволяет в полной мере использовать для прогнозирования нарушений изложенную выше методику, основанную на рассмотрении лямбда-критериев разведанности в качестве «невязок» сети шахтных геологических наблюдений. Эффективность ее достаточно высока в связи с высоким качеством исходных данных. Единственное значимое отличие применения метода в условиях прогнозирования нарушений в лавах состоит в том, что при построении гистограмм распределений градиентов поправок и в последующих расчетах направления между соседними, расположенными на штреках точками во внимание не принимаются. Это связано с тем, что расстояния между этими точками обычно в 3-5 раз меньше, чем между точками соседних штреков.

Такое значительное изменение расстояний вступает в противоречие с теоретическими положениями метода, т. к. не гарантируют примерного равенства погрешностей интерполяции.

Кроме того, и сама необходимость рассмотрения направлений вдоль уже пройденных штреков попросту отсутствует.

Однако на практике требование «Инструкции по геологическим работам...» [16] в части обязательности измерения элементов залегания пласта практически не выполняются. Приводимые геологической службой истинные элементы падения пластов на практике являются вычисленными на основании результатов геометризации.

В связи с этим Т. Б. Роговой была выполнена, с сохранением вышеизложенных теоретических положений, модернизация метода прогноза нарушений. В результате модернизации прогноз нарушений в лаге стало возможным осуществлять исключительно по данным точек маркшейдерских опорных и съемочных сетей (т. е. только по их координатам X , Y и Z). Такой подход гарантировал высокую точность используемой при прогнозе информации и снизил трудозатраты на ее подготовку.

При использовании предложенного подхода в качестве «невязок» использованы значения дельта-критериев разведанности, вычисленные на основе линейной интерполяции высотных отметок пласта между маркшейдерскими точками (для чего эти критерии ранее не предназначались). Исходя из этого, уравнивание высотных отметок стало производиться по схеме, ранее использованной для мощностей пластов и показателей качества угля.

В ходе модернизации была также изменен и порядок квадриангулирования. Если ранее предполагалось, что оно должно выполняться при минимальной степени перекрытия оценочных блоков друг другом, то в модифицированном методе предложено обеспечить их многократное пересечение. В дальнейшем такой подход был использован и в основном варианте методики прогнозирования нарушений т. к. это позволило добиться различной реакции критериев разведанности блоков сети на нарушения, одновременно пересекающие обе их диагонали.

При применении такого подхода квадриангулирование сети наблюдений по штрекам должно осуществляться в следующей последовательности (рис. 8.15):

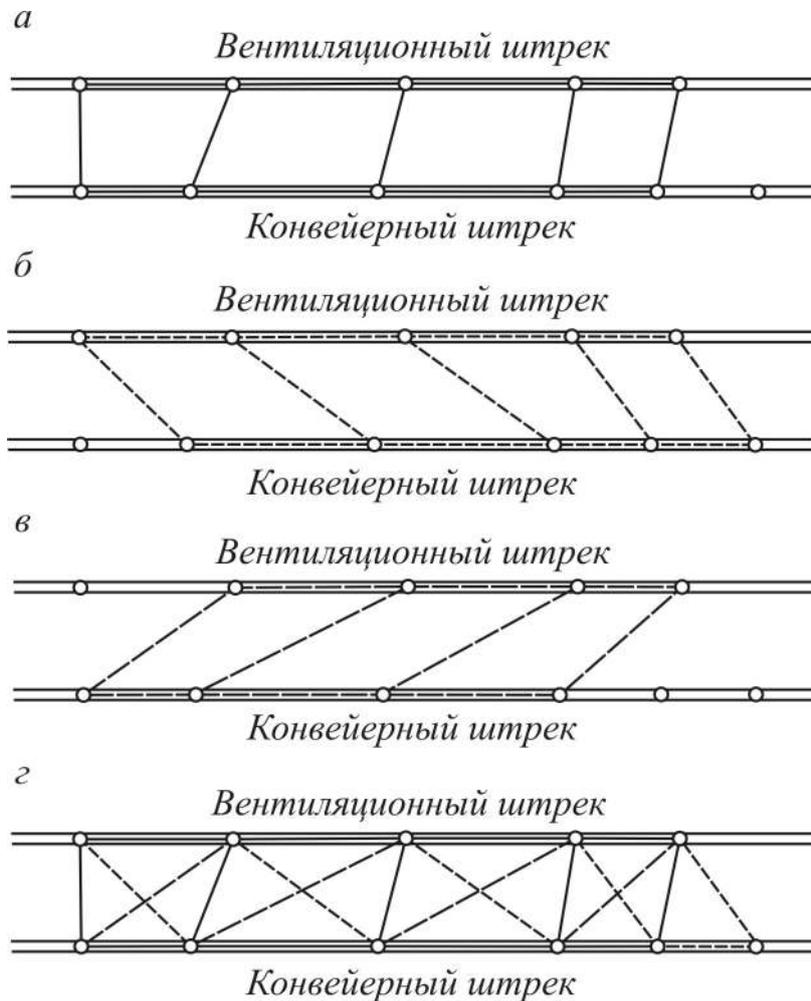


Рис. 8.15. Последовательность выполнения квадриангулирования

- выделяются блоки, со сторонами, в максимальной степени ортогональными выемочным штрекам (рис. 8.15, а);
- выделяются блоки со сторонами, «наклоненными» (со «сдвигом на одну точку») в сторону монтажной (демонтажной) камеры (рис. 8.15, б);
- выделяются блоки со сторонами, «наклоненными» (со «сдвигом на одну точку») в сторону демонтажной (монтажной) камеры (рис. 8.15, в).

Все группы блоков формируют единую совокупность, являющуюся итоговым результатом квадрирования используемым при уравнивании (рис. 8.15, *з*).

При этом не допускается выделение четырехугольных блоков сети не имеющих общих сторон (расположенных внутри выемочного столба) ни с одним другим блоком. При квадрировании следует стремиться к тому, чтобы точка пересечения диагоналей четырехугольного блока была расположена возможно более близко к его центру. Точка пересечения диагоналей не должна находиться от вершин блока ближе, чем на одну пятую часть длины диагонали. В случае если имеющаяся сеть, вследствие неравномерности размещения отдельных замеров, не обеспечивает выполнения данного условия (например, в результате наличия замера «А» на рис. 8.16, *а*), допустимо их исключение из квадрирования (рис. 8.16, *б*).

Для каждого выделенного *i*-го четырехугольника производится расчет дельта-критерия разведанности гипсометрии с использованием линейной интерполяции по формуле

$$\Delta = (Z_3 - Z_1)x + X_1 - (Z_4 - Z_2)x' - Z_2, \quad (8.23)$$

где Z_j – высотная отметка пласта в точке замера, имеющего в оценочном блоке условный номер *j*; x и x' – см. формулу (2.7).

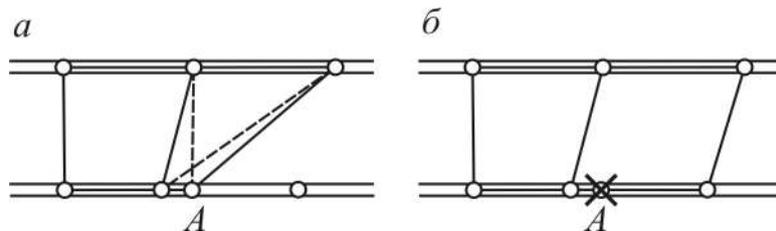


Рис. 8.16. Исключение отдельных замеров из квадрирования

Затем, по формулам (8.5) вычисляются значения производных, заполняются таблицы вида 8.1 и 8.2, формируется и решается система уравнений (8.6) и по формуле (8.7) рассчитываются величины поправок к высотным отметкам.

Результаты расчета критериев разведанности могут использоваться при оценке точности определения прогнозного положения почвы (кровли) угольного пласта выполняемой в рамках реализации требований п. 3.3 действующего «Положения по горно-геологическому прогнозу...» [46].

Оценка точности производится путем определения ожидаемой (с вероятностью 0,68) и выраженной в метрах средней погрешности прогнозного значения высотной отметки пласта (R) в контуре выемочного столба по формуле

$$R \leq k_{\Delta} \left| \bar{\Delta} \right|, \quad (8.24)$$

где k_{Δ} – коэффициент пропорциональности; $\bar{\Delta}$ – среднеарифметическое значение абсолютной величины дельта-критериев разведанности по четырехугольным блокам сети замеров в пределах контура оценки.

По результатам сопоставления данных горных работ с данными шахтных прогнозов величину коэффициента k_{Δ} рекомендуется принимать равной 0,8. Вместо указанной величины коэффициента k_{Δ} можно использовать его величину, адаптированную для условий шахты на основе результатов сопоставлений данных прогноза с фактическими данными горных работ, выполненных не менее чем по 20 четырехугольным блокам сети измерений. После завершения уравнивания оценивается его качество. Для этого, используя не измеренные, а уравненные значения высотных отметок (т. е. величины $Z_j + \varepsilon_j$) по формуле (8.23) вновь рассчитываются дельта критерии разведанности.

Если среднее значения критериев разведанности, подсчитанные по уравненным данным, в четыре и более раз меньше среднего значения исходных критериев, то качество уравнивания признается «отличным», а если от двух до четырех раз – «хорошим». В остальных случаях качество уравнивания признается «неудовлетворительным».

Низкое качество уравнивания вызывается повышенным уровнем обусловленности системы уравнений вида (8.6), а, в конечном итоге, переменной сложностью геологического строения пласта в пределах выемочного столба. В этом случае размерность системы уравнения должна быть сокращена. Для этого осуществляется фрагментация имеющейся сети геолого-маркшейдерских измерений (рис. 8.17).

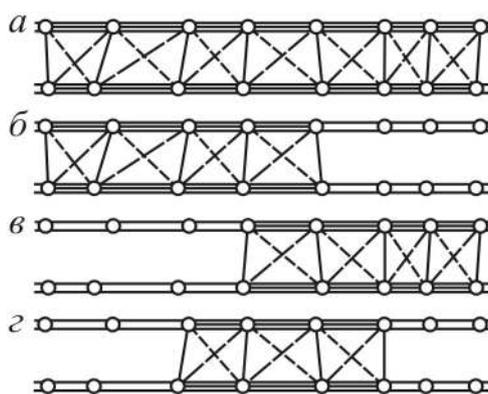


Рис.8.17. Принципиальная схема фрагментации сети геолого-маркшейдерских измерений

Фрагментация осуществляется путем прогноза нарушенности не по всему выемочному столбу, а по отдельным его частям.

Например, если квадриангулирование всей имеющейся сети измерений (рис. 8.17, *a*) приводит к формированию системы уравнений высокой обусловленности (т. е. к «неудовлетворительному» качеству уравнивания), то необходимо разделить выемочный столб на несколько фрагментов с меньшим числом блоков и произвести их независимую обработку.

На рис. 8.17 выделено три фрагмента – рис. 8.17, б, 8.17, в и 8.17, г. Количество выделяемых фрагментов не лимитируется и определяется качеством последующего уравнивания. При выделении фрагментов должно обеспечиваться их взаимное перекрытие.

При «хорошем» качестве уравнивания выполнение фрагментации сети является желательным, но необязательным условием. Следует отметить, что необходимость фрагментации сети измерений возникает исключительно редко: как правило, средние значения критериев уменьшаются в результате уравнивания в 30–100 раз.

После уравнивания по формуле (8.14) рассчитываются градиенты поправок, в качестве направлений которых используются диагонали блоков и их стороны, объединяющие маркшейдерские точки, расположенные на разных штреках. При совпадении направлений по различным блокам (например, имеющим общие стороны) для обработки принимается только одно значение градиента. Расчет «градиентов» между замерами, находящимися на одном и том же штреке, не производится.

Построенная гистограмма распределения градиентов поправок анализируется на предмет наличия и выявления аномальных градиентов поправок. На практике встречаются три типа гистограмм (рис. 8.18).

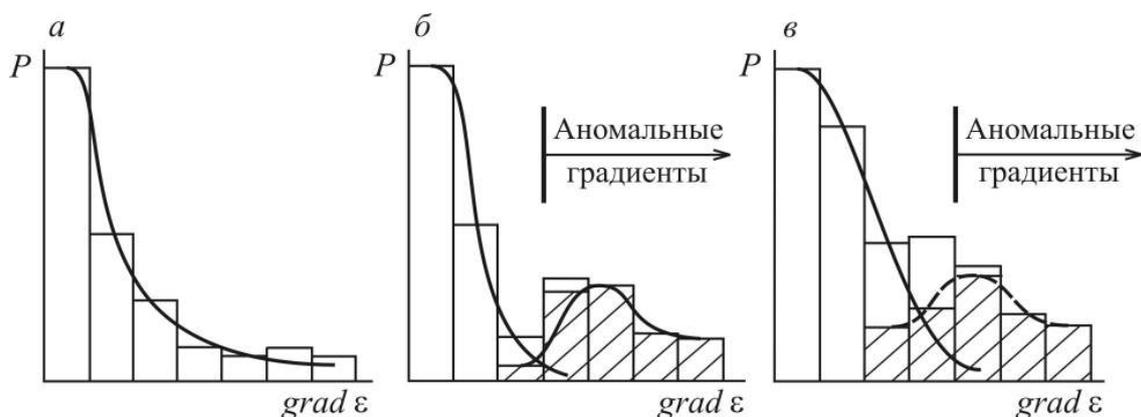


Рис. 8.18. Примеры гистограмм распределений поправок: а – по лаве 42-12 поля шахты «Кыргайская»; б – по лаве 21-1-7 поля шахты «Ольжерасская»; в – по лаве 48-4 поля шахты «Талдинская Южная»

Первый тип (рис. 8.18, *a*) характерен для ненарушенных, а второй и третий – для нарушенных выемочных столбов. Наличие последних двух типов объясняются различным взаимным положением модальных значений нормальных и аномальных градиентов.

Для выделения аномальных распределений необходимо дефрагментировать гистограмму распределения градиентов поправок, исходя из того, что распределение нормальных градиентов теоретически должно представлять собой усеченное слева распределение К. Гаусса (так как это выполнено на рис. 8.17, *a* и *б*). В качестве начала интервала, начиная с которого градиенты признаются аномальными выбирается интервал, ожидаемая доля аномальных градиентов в котором превышает 80 %. Возникновение второго или третьего типов гистограмм связано с амплитудами находящихся в столбах нарушений – чем выше амплитуды тем сильнее модальные значения формируемых ими распределений смещаются в правую часть гистограммы. Все выделенные аномальные направления показываются на плане горных работ.

Для определения вероятной ориентировки нарушений выполняется построение изолиний поправок с использованием традиционного метода многогранников. Возникающие неопределенности в положении изолиний разрешаются с учетом ориентировки известных систем нарушений, а при невозможности реализации данного подхода – на основе принципа симметрии поля геометризируемого показателя. Обязательному построению подлежит изолиния поправки « ± 0 м», остальные изолинии отстраиваются по мере необходимости.

Практика показала, что наиболее вероятным направлением развития нарушений является направление параллельное изолиниям поправок. Это вытекает из того, что если нарушение пересекает направление с максимальным градиентом поправок (которым является направление перпендикулярное направлению изолиний поправок), то оно и должно прослеживаться вдоль изолиний.

Данное обстоятельство хорошо подтверждается материалами горных работ, некоторые из которых представлены на рис. 8.19 на котором показаны изолинии поправок и фактически имеющие место нарушения. Все показанные на рис. 8.19 нарушения относятся к категории «переходимых», а их амплитуды изменяются от 0,2 до 2,7 м.

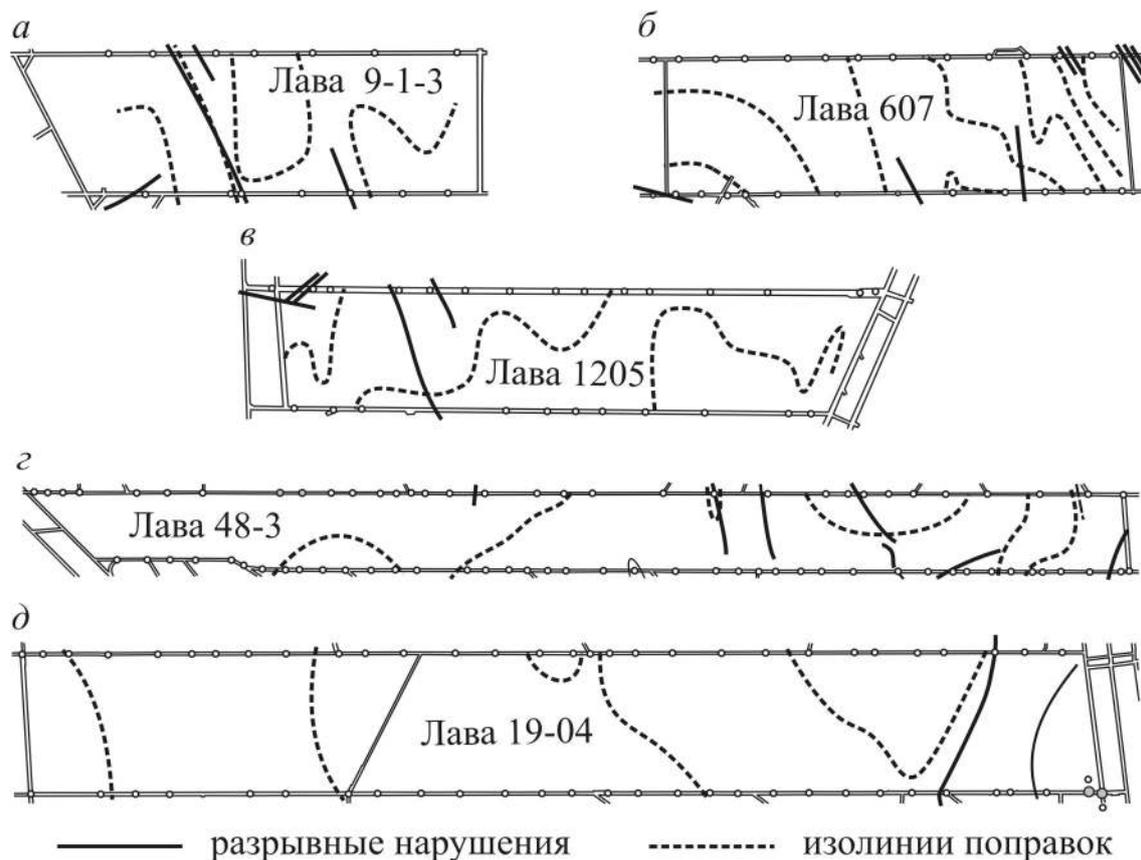


Рис. 8.19. Положение изолиний поправок и фактических дизъюнктивных нарушений в пределах выемочных столбов шахт:
 а – «Томская», б – «Чертинская Южная», в – «Конюхтинская»,
 з – «Галдинская Южная», д – «Костромовская»

В случае пересечения разрывным нарушением одной диагонали четырехугольного блока сети замеров, его прогнозная вертикальная амплитуда H оценивается по формуле

$$H = |\Delta|(1,49 - 3,37e + 2,16e^2), \quad (8.25)$$

а при пересечении двух диагоналей – по формуле

$$H = \frac{2,0|\Delta|}{1,0 + 0,80|\Delta|} (1,94e_1 + 1,94e_2 + 0,3), \quad (8.26)$$

где e , e_1 , e_2 – см. пояснения к формулам (8.21) и (8.22).

В качестве итогового значения прогнозной амплитуды принимается среднеарифметическое значение амплитуд, рассчитанное по всем пересекаемым им четырехугольным блокам сети.

После определения вертикальных амплитуд прогнозируемых нарушений, производится оценка значимости аномалий, интерпретируемых в качестве нарушений. Значимыми признаются аномалии, вертикальные амплитуды нарушений в которых превышают величину погрешности определения прогнозного положения почвы (кровли) угольного пласта в контуре выемочного столба R , определенную в соответствии с формулой (8.24).

Незначимые по амплитудам нарушения в результатах прогноза не учитываются. Не рекомендуется также учитывать в результатах прогноза нарушения, выявление которых осуществлено только по единственному аномальному направлению в условии, когда их сместитель не был вскрыт подготовительными выработками.

Разумеется, что все вышеописанные правила, как и любые иные, имеют исключения, возникающие при несоответствии исходных теоретических предпосылок и реальных характеристик изучаемого объекта. Применительно к рассматриваемому методу такие исключения возникают при работе с выемочными столбами, выдержанность гипсометрии пласта в которых по направлению штреков существенно выше, чем по направлению линии очистного забоя.

Рассмотрим выполнение прогнозирования в таких условиях на примере выемочного столба лавы 1бис пласта Румянцевского поля шахтоуправления «Анжерское». При прогнозировании нарушений в пределах данного столба (оконтуривающие штрека которого подсекали два разрывных нарушения амплитудами около 1 м) было выделено 86 оценочных четырехугольных блоков, границы которых показаны на рис. 8.20.

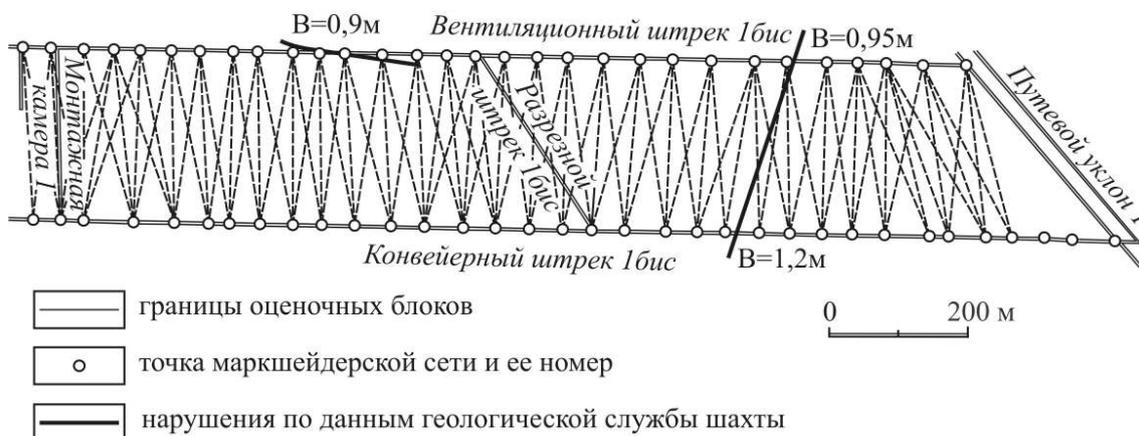


Рис. 8.20. Квадриангулирование маркшейдерской сети выемочного столба лавы 1бис пласта Румянцевского

Средняя величина дельта-критериев по оценочным блокам столба составило аномально низкую величину – 0,4 м, которая, в соответствии с формулой (8.24) отвечает ожидаемой среднеквадратической погрешности гипсометрического плана пласта в $\pm 0,3$ м.

Построенная по результатам уравнивания гистограмма градиентов поправок имеет явно выраженный одномодальный характер. В соответствии с ним горно-геометрический метод прогноза не позволил выявить в пределах выемочного столба лавы 1бис ни одного из двух установленных горными работами разрывных нарушений.

Однако условия выемочного столба лавы 1бис несколько отличаются от типовых.

Судя по характеру профилей штреков (рис. 8.21) построенных в различных горизонтальных и вертикальных масштабах степень выдержанности залегания пласта по направлениям вдоль штреков значимо ниже, чем по направлению линии очистного забоя (погрешность в направлении которого и оценивает методика).

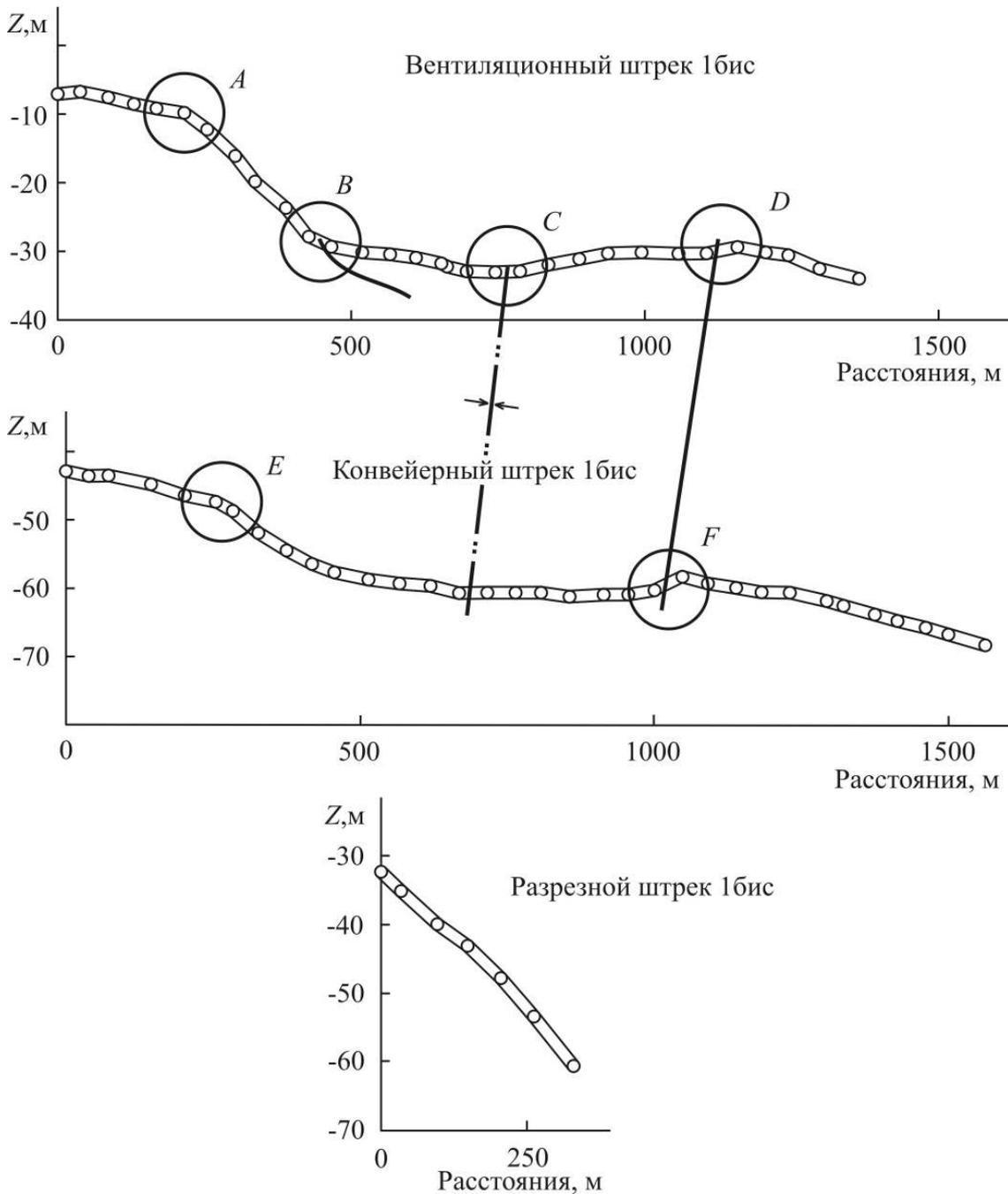


Рис. 8.21. Профили штреков выемочного столба лавы 1бис

Выполненные расчеты показывают, что средняя погрешность линейной интерполяции отметок между расположенными вдоль штреков замерами, удаленными друг от друга на 250 м, составляет $\pm 1,0$ м. Учитывая то, что погрешность интерполирования по направлению линии очистного забоя, оцененная по дельта-критериям составляет $\pm 0,3$ м, общая ожидаемая погрешность должна оцениваться в $\pm 1,0$ м.

Приведенные на рис. 8.21 разномасштабные взаимосогласованные разрезы по вентиляционному и конвейерным штрекам также показывают, что в направлении штреков пласт может быть фрагментирован на систему интервалов, имеющих в пределах каждого из них примерно постоянные углы падения. Средние углы падения по соседним интервалам значительно отличаются друг от друга. Точки сочленения интервалов можно характеризовать как «точки излома».

Всего по штрекам выделяется шесть «точек излома» (рис. 8.21). Три точки излома (*B*, *D* и *F*) совпадают с выявленными по штрекам разрывными нарушениями, а одна (точка *C*) – явно связана с проходящей через выемочный столб оси синклинали складки.

Две «точки излома» *A* и *E* не ассоциируются с известными тектоническими аномалиями. Учитывая высокую вероятность (0,75 – четыре точки из шести) того, что «точки излома» приурочены к тектонически аномальным зонам, логично предположить, что и появление точек *A* и *E* также связано с ними.

Для выполнения горно-геометрического анализа этой зоны вновь было выполнено уравнивание. В целях устранения причины ее первоначального неэффективного применения, связанной с нетипичным характером выдержанности гипсометрии, было принято решение изменить направления диагоналей оценочных четырехугольных блоков, расположив их под большими углами к штрекам.

Оно было реализовано путем использования при квадриангулировании лишь части замеров. В результате этого в контуре столба было выделено 29 оценочных блоков показанных на рис. 8.22. Средняя величина дельта-критериев по оценочным блокам составляет 1,1 м, что, в соответствии с формулой (8.21) отвечает ожидаемой средне-квадратической погрешности гипсометрического плана пласта в $\pm 0,9$ м. Данная величина погрешности хорошо согласуется с ранее полученными оценками, что подтверждает достаточность использованной степени «разворота» диагоналей четырехугольников.

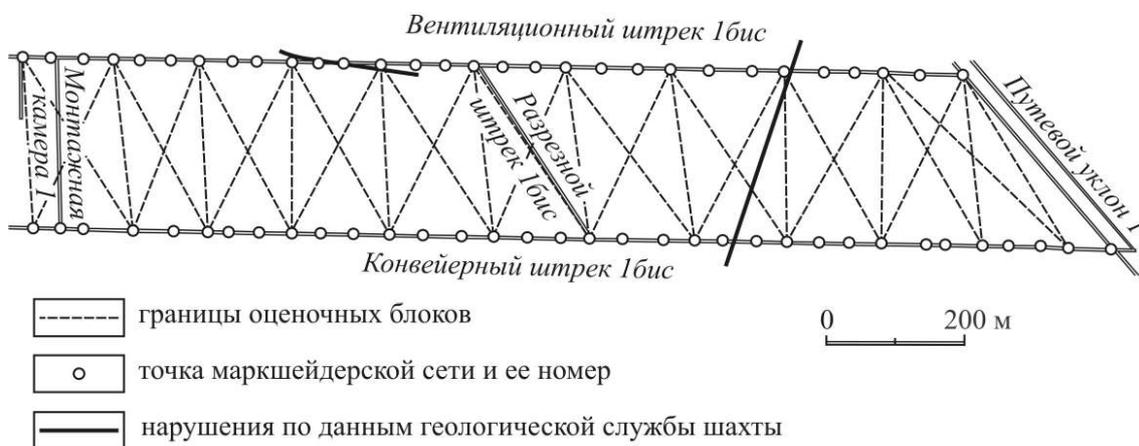


Рис. 8.22. Квадриангулирование разреженной маркшейдерской сети выемочного столба лавы Iбис пласта Румянцевского

Гистограмма градиентов поправок построенная по результатам уравнивания разреженной сети наблюдений имела явно выраженный полимодальный характер. В соответствии с ним, в пределах выемочного столба было выделено пять направлений, которые вероятно пересекаются тектоническими нарушениями (рис. 8.23).

Два из направлений обусловлены влиянием известных нарушений, а три – пересекают зону формируемую «точками излома» *A* и *E* (показанными на рис. 8.21).

Таким образом есть основания полагать, что внутри выемочного столба может находиться нормальносекущая аномальная тектоническая зона *A*, показанная на рис. 8.23.



Рис. 8.23. Результаты прогноза нарушений по выемочному столбу лавы 1бис пласта Румянцеvского

Таким образом, в некоторых, достаточно редких случаях, при выполнении горно-геометрического прогноза нарушений с помощью метода уравнивания следует использовать не полную, а разреженную сеть маркшейдерских измерений. Использование разреженной сети имеет также и определенные преимущества, т. к. позволяет выполнять несколько независимых вариантов прогноза (при использовании различных систем маркшейдерских точек), что повышает надежность и, главное, доверие к результатам прогнозирования.

Опытно-промышленное и промышленное применение методики осуществлялось на шахтах Анжерского, Кемеровского, Ленинского, Беловского, Ерунаковского, Байдаевского и Томь-Усинского геолого-промышленных районов Кузнецкого угольного бассейна: «ш/у Анжерское», «Северная», «Конюхтинская», «Егозовская», «Чертинская-Коксовая», «Кыргайская», «Антоновская» и «Томская». Степень подтверждаемости прогноза последующими результатами горных работ составляла от 60 до 95 %, при преимущественном значении в 75 %.

Как известно, к числу общепринятых методов прогноза наличия разрывных нарушений в контуре подготовленного выемочного столба относятся геофизические методы, прежде всего сейсмические.

Разрешающая способность таких методов, в зависимости от применяемой аппаратуры и горно-геологических условий, составляет от 50 до 80 %. Несомненно, что их развитие и совершенствование имеет значительный потенциал, в связи с чем качество прогнозов будет повышаться. Следует отметить, что авторы не рассматривают изложенный выше горно-геометрический метод в качестве альтернативы шахтной геофизики, наоборот, эти методы следует рассматривать как дополняющие друг друга.

Вместе с тем, простота исходных данных, используемых горно-геометрическим методом, и низкая стоимость прогнозирования с его помощью позволяют осуществлять прогноз нарушений в режиме мониторинга, который пока затруднительно реализовать на основе применения геофизических методов.

Предпосылки к возможности организации такого мониторинга и его сущность рассмотрим на примере тестового прогноза нарушений по лаве 229 шахты «Северная».

Данная лава была подготовлена двумя штреками, первым из которых был на всю длину пройден вентиляционный штрек 229. Затем в том же направлении (от маркшейдерской точки 274 – рис. 8.24, *a*) была начата проходка конвейерного штрека 229.

В районе маркшейдерской точки 303 этот штрек встретил непреодолимое комплексом разрывное нарушение (рис. 8.24, *a*), наличие и положение которого были уточнены с помощью скважин подземного бурения. Появление нарушения привело к значительному сокращению длины столба, в результате чего почти 300 м конвейерного штрека стали бросовыми.

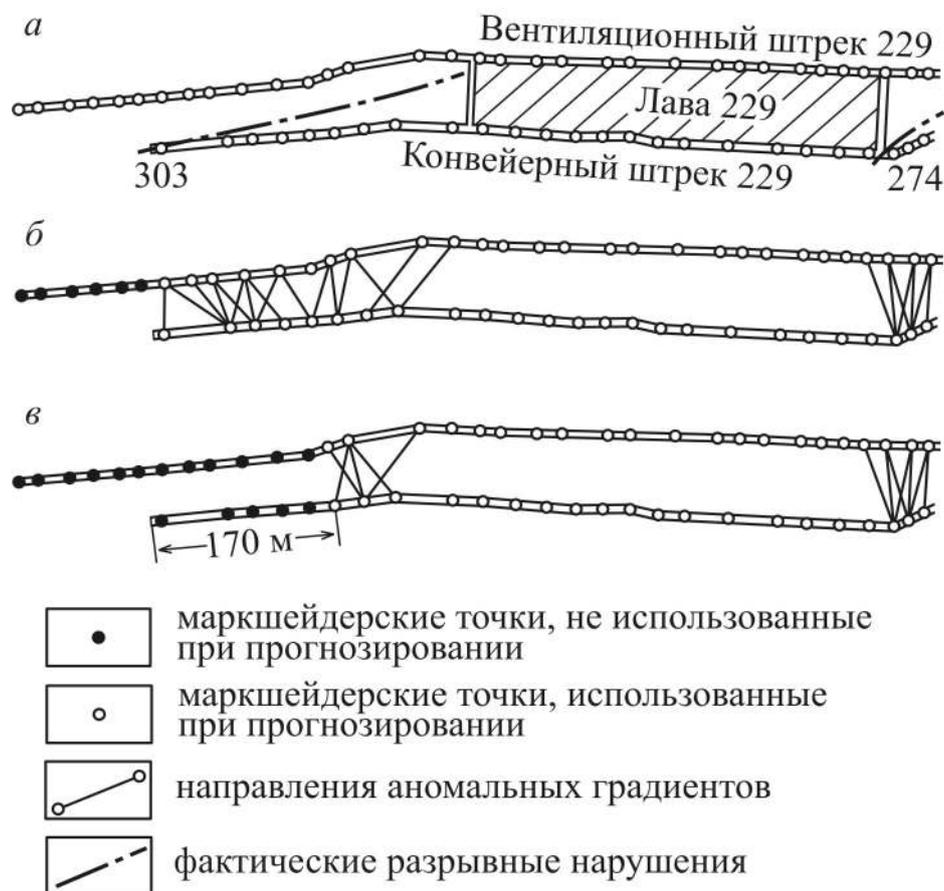


Рис. 8.24. Прогноз наличия разрывных нарушений в выемочном столбе лавы 229 шахты «Северная»

Наличие нарушения надежно прогнозировалось при тестировании рассматриваемого метода (рис. 8.24, б).

Затем было выполнена серия повторных прогнозов при последовательном сокращении числа используемых маркшейдерских точек конвейерного штрека. В результате было установлено, что метод начал «реагировать» на нарушение еще за 170 м до его пересечения со штреком (рис. 8.24, в).

Если бы в этот момент были реализованы мероприятия по подтверждению наличия нарушения скважинами подземного бурения, то объем бросовых выработок существенно сократился, а предприятие могло сэкономить в современных ценах примерно 7 млн руб. (170 тыс. евро).

В случае, если бы выбор последовательности проведения штреков осуществлялся с учетом ориентировки системы нарушений (т. е. с учетом того, какой штрек именно должен встретить их первым), а проходка конвейерного штрека осуществлялась с опережением вентиляционного, то эффект от сокращения затрат на проведение бросовых выработок мог достичь 19 млн руб. (470 тыс. евро).

Таким образом, при проведении подготовительных горных выработок целесообразна организация мониторинга дизъюнктивной нарушенности выемочного столба, основанного на применении горно-геометрического метода прогноза.

Технология такого мониторинга могла бы состоять в следующем.

Первый прогноз нарушенности в подготавливаемом выемочном столбе должен осуществляться после получения по каждому штреку пяти маркшейдерских точек (примерно, после проведения 200 м штреков).

После появления каждой новой маркшейдерской точки прогноз должен повторяться. В случае если по результатам прогноза будет выявлена возможность наличия внутри столба непереходимого комплексом нарушения, для подтверждения прогноза должны привлекаться геофизические методы или подземное разведочное бурение.

Применение многократного горно-геометрического прогнозирования на практике не может вызвать каких-либо затруднений, т. к. оно использует стандартную информацию, получаемую в ходе выполнения маркшейдерских работ, и реализуется с помощью специально разработанной компьютерной программы «PNM». Общие затраты труда на повторное выполнение прогнозирования после введения данных по вновь полученной маркшейдерской точке не превышают 20 минут. Программа «PNM» обеспечивает интерактивное квадриангулирование сети наблюдений, расчет критериев разведанности, уравнение, расчет градиентов поправок и построение гистограммы их распределения в пакетном режиме.

Установление аномального уровня градиентов выполняется интерактивно на основе анализа гистограммы. После этого направления между замерами, величина «градиента» для которых превышает аномальный уровень, автоматически отображаются на графической основе. Пользователь графически указывает возможное положение прогнозных нарушений, расчет ожидаемых амплитуд которых выполняется автоматически.

Представляется, что использование мониторинга дизъюнктивной нарушенности выемочного столба при проведении подготовительных выработок позволит сократить объемы проведения бросовых выработок, и оптимизировать затраты на подземное бурение и шахтную геофизику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей монографии результаты научных исследований, направленных на решение практической задачи количественной оценки достоверности угольных месторождений России, получили признание научно-технической общественности страны и государственных органов, уполномоченных на выполнение государственной геологической экспертизы.

Созданная система методов количественной оценки достоверности учитывает специфику разведки угольных месторождений, в силу чего основана не на геостатистических, а на геометрических подходах. Тем не менее, общая идеология этих обоих подходов едина, и они, не являясь антагонистами, дополняют друг друга. Предлагаемая технология мониторинга достоверности запасов позволяет существенным образом повысить качество оценки запасов участков недр, уже вовлеченных в промышленную эксплуатацию.

Предлагаемые методы и подходы широко апробированы на практике, обеспечены методическим, программным и кадровым сопровождением и могут быть использованы при выполнении государственной геологической экспертизы, для обоснования постановки работ по опережающему геологическому изучению недр, а также при выполнении независимого аудита запасов, формировании условий контрактов на поставку угля, страховании производственной деятельности и решении иных корпоративных вопросов, требующих учета степени достоверности существующих геологических представлений о состоянии недр.

Авторы надеются, что настоящая монография будет полезна геологам и горнякам и позволит им выполнять работы на более высоком инженерном уровне.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Алберг, Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э Нильсон, Дж. Уолш. – М.: Мир, 1972. – 316 с.
2. Баскаков, В. П. Методика снижения риска травм и аварий на угольных шахтах путем стандартизации производственного процесса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: защищена 03.06.2009 / В. П. Баскаков. – М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2009. – 18 с.
3. Башков, И. П. Оценка достоверности прогноза дизъюнктивных нарушений угольных пластов / И. П. Башков, С. В. Шаклеин // Горный вестник. – 1999. – № 6. – С. 136–138.
4. Бирюков, А. В. Регрессия категорий запасов / А. В. Бирюков // Известия вузов. Геология и разведка. – 1965. – № 4. – С. 86–93.
5. Бишарян, С. Г. Уточнение контуров балансовых запасов на стадии детальной разведки / С. Г. Бишарян // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 5. – С. 20–22.
6. 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.
7. Букринский, В. А. Геометрия недр / В. А. Букринский. М.: Недра, 1985. – 526 с.
8. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. М.: Наука, 1969. – 576 с.
9. Гарбер, И. С. Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии) / И. С. Гарбер [и др.]. – Л.: Недра, 1979. – 190 с.
10. Гилмор, Р. Прикладная теория катастроф: кн. 1 / Р. Гилмор. М.: Мир, 1984. – 350с.
11. Длин, А. М. Математическая статистика в технике / А. М. Длин. М.: Советская наука, 1958. – 466 с.

12. Жингель, И. П. Метод выявления зон тектонической нарушенности на угольных месторождениях Кузбасса / И. П. Жингель // Разведка и охрана недр. – 1985. – № 8. – С. 26–28.

13. 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.

14. Забродин, А. С. Количественная оценка степени дизъюнктивной нарушенности разрабатываемых угольных пластов // Сборник научных трудов / Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. – 1970. – № 80. – С. 92–109.

15. Иванов, М. П. Ураганные пробы и последствия их ограничения / Иванов М. П., Петров В. А. // Геологические методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых: Обзор / ВИЭМС. – М., 1980. – 41 с.

16. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации: утверждено Минтопэнерго РФ 01.09.1993 № Е-4775, согласовано Госгортехнадзором 29.12.1992 № 01-17/513 // Министерство топлива и энергетики РФ, ВНИМИ. – СПб, 1993. – 147 с.

17. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев : утверждено председателем ГКЗ при СМ СССР 30.12.1966. – М.: Недра, 1968. – 22 с.

18. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ: утверждено МПР РФ 03.12.1996. – М., 1996. – 42 с.

19. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: приказ МПР РФ от 11.12.2006 № 278. – М., 2006. – 6 с.

20. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: постановление Совета министров СССР от 30.11.1981 № 1128. – М., 1981. – 12 с.

21. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: приказ МПР РФ от 07.03.1997 № 40. – М., 1997. – 6 с.

22. Классификация запасов полезных ископаемых, принятая Геологическим Комитетом // Осведомительный бюллетень по полезным ископаемым. – 1929. – № 1. – С. 1–2.

23. Крейтер, В. М. Основные принципы классификации и подсчета запасов полезных ископаемых / В. М. Крейтер // Горное дело. – М.–Л.: Изд.-во АН СССР. – Серия III, вып. 1. – 1937. – 48 с.

24. Крейтер, В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: ч. 2 // В. М. Крейтер. М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 390 с.

25. Крекова, А. В. О целесообразности налогообложения части запасов полезных ископаемых, списываемых с баланса горных предприятий в связи с нецелесообразностью их отработки по технико-экономическим условиям / А. В. Крекова, С. В. Шаклеин // Налоги и финансы. – 2010. – № 4. – С. 20–23.

26. Ковалев, В. А. Методология развития региональной системы управления охраной труда и промышленной безопасностью на угольных шахтах: автореф. дис. ... докт. техн. наук: защищена 23.09.2009 / В. А. Ковалев. – М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2009. – 38 с.

27. Кузьмин, В. И. О точности существующих способов вычисления координат точек ствола искривленной скважины / В. И. Кузьмин // Известия вузов. Геология и разведка. – 1968. – № 6. – С. 127–133.

28. Ломоносов М. В. О слоях земных и другие работы по геологии / М. В. Ломоносов. – М. – Л.: Госгеолиздат, 1949. – 212 с.

29. Методика расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами: приказ МПР РФ от 30.09.2008 № 232 (в ред. приказа МПР РФ от 14.05.2009 № 128). – М., 2009. – 13 с.

30. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (угли и горючие сланцы) : утверждены распоряжением МПР России № 37–р от 05.06.2007. – М., 2007. – 31 с.

31. Методические рекомендации по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых: рекомендованы к применению протоколом МПР РФ от 03.04.2007 № 11-17/0044 – М., 2007. – 30 с.

32. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы : распоряжение МПР России № 37–р от 05.06.2007. – М., 2007. – 49 с.

33. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. М.: Физматиздат, 1961. – 479 с.

34. 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.

35. Оглоблин, Д. Н. Подсчет запасов металла в россыпи по методу изолиний профессора П. К.Соболевского / Д. Н. Оглоблин // Цветные металлы. – 1931. – № 7. – С. 926–949.

36. О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых, геологической, экономической и экологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, размере и порядке взимания платы за ее проведение: Постановление Правительства РФ от 11.02.2005 № 69 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 26.07.2006 № 460, от 22.01.2007 № 37, от 22.04.2009 № 351). – М., 2005. – 14 с.

37. О проведении государственной экспертизы и учета оперативного изменения запасов месторождений твердых полезных ископаемых: приказ Роснедра от 30.09.2008 № 812 (в ред. приказов Роснедра от 16.02.2010 № 111, от 15.09.2010 № 1045). – М., 2008. – 6 с.

38. Осецкий, А. И. Показатель соответствия густоты разведочных точек характеру разведываемой залежи / А. И. Осецкий // Сб. науч. тр. / ВНИМИ. – 1956. – № 30. – С. 146–153.

39. Папазов, М. Г. Теория ошибок и способ наименьших квадратов / М. Г. Папазов, С. Г. Могильный. М.: Недра, 1968. – 302 с.

40. Пах, Э. М. Руководство по методике определения и оценке качества углей Кузбасса при геологоразведочных работах : отчет по тематической работе // Э. М. Пах // Кузбасская геологическая экспедиция. – Ленинск-Кузнецкий. – 1969. – 144 с.

41. Подображин, С. Н. Причины аварии, происшедшей 19 марта 2007 г. на филиале «Шахта «Ульяновская» ОАО «Объединенная угольная компания «Южкузбассуголь», и мероприятия по обеспечению безопасности на угольных шахтах / С. Н. Подображин // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 5. – С. 70–76.

42. I. Подсчет запасов твердых полезных ископаемых. II. Инструкция к классификации запасов твердых полезных ископаемых. – М.–Л.: Геологическое издательство Главного геолого-разведочного управления, 1931. – 66 с.

43. Подтуркин, Ю. А. Опережающее геологическое изучение недр – инструмент системы мониторинга и управления в сфере недропользования / Ю. А. Подтуркин, В. А. Коткин, А. В. Мельникова, С. В. Шаклеин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2009. – № 4. – С. 32–34.

44. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые) : распоряжение МПР РФ № 832-р от 05.07.1999 – М., 1999. – 16 с.

45. Положение о функциональной подсистеме мониторинга состояния недр (Роснедра) Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: приказ Федерального агентства по недропользованию от 24.11.2005 № 11197 (в ред. приказа Роснедра от 01.08.2008 № 666. – М., 2005. – 27 с.

46. Положение по горно-геологическому прогнозу условий проведения подготовительных выработок на действующих шахтах угольной промышленности: утверждено Минтопэнерго РФ 14.12.1995. СПб.: ВНИМИ, 1996. – 12 с.

47. Порядок проведения государственной экспертизы оперативного изменения состояния запасов месторождений твердых полезных ископаемых: приказ Федерального агентства по недропользованию от 15.09.2010 № 1045. – М., 2010. – 6 с.

48. Протокол итогового заседания Конкурсной комиссии по проведению конкурса на право пользования недрами с целью разведки и добычи каменного угля на участке Восточный Западной части Улуг-Хемского угольного бассейна в Республике Тыва. – Роснедра, М., 20.10.2010: [сайт]. URL: <http://www.rosnedra.com/article/3758/39> (дата обращения: 18.07.2011).

49. Псарев, Н. Приложение теории вероятностей къ вычислениямъ при развѣдкахъ на золото / Н. Псарев // Вѣстникъ золотопромышленности и горнаго дѣла вообще. – 1899. – № 15. – С. 367–368.

50. Рогова, Т. Б. Методика оценки технологичности угольных пластов / Т. Б. Рогова [и др.]. – Кемерово: ПО «Северокузбассуголь», 1989. – 36 с.

51. Рогова, Т. Б. Разработка метода оценки технологичности угольных пластов для обоснования их эффективной выемки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1990. – 17 с.

52. 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.

53. Рогова, Т. Б. Предрасчет погрешности планового положения изолинии признака / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Уголь. – 1997. – № 11. – С. 53–54.

54. Рогова, Т. Б. Оценка достоверности изучения интенсивности дизъюнктивной нарушенности угольных пластов и ее учет в ходе принятия инвестиционных решений / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Сборник научных трудов № 13 / Научно-технический центр «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1998. – С. 82–85.

55. Рогова, Т. Б. Практические вопросы геометризации мощности и основных показателей качества угольных пластов : учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин; Кузбасс. политехн. ин-т. – Кемерово, 1998. – 50 с.

56. Рогова, Т. Б. Метод комбинаторных разрежений для выделения ураганных проб / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Разведка и охрана недр. – 1999. – № 4. – С. 22–23.

57. Рогова, Т. Б. Оценка погрешности гипсометрического плана угольного пласта / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Маркшейдерия и недропользование. – 2002. – № 1. – С. 43–45

58. Рогова, Т. Б. Оценка достоверности блочных моделей месторождений / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Маркшейдерия и недропользование. – 2005. – № 5. – С. 55–57.

59. Рогова, Т. Б. Методика горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин. СПб. – Кемерово: ВНИМИ, ИУУ СО РАН, 2009. – 33 с.

60. Рогова Т. Б., Мониторинг достоверности запасов и его использование для оценки сырьевой базы угольных компаний / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2009. – № 4. – С. 35–38.

61. Рогова, Т. Б. Подсчет запасов угольных месторождений : учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин, В. О. Ярков ; Кузбасский государственный технический университет. – Кемерово, 2010. – 136 с.

62. Рогова, Т. Б. Метод горно-геометрического прогнозирования тектонических нарушений в контуре подготовленного выемочного столба / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. – № 2. – С. 60–62.

63. Рогова, Т. Б. Направления совершенствования российской системы оценки достоверности запасов твердых полезных ископаемых в контексте обеспечения безопасности горных работ / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2010. – № 6. – С. 19–24.

64. Рогова, Т. Б. Подготовка инновационно ориентированных инженерных кадров Кузбасса на основе «опережающего» профессионального обучения / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин // Недропользование XXI век. – 2010. – № 6. – С. 64–67.

65. Рогова, Т. Б. Методические рекомендации по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию / Т. Б. Рогова, О. П. Никифорова, С. В. Шаклеин, В. А. Коткин, В. Г. Малухин, В. О. Ярков. М.–Кемерово: ОЭРН, 2011. – 86 с.

66. Российский Кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, ресурсах и запасах твердых полезных ископаемых – Кодекс НАЭН: проект, версия 3 от 27.06.2011 // НАЭН, ОЭРН. – Москва, 2011. – 55 с.

67. Российская угольная энциклопедия. В 3 т. Т 1. (А–И). – М.–СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. – 664 с.

68. Российская Федерация, Законы. О недрах : федер. закон : от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 (в ред. ФЗ РФ от 03.03.1995 № 27-ФЗ, от 10.02.1999 № 32-ФЗ, от 02.01.2000 № 20-ФЗ, от 14.05.2001 № 52-ФЗ, от 08.08.2001 № 126-ФЗ, от 29.05.2002 № 57-ФЗ, от 06.06.2003 № 65-ФЗ, от 29.06.2004 № 58-ФЗ, от 22.08.2004 № 122-ФЗ, от 15.04.2006 № 49-ФЗ, от 25.10.2006 № 173-ФЗ, от 26.06.2007 № 118-ФЗ, от 01.12.2007 № 295-ФЗ, от 29.04.2008 № 58-ФЗ, от 14.07.2008 № 118-ФЗ, от 18.07.2008 № 120-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, от 30.12.2008 № 309-ФЗ, от 17.07.2009 № 164-ФЗ, от 27.12.2009 № 374-ФЗ, от 19.05.2010 № 89-ФЗ, от 05.04.2011 № 52-ФЗ, от 18 июля 2011 г. № 219-ФЗ, от 18.07.2011 № 224-ФЗ, от 18.07.2011 № 242-ФЗ) // Российская газета. – 1992. – 5 мая.

69. Ростехнадзор завершил расследование аварии на шахте «Мечела» в Кузбассе // INTERFAX.RU. – 2008. – 25 августа: [сайт]. URL: <http://www.interfax.ru/business/news.asp?id=29026&cat=0> (дата обращения: 19.07.2011).

70. Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO: Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards, Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, сентябрь 2010: [сайт]. URL: http://www.vmine.net/percreserves/russia/conversion_guidelines_2010_9.pdf (дата обращения: 21.06.2011).

71. Соболевский, П. К. Современное маркшейдерское искусство, как методология решения основных задач горного искусства / П. К. Соболевский // Труды первого Всесоюзного горнотехнического съезда. – М., 1927. – Т.VIII. – С. 139–183.

72. Соболевский, П. К. Современная горная геометрия / П. К. Соболевский // Социалистическая реконструкция и наука. – 1932. – № 7. – С. 42–78.

73. Строительные нормы и правила: Подземные горные выработки: СНиП II-94-80 / Госстрой СССР. – Введ. 01.01.82. – М., 1981. – 24 с.

74. Технические требования угольной промышленности к геологоразведочным работам и исходным геологическим материалам, представляемым для проектирования шахт и разрезов: утверждены Минуглепромом СССР 26.11.1986, согласованы Мингео СССР 16.09.1986 – М., 1986. – 35 с.

75. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: МПР России, 2000. – 30 с.

76. Шаклеин, С. В. Оценка достоверности разведанных запасов угля / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. – 1977. – № 10. – С. 46–47.

77. Шаклеин, С. В. Об определении технических ошибок измерения мощности пласта // Уголь Украины. – 1979. – № 3. – С. 39–40.

78. Шаклеин, С. В. Уравнивание сети замеров мощности на угольных месторождениях / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. – 1979. – № 4. – С. 39 – 40.

79. Шаклеин, С. В. Применение уравнивания для выделения и ограничения ураганных проб / С. В. Шаклеин // Колыма. – 1984. – № 8. – С. 34–36.

80. Шаклеин, С. В. Выбор величины сечения изолиний и оценка правомерности интерполяции / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. – 1986. – № 10. – С. 24–26.

81. Шаклеин, С. В. Методические рекомендации по выбору сечений изогипс, изолиний мощности и показателей качества при построении планов и разрезов угольных месторождений: одобрены к применению в отрасли Главным управлением топливно-энергетических ресурсов Мингео СССР / С. В. Шаклеин // Министерство геологии СССР, ВНИГРИУголь. – Ростов-на-Дону, 1989. – 12 с.

82. Шаклеин, С. В. Выбор величины интервала гистограммы при изучении распределения признаков / С. В. Шаклеин // Известия вузов. Горный журнал. – 1989. – № 11. – С. 28–30.

83. Шаклеин, С. В. Построение гипсометрических планов угольных пластов : учеб. пособие / С. В. Шаклеин; Кузбасский политехнический институт. – Кемерово, 1992. – 58с.

84. Шаклеин, С. В. К совершенствованию взаимоотношений геологоразведочных и горнодобывающих предприятий / С. В. Шаклеин // Строительные материалы. – 1995. – № 1. – С. 30–31.

85. Шаклеин, С. В. Прогнозирование объемов списания запасов угля из-за их неподтверждения и нерентабельности извлечения / С. В. Шаклеин // Маркшейдерский вестник. – 1998. – № 1. – С. 31–33.

86. Шаклеин, С. В. Маркшейдерские работы по обеспечению инвестиционной деятельности в горной промышленности / С. В. Шаклеин // Маркшейдерский вестник. – 1999. – № 2. – С. 15–17.

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

88. Шаклеин, С. В. Методические рекомендации по проведению горно-геометрической экспертизы достоверности геологоразведочной информации участков угольных месторождений (количественная оценка степени соответствия геологических моделей месторождения угля их истинному строению): рекомендованы к практическому применению ЭТС ФГУ «ГКЗ» протоколом от 22.05.2007 / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова [сайт] – <http://www.twirpx.com/file/427898> (дата обращения: 15.06.2011).

89. Шаклеин, С. В. Нетрадиционные технологии добычи угля – основа интенсивного освоения минерально-сырьевой базы Кузбасса / С. В. Шаклеин, М. В. Писаренко // Горная промышленность. – 2010. – № 4. – С. 22–25.

90. Шаклеин, С. В. Выявление систематических ошибок в многократных неравноточных рядах измерений / С. В. Шаклеин // Заводская лаборатория. – 1979. – № 5. – С. 422.

91. 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 Международный симпозиум по применению ЭВМ и математических методов горном деле: Труды. – М., 1982. – Т. 2. – С. 29–32.

92. Юдович, Я. Э. Геохимия ископаемых углей / Я. Э. Юдович. Л.: Наука, 1978. – 262 с.

93. Ягубянец, Т. А. Морфоструктурный анализ угольных залежей / Т. А. Ягубянец. М.: Недра, 1988. – 126 с.

94. Australian Code For Reporting Of Exploration Results, Mineral Resources And Ore Reserves (The JORC Code), December 2004: [сайт]. URL: – http://www.jorc.org/pdf/jorc2004print_v2.pdf (дата обращения: 14.07.2011).

95. Coal Resource Classification System of the U.S. Geological Survey: Geological Survey Circular 891: [сайт]. URL: <http://pubs.usgs.gov/circ/c891> (дата обращения: 14.07.2011).

96. Freedman, D. On this histogram as a density estimator: L2 theory / D. Freedman, P. Diaconis // Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete. – 1981. – В. 57. – S. 453–476.

97. International Template for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves : Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards, July 2006: [сайт]. URL: http://www.cim.org/standards/documents/Block471_Doc27.pdf (дата обращения: 11.04.2011).

98. Journel, A. G. Mining geostatistics / A. G. Journel, Ch. J. Huijbregts // London, New York, San Francisco : Akademic press. – 1978. – 600 p.

99. Leonhardt, J. Some results and problems of geostatistics in hard coal mining in the Federal republic of Germany / L. Leonhardt, W. Skala // Application of computers and mathematics in the mineral industries. – 1984. – P. 169–174.

100. Myers, D. E. Variogram models for regional ground water geochemical data / D. E. Myers, C. L. Bogovich, T. R. Butz, V. E. Kane // Mathematical Geology, 1982, v. 14, № 6, P. 629–644.

101. Scott, D. On optimal and data-based histograms / D. Scott // Biometrika. – 1979. – V. 66. – P. 605–610.

102. Sturges, H. The choice of a class-interval / H Sturges // Journal of the American Statistical Association. – 1926. – V. 21. – P. 65–66.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОБЩЕСТВО ЭКСПЕРТОВ РОССИИ ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

Рекомендованы к применению
решением ОЭРН – протокол
ЭТС ОЭРН от «12» мая 2011 г.

Председатель ОЭРН

М. И. Щадов

Рекомендованы к практическому
применению протоколом ЭТС
ФГУ «ГКЗ» от «22» мая 2007 г.

Генеральный директор ФГУ

«ГКЗ» Ю. А. Подтуркин

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по проведению количественной оценки

степени соответствия геологических моделей месторождения угля

его истинному состоянию

Москва – Кемерово

2011

УДК 550.8.042:553.042:622.1.142.5

Методические рекомендации по проведению количественной оценки степени соответствия геологических моделей месторождения угля его истинному состоянию: ОЭРН. – М. – Кемерово, 2011. – 86 с.

Рекомендации являются официальным нормативно-методическим документом, рекомендованным ОЭРН и содержат порядок выполнения количественной оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров запасов угольных месторождений, ориентированы на анализ геологоразведочной информации (запасов) геологических участков и новых горизонтов шахтных и карьерных полей действующих, строящихся и проектируемых угледобывающих предприятий.

Результаты количественной оценки достоверности могут использоваться при подготовке представляемых на государственную геологическую экспертизу отчетов о геологическом изучении недр, для обоснования постановки работ по опережающему геологическому изучению недр, а также рекомендуются к применению при выполнении независимого аудита запасов, формировании условий контрактов на поставку углепродукции, страховании производственной деятельности и решении иных корпоративных вопросов, требующих учета степени достоверности существующих геологических представлений о состоянии недр.

Составители:

Т. Б. Рогова, О. П. Никифорова (Кузбасский государственный технический университет), С. В. Шаклеин (Институт угля СО РАН), В. А. Коткин, В. Г. Малухин, В. О. Янков (ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»).

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с требованиями пункта 16 действующей «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом МПР РФ от 11.12.2006 № 278 «При квалификации запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя должны использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров».

Определение достоверности результатов геологической разведки рассматривается в настоящих рекомендациях как задача оценки степени расхождения между реально существующим природным объектом и системой его геологических моделей. Непосредственное ее решение на стадии разведки невозможно, так как никаких иных сведений об объекте, кроме полученных при ее проведении, на момент оценки не имеется. Поэтому оценка достоверности может осуществляться только косвенными методами.

За рубежом для оценки достоверности широко используются методы геостатистики. Однако для условий угольных месторождений применение этих методов оказывается не эффективным как из-за недостаточного количества имеющихся данных, так и в связи со специфическим их характером.

Поэтому для условий угольных месторождений разработаны специальные методы, основанные на применении специальных количественных критериев разведанности.

В основу таких критериев положены идеи, сформулированные в теории геохимического поля П. К. Соболевского, в соответствии с которыми, поле геологического показателя, а, следовательно, и идеально описывающая его модель, обладает свойством однозначности.

Следовательно, возникновение неоднозначности построений в процессе моделирования объекта является свидетельством неадекватности модели и реального объекта. Причем степень этой неадекватности тем больше, чем больше неоднозначность модели.

Чем больше существует 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.

Собственно многовариантность построений может быть количественно оценена только при наличии избыточных измерений (оцениваемый признак должен быть определен в одной и той же точке как минимум два раза, разность результатов которых и может рассматриваться в качестве меры неоднозначности). Поэтому используемый подход к измерению степени неоднозначности модели предполагает создание в сетях скважин косвенных, искусственно создаваемых, избыточных определений.

Критерии разведанности следует рассматривать исключительно в качестве инструмента эксперта, оценивающего степень достоверности геологической информации. Применение критериев не только не снижает, но даже повышает роль эксперта, требуя от него явно выраженной аргументации решений, не согласующихся с результатами количественного анализа. Такое несогласие не следует рассматривать в качестве какой-либо чрезвычайной ситуации. Как было отмечено выше, критерии отражают лишь объективно имеющую место неоднозначность (многовариантность) выполненных горно-геометрических построений. В отдельных случаях, даже при высоком уровне многовариантности геометрических построений за счет выявления и использования геологических закономерностей, из всей совокупности вариантов при геометризации месторождения может быть выбран весьма достоверный вариант.

Это предопределяет возможность повышения ранга достоверности запасов, обоснованного соответствующей аргументацией.

Рассматриваемые в настоящих методических рекомендациях критерии достоверности ориентированы на оценку разведанности гипсометрии, мощности, показателей качества и других, определяемых по пластоподсечениям признаков.

Оценка достоверности иных показателей, таких как обогатимость, выбросоопасность и т. п. может осуществляться по иным методикам. Однако, в подавляющем большинстве случаев, необходимость специального проведения такой оценки не возникает, так как плотность разведочных пересечений, обеспечивающая надежное выявление характера изменения наиболее изменчивых и значимых перечисленных выше признаков, автоматически гарантирует и достоверность изучения с ее помощью остальных, менее изменчивых показателей (принцип В. М. Крейтера).

Данные методические рекомендации являются развитием рассмотренных и рекомендованных к практическому применению протоколом ЭТС ФГУ «ГКЗ» от 22.05.2007 «Методических рекомендаций по проведению горно-геометрической экспертизы достоверности геологоразведочной информации участков угольных месторождений (количественная оценка степени соответствия геологических моделей месторождения угля их истинному строению)» (Кемерово, 2000 г.). Изложенные в рекомендациях методы широко апробированы и признаны горно-геологическим инженерным сообществом России, что нашло свое отражение, в том числе, и в ссылках на них, содержащихся в «Российской угольной энциклопедии» (2007 г.) и в «Российской геологической энциклопедии» (2010 г.).

Методические рекомендации содержат обобщенные описания технологии выполнения необходимых технических расчетов и оценок.

В настоящих методических рекомендациях, в отличие от упомянутой версии 2000 г., рассмотрена специфика оценки достоверности запасов уже действующих угледобывающих предприятий (с использованием технологии мониторинга достоверности запасов), а также технология оценки достоверности запасов сложнодислоцированных угольных месторождений.

Все представленные в методических рекомендациях оценки имеют вероятностный характер. Уровень доверительной вероятности оценок, если иное не оговорено в тексте, принят равным 0,68.

1. ОБЛАСТЬ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Количественная оценка степени достоверности геологических моделей месторождения угля с помощью методики, изложенной в настоящих рекомендациях (в дальнейшем – количественная оценка достоверности запасов) может выполняться при подготовке представляемых на государственную геологическую экспертизу отчетов о геологическом изучении недр. Результаты оценки рекомендуется включать специальным подразделом в раздел по подсчету запасов геологического отчета, либо представлять в форме специального заключения, включаемого в состав текстовых приложений к геологическому отчету. Рекомендуемое содержание подраздела или заключения изложено в разделе 9 настоящих рекомендаций.

1.2. Необходимость выполнения количественной оценки достоверности запасов в целях определения степени ответственности недропользователя за утрату промышленной значимости кондиционных запасов в связи с выявленным на стадии эксплуатации несоответствием принятой схемы подготовки запасов реальным геологическим условиям определяется органами государственного контроля и управления недрами.

Предметом оценки является установление объективной возможности прогнозирования недропользователем наличия участка усложнения геологических условий до начала планирования развития горных работ, которая не была учтена при реализации его обязательств по выполнению опережающего геологического изучения недр.

1.3. Необходимость выполнения количественной оценки достоверности запасов для обоснования постановки и определения объемов работ по опережающему геологическому изучению недр определяется недропользователем.

1.4. Производство количественной оценки достоверности запасов при заключении договоров на лизинговые поставки техники и технологий, на страхование производственной деятельности предприятий и долгосрочных договоров на поставку углепродукции осуществляется по усмотрению сторон.

1.5. Необходимость выполнения оценки достоверности при проведении аудита запасов определяется содержанием аудиторского задания. При выполнении аудита запасов в соответствии с рекомендациями «Руководства по гармонизации стандартов отчетности по твердым полезным ископаемым России и CRIRSCO» (ФГУ «ГКЗ», «CRIRSCO», 2010 г.) выполнение количественной оценки достоверности рекомендуется в случае, если на момент их государственной геологической экспертизы она не выполнялась.

Повторная количественная оценка достоверности запасов действующих угледобывающих предприятий с использованием результатов мониторинга достоверности его запасов выполняется по решению недропользователя.

1.6. Выполнение количественной оценки достоверности запасов в целях ее использования при выполнении проектных работ и в иных корпоративных целях осуществляется по решению недропользователя.

1.7. При выполнении количественной оценки достоверности для всех объектов рекомендуется выполнять оценку достоверности изучения гипсометрии пласта, мощности и зольности чистых угольных паечек пласта, которые обуславливают точность и достоверность определения основных подсчетных параметров. Оценка остальных показателей производится по мере необходимости.

2. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГИПСОМЕТРИИ ПЛАСТА

2.1. Основным показателем достоверности изучения гипсометрии пласта является ожидаемое расхождение между фактическим и предполагаемым положением пласта в межскважинном пространстве, характеризуемое степенью возможности других построений (многовариантностью построений). Достоверность изучения гипсометрии пласта определяет достоверность определения «истинной» площади подсчетного блока и его балансовой принадлежности.

2.2. Степень возможности других построений оценивается в пределах оценочного блока, представляющего собой четырехугольник сети разведочных пересечений с вершинами – точками производства измерений.

Для создания в пределах оценочного блока косвенных избыточных определений в нем проводятся две диагонали, пересекающиеся в точке K . С помощью метода интерполирования, по точности соответствующего методу, примененному при построении геологической модели, в точке K определяется значение признака по результатам интерполирования вдоль каждой диагонали. Разность полученных значений рассматривается в качестве меры количественной оценки степени многовариантности построений и именуется лямбда-критерием разведанности – λ .

Величина лямбда-критерия выражается в метрах и измеряется в направлении нормали к пласту.

Порядок подготовки данных для расчета лямбда-критерия разведанности приведен в прил. А.

2.3. Исходными данными к производству оценки достоверности изучения гипсометрии пласта по площади являются подсчетные (структурные) планы пласта, геологические разрезы и, при наличии, материалы кернометрии, наклонометрической, теле- и фотосъемки стволов скважин.

Принятое для подсчетных планов сечение изогипс не должно превышать величины, определенной в соответствии с «Методическими рекомендациям по выбору сечений изогипс, изолиний мощности и показателей качества при построении планов и разрезов угольных месторождений» (Мингео СССР, ВНИГРИУголь, Ростов-на-Дону, 1989 г.). При большем сечении изогипс предварительно производятся работы по их сгущению.

Для производства расчетов лямбда-критериев разведанности используются данные о плоских координатах плаstopодсечений X и Y (для компьютерной обработки), либо указанное на плане их положение (для «ручной» обработки). Кроме того, для каждого подсечения должны быть определены: его высотная отметка Z , непосредственно измеренные или ожидаемые по результатам моделирования элементы залегания пласта (угол падения δ и дирекционный угол направления падения α). Рекомендуемый порядок сбора исходных данных изложен в прил. А.

2.4. Вся имеющаяся сеть замеров на подсчетном (структурном) плане квадриангулируется, т. е. разделяется на систему четырехугольников (оценочных блоков) с вершинами – точками измерений.

При выполнении квадриангулирования допускается игнорирование части скважин, являющихся сближенными, информация по которым не изменяет геометрических представлений о геологической структуре участка. Квадриангулирование сети скважин должно обеспечивать максимальную степень покрытия ими участка оценки.

При выделении блоков следует использовать ближайшие друг к другу замеры. Наличие внутри блоков отдельных замеров с достоверно определенными значениями изучаемого признака допускается только при выполнении разрежения сети скважин при построении «кривой разведанности». Разрешается взаимное перекрытие оценочных блоков друг другом.

Вершинам каждого четырехугольника присваиваются условные номера (от 1 до 4), начиная с произвольной вершины с увеличением их по мере обхода четырехугольника по (или против) направления движения часовой стрелки (рис. 2.1).

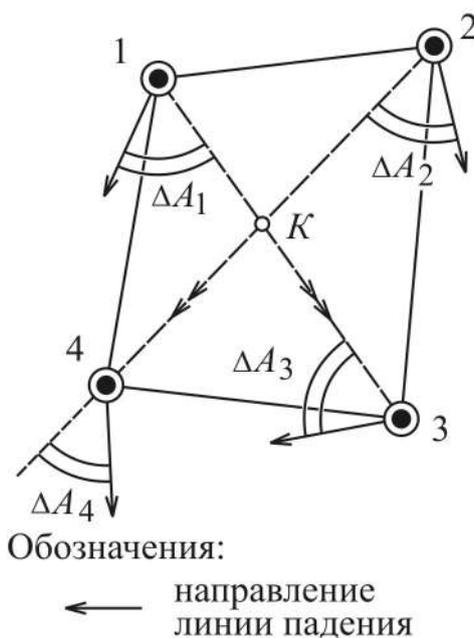


Рис. 2.1. Оценочный четырехугольный блок и его основные параметры

Для каждого оценочного блока определяются длины диагоналей 1–3 (R_1) и 2–4 (R_2), расстояния 1– K (r_1) и 1– K (r_2) от вершин 1 и 2 до точки пересечения диагоналей K и отношения расстояний

$$x = \frac{r_1}{R_1}; \quad x' = \frac{r_2}{R_2}. \quad (2.1)$$

Оценочный блок принимается в обработку, если одновременно выполняются следующие геометрические условия:

– внутренние углы четырехугольника находятся в пределах от 25 до 155°;

– отношения x и x' находятся в диапазоне от 0,3 до 0,7;

– отношение проекции длины наибольшей диагонали к проекции длины наименьшей не превышает 2,6;

– вытянутость четырехугольного блока, определяемая как отношение средней длины двух самых протяженных его сторон к средней длине двух коротких, не превышает 4 (длины определяются в плоскости пласта).

На подсчетном (структурном) плане в каждой скважине четырехугольника показывается направление линии падения пласта и определяются острые углы ΔA между ним и направлением диагоналей (рис. 2.1). За направление диагонали принимается направление от замера с меньшим условным номером к большему (эти направления показаны на рис. 2.1 двойными стрелками).

По значениям угла падения пласта δ и острого угла ΔA для каждой вершины четырехугольника вычисляется тангенс угла падения пласта в направлении диагонали:

$$T(\delta_i) = \frac{\text{tg} \delta_i}{\cos \Delta A_i}. \quad (2.2)$$

Величине $T(\delta_i)$ присваивается знак «-», если направления диагонали и направление линии падения согласны (замеры 1, 2 и 4 на рис. 2.1) или «+» в противном случае (замер 3 на рис. 2.1).

2.5. Для каждого оценочного блока рассчитывается абсолютное значение лямбда-критерия разведанности гипсометрии в вертикальном направлении

$$\lambda_g = \left| [F_1(x)T(\delta_1) - F_2(x)T(\delta_3)]R_1 + (Z_3 - Z_1)F_3(x) + Z_1 - [F_1(x')T(\delta_2) - F_2(x')T(\delta_4)]R_2 - (Z_4 - Z_2)F_3(x') - Z_2 \right|, \quad (2.3)$$

где R_1, R_2 – длины проекций диагоналей 1–3 и 2–4 четырехугольника; x, x' – отношения длин, определенные по формуле (1); Z_i – высотная отметка пласта в точке i -го плаstopодсечения.

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

$$\begin{aligned} F_1(x) &= (1-x)^2 x; \\ F_2(x) &= (1-x)x^2; \\ F_3(x) &= (3-2x)x^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Критерий λ_g пересчитывается в нормальное к пласту направление

$$\lambda = \lambda_g \cos \delta_K, \quad (2.5)$$

где δ_K – угол падения пласта в точке пересечения диагоналей четырехугольника сети замеров.

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

$$\operatorname{tg}\delta_{1-3} = (1 - 4x + 3x^2)T(\delta_1) - (2x + 3x^2)T(\delta_3) + 6x(1 - x)\frac{Z_3 - Z_1}{R_1}, \quad (2.6)$$

$$\operatorname{tg}\delta_{2-4} = (1 - 4x' + 3x'^2)T(\delta_2) - (2x' + 3x'^2)T(\delta_4) + 6x'(1 - x')\frac{Z_4 - Z_2}{R_2} \quad (2.7)$$

по формулам:

$$\operatorname{ctg}\alpha_K = \frac{\operatorname{tg}\delta_{1-3} \cos \alpha_{1-3} - \operatorname{tg}\delta_{2-4} \cos \alpha_{2-4}}{\operatorname{tg}\delta_{1-3} \sin \alpha_{1-3} - \operatorname{tg}\delta_{2-4} \sin \alpha_{2-4}}, \quad (2.8)$$

$$\operatorname{ctg}\delta_K = \operatorname{ctg}\delta_{1-3} \sin(\alpha_{1-3} - \alpha_K), \quad (2.9)$$

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

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

2.6. При оценке достоверности изучения пластов крутого и круто-наклонного залегания (подсчет запасов которых выполнен в проекции на вертикальную плоскость) рекомендуется предварительно отстраивать их изофронтальные проекции. Положение почвы пласта изображается в этом случае системой изофронталей, т. е. линий равного удаления его почвы от выбранной вертикальной плоскости проектирования.

Расчеты лямбда-критериев ведутся аналогично рассмотренной схеме на основе рассмотрения изофронтальной проекции в виде аналога гипсометрического плана. При этом вместо углов падения фактически используются зенитные углы, а вместо высотных отметок плаstopодсечений – расстояния до плоскости проектирования.

2.7. Ожидаемая погрешность положения пласта в межскважинном пространстве в пределах оценочного блока R_g оценивается по формуле

$$R_g = K_g \lambda, \quad (2.10)$$

где K_g – коэффициент пропорциональности, зависящий от принятой доверительной вероятности оценки.

2.8. Использование лямбда-критериев разведанности при категоризации запасов допустимо только в случае, если имеющаяся сеть разведочных выработок обеспечивает правомерность интерполирования высотных отметок пласта в межскважинном пространстве.

Оценка правомерности интерполирования высотных отметок пласта в межскважинном пространстве осуществляется с помощью построения и анализа вида «кривой разведанности». Оценка производится только для полей вновь строящихся предприятий и контуров новых осваиваемых горизонтов и прирезок к действующим предприятиям.

При отсутствии правомерности построения гипсометрических планов проектирование и строительство угледобывающего предприятия допустимо только на основе прямого решения, принятого по результатам государственной геологической экспертизы. Объект освоения или его часть рекомендуется к дополнительному геологическому изучению, осуществляемому путем повсеместного сгущения сети разведочных скважин.

2.9. Исходными данными к производству оценки правомерности построения гипсометрических планов являются результаты многовариантных расчетов значений лямбда-критериев, определенных по направлению нормали к пласту λ . Для построения «кривой разведанности» выполняются следующие операции:

– исходная сеть скважин разделяется на систему четырехугольников, по каждому из которых рассчитывается площадь его проекции и лямбда-критерий (в соответствии с п. 2.5 настоящих рекомендаций), а затем определяются их средние арифметические значения (лямбда-критерия – λ_1 и площади – S_1);

– производится примерно двукратное разрежение исходной сети путем «игнорирования» части имеющихся данных (обычно каждой второй скважины в линии, выполняется ее разбиение на четырехугольники и рассчитываются средние значения критериев и площадей (λ_2 и S_2);

– разреженная сеть подвергается еще одному разрежению, с последующим вычислением по его результатам средних значений λ_3 и S_3 .

При выполнении разрежений допускается произвольное взаимное пересечение оценочных блоков с целью использования при выполнении блокировки максимально возможного количества пласто-подсечений, что иллюстрируется рис. 2.2. Три полученные точки наносятся на график и соединяются плавной линией – «кривой разведанности» (рис. 2.3). Построение «кривой разведанности» без разрежений и вычисления средних значений не корректно.

Данный запрет обусловлен тем, что «кривая разведанности» должна характеризовать только степень влияния плотности сети измерений на достоверность геолого-геометрического моделирования, в условиях, когда значение лямбда-критерия определяется не только плотностью сети наблюдений, но и сложностью геологического строения изучаемого объекта.

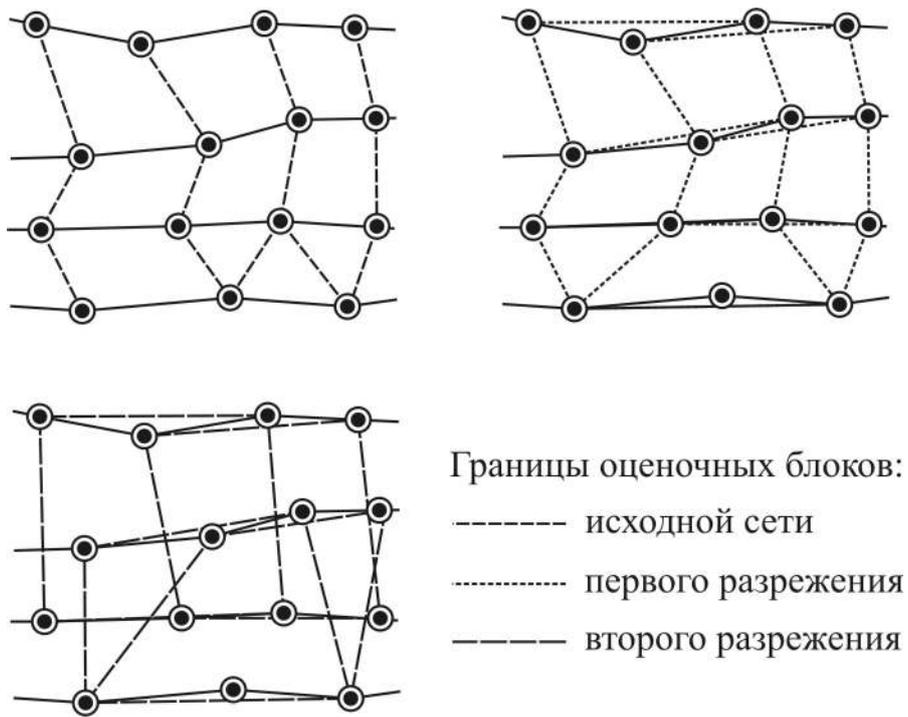


Рис. 2.2. Пример выполнения квадрангулирования при разрезании сети скважин

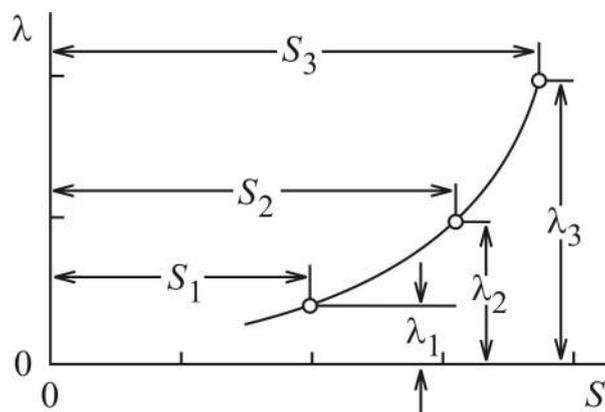


Рис. 2.3. Порядок построения «кривой разведанности»

Равномерное разрежение сети наблюдений и последующее усреднение получаемых значений охватывает весь объект геологического изучения, что обеспечивает равную сложность объекта для каждой из точек «кривой разведанности», т. е. нейтрализует действие фактора сложности.

В случае, если соседние точки «кривой разведанности» имеют незначительно отличающиеся средние значения лямбда-критериев (меньше чем на 20 % от среднего значения), проверяется гипотеза о статистическом равенстве средних значений. Если последующая k -я точка «кривой разведанности» имеет среднее значение лямбда-критерия меньше чем предыдущая j -я точка, гипотеза о статистическом равенстве средних значений проверяется, начиная с 30 % уровня расхождения значений.

Статистические гипотезы о равенстве значений λ_k и λ_j проверяются стандартными методами математической статистики. Для этого определяются параметры:

$$\sigma_{k-j} = \sqrt{\frac{n_k \sigma_k^2 + n_j \sigma_j^2}{n_k + n_j - 2}}, \quad (2.11)$$

$$t_0 = \frac{|\lambda_k - \lambda_j|}{\sigma_{k-j} \sqrt{\frac{1}{n_k} + \frac{1}{n_j}}}, \quad (2.12)$$

где σ_k и σ_j – среднеквадратические отклонения значений лямбда-критериев от средних для k -ой и j -ой точек кривой; n_k и n_j – число оценочных блоков, использованных при расчетах средних значений критериев в k -ой и j -ой точках кривой; λ_k и λ_j – средние значения лямбда-критериев для k -ой и j -ой точек кривой.

Если t_0 меньше, чем величина t , определенная по известной табл. 2.1, то делается вывод о статистическом равенстве рассматриваемых средних значений λ_k и λ_j .

Таблица t -распределения при уровне значимости 0,2

$n_j + n_k - 2$	t	$n_j + n_k - 2$	t
1	3,078	18	1,330
2	1,886	19	1,328
3	1,638	20	1,325
4	1,533	21	1,323
5	1,476	22	1,321
6	1,440	23	1,319
7	1,415	24	1,318
8	1,397	25	1,316
9	1,383	26	1,315
10	1,372	27	1,314
11	1,363	28	1,313
12	1,356	29	1,311
13	1,350	30	1,310
14	1,345	40	1,303
15	1,341	60	1,293
16	1,337	120	1,289
17	1,333	∞	1,282

Полученный вид «кривой разведанности» анализируется с помощью таблицы решений (рис. 2.4), на основании которой делаются выводы о правомерности построения гипсометрического плана.

Таблицей решений выделяются три основных типа кривых разведанности.

К первому типу (типы 1а, 1б и 1в на рис. 2.4) относятся «кривые разведанности», имеющие вид, соответствующий теоретически ожидаемому (снижение степени разведанности по мере уменьшения плотности разведочной сети). Они характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве.



Рис. 2.4. Таблица решений по оценке правомерности построения гипсометрических планов

Второй тип «кривых разведанности» (типы 3а, 3б и 3в на рис. 2.4) имеет вид противоречащий теоретическому. Такие «кривые» характерны для объектов, плотность разведочной сети по которым не обеспечивает правомерность интерполяции отметок в межскважинном пространстве.

При данной форме кривой разведанности лямбда-критерии являются неинформативными и не подлежат интерпретации. Запасы таких объектов должны квалифицироваться по категории C_2 .

Третий, промежуточный, тип кривой (типы 2а, 2б и 2в на рис. 2.4) объединяет в себе оба предшествующих типа.

В начале по мере роста площадей оценочных блоков происходит рост неоднозначности построений (теоретически ожидаемая тенденция – «кривая разведанности» первого типа), а затем – ее снижение («кривая разведанности» второго типа). Данный тип характерен для относительно слабо разведанных объектов, исходная сеть наблюдений для которых позволяет выявить основные структурные элементы пласта, но при ее значительном разрежении наступает такой момент, когда информация о них начинает теряться.

Для кривых данного типа делается вывод об ограниченной правомерности интерполирования высотных отметок в межскважинном пространстве: для оценочных блоков с площадью меньшей критической ($S_{кр}$ – рис. 2.4) она существует, а для большей – отсутствует.

Подтип 2в «кривой разведанности» может проявляться в случае существенной переразведки объекта, т. е. в условиях повсеместной правомерности интерполяции отметок. При проявлении данного типа «кривой разведанности» проверка предположения о переразведке осуществляется только для объектов первой и второй групп геологической сложности в случае, если величина $\lambda_{3н}$ не превышает, соответственно, 3 и 4 м. В этом случае выполняются два дополнительных разрежения сети скважин с использованием полученной «кривой разведанности» для окончательных выводов.

При получении кривой промежуточного типа (рис. 2а, 2б, 2в), среди реально выделенных оценочных блоков выделяются блоки с площадями менее $S_{кр}$, для которых правомерно осуществлять расчет и интерпретацию значений лямбда-критериев. По остальным («закритическим») блокам сети такой расчет выполнять нецелесообразно в связи с его низкой надежностью, запасы таких блоков квалифицируются по категории C_2 . Величина критической площади $S_{кр}$ определяется на основе результатов расчета средней площади всех оценочных блоков первого разрежения сети S_2 .

За величину $S_{кр}$ принимается средняя площадь блоков сети первого приближения, вычисленная без учета блоков, площадь которых равна или превышает S_2 .

«Закритические» по площади блоки могут размещаться в пределах участка либо концентрировано, либо хаотически. В первом случае участок 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, не применимы.

В случае хаотичного характера размещения «закритических» оценочных блоков и при их значительной доле (более 30 % от общего количества четырехугольников сети замеров) делается вывод о не информативности лямбда-критериев разведанности. Запасы таких объектов должны квалифицироваться по категории C_2 . При меньшей доле «закритических» оценочных блоков все запасы участка квалифицируются по категории C_1 при условии последующего выполнения опережающего геологического изучения.

2.10. Расчеты лямбда-критериев выполняются либо вручную, либо с применением компьютерных программ (рекомендуемые программы для персональных компьютеров «DRU» и «MDZ»).

2.11. Ожидаемая погрешность положения пласта в межскважинном пространстве R_g не должна превышать 4 м – для запасов категории А, 8 м – для запасов категории В и 25 м – для запасов категории C_1 .

2.12. Предельное для категорий запасов значение лямбда-критерия разведанности устанавливается по величине указанной в п. 2.11 погрешности и коэффициенту пропорциональности K_g соответствующему доверительной вероятности 0,68:

$$\lambda = \frac{R_g}{K_g}. \quad (2.13)$$

При отсутствии специальных обоснований, выполненных в соответствии с требованиями раздела 10 настоящих рекомендаций, коэффициент пропорциональности K_g принимается равным 0,6. Ему соответствуют следующие рекомендуемые значения лямбда-критериев (при их округлении до целых значений в метрах):

- от 0 до 7 м для запасов категории А;
- от 8 до 13 м для запасов категории В;
- от 14 до 42 м для запасов категории С₁.

2.13. При проектировании работ по опережающему геологическому изучению недр геологоразведочные скважины рекомендуется, в первую очередь, закладывать в контурах оценочных блоков с наибольшими ожидаемыми погрешностями геометризации гипсометрии.

2.14. Для уже действующих предприятий коэффициент пропорциональности K_g может устанавливаться по результатам сопоставлений данных горных и геологоразведочных работ, методика выполнения которых в режиме мониторинга достоверности запасов приведена в разделе 10.

2.15. Предельно допустимая погрешность гипсометрии пласта для различных категорий запасов R_g может индивидуально устанавливаться для отдельного действующего предприятия.

Для этого выделяется не менее 20 четырехугольников сети скважин, находящихся в отработанном контуре, по которому не было отмечено значимого влияния погрешности гипсометрии (включая разрывные нарушения) на уровень подтверждения расчетных технико-экономических показателей его работы.

Принимаемые для анализа оценочные четырехугольники должны находиться в пределах контура, отработанного единой системой отработки и обладающего примерно одинаковым уровнем технологичности запасов.

По каждому из оценочных блоков на основе только геологоразведочных данных производится расчет ожидаемых значений лямбда-критериев. Предельная допустимая погрешность геометризации гипсометрии для категории А устанавливается по наибольшему значению критерия, отмеченного в указанных оценочных блоках.

Степень неоднозначности для запасов категории В определяется умножением аналогичного показателя для категории А на поправочный коэффициент 1,9. Предельный уровень погрешности гипсометрии для категории С₁ корректировке не подлежит.

2.16. По результатам количественной оценки достоверности изучения гипсометрии с использованием лямбда-критериев разведанности выполняется построение картограммы разведанности, на которой указываются контуры запасов различных категорий.

Построение картограммы должно предшествовать выделению по пласту подсчетных геологических блоков.

При сложном характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма выполняется в графической форме, в виде плана в произвольном масштабе, на котором различными условными знаками (цветом или штриховкой) указываются границы контуров различных категорий запасов.

При простом характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма может выполняться в форме текстового описания границ размещения контуров различных категорий запасов.

При оценке достоверности запасов месторождений 2-й и 3-й групп сложности геологического строения, на которых действующей «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» не предусмотрено выделение, соответственно, запасов категорий А и А+В, картограммы выполняются с учетом данного обстоятельства, путем понижения рекомендуемых количественной оценкой высоких категорий запасов до уровня допустимых к применению.

3. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГИПСОМЕТРИИ ПЛАСТА СЛОЖНОДИСЛОЦИРОВАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

3.1. Под сложнодислоцированными месторождениями применительно к данным методическим рекомендациям понимаются угольные месторождения 3-й группы сложности геологического строения, характеризующиеся наличием сложноскладчатых структур с крутым и крутонаклонным залеганием крыльев, осложненных разрывными нарушениями, создающими мелкоблоковые структуры, выделение четырехугольных оценочных блоков, в пределах которых, невозможно. Отработка таких месторождений технически допустима только отрывными горными работами, либо нетрадиционными технологиями (например, подземной газификацией).

3.2. Целью количественной оценки достоверности изучения гипсометрии пластов сложнодислоцированных месторождений является выделение контуров запасов категорий C_1 и C_2 .

3.3. Оценка выполняется в пределах контуров пластов, ограниченных по простиранию разведочными линиями, по падению – горизонтами подсчета.

3.4. В качестве критерия разделения запасов на категории C_1 и C_2 используется коэффициент подобия положений пластов на соседних геологических разрезах K_{Π} , характеризующий степень их «похожести» (при полном совпадении разрезов коэффициент подобия K_{Π} равен единице, при полном несовпадении – нулю).

3.5. Для выполнения расчетов положение почвы или кровли пласта в сечении разреза координируется «характерными» точками. Все «характерные» точки делятся на три класса (рис. 3.1):

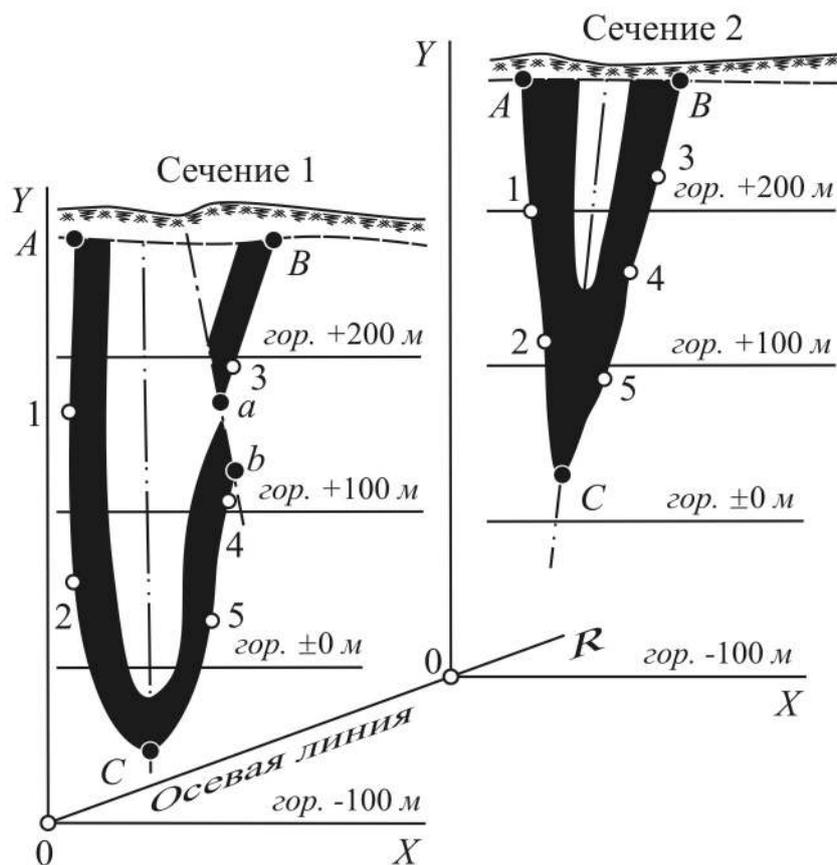


Рис. 3.1. Размещение характерных точек на разрезах

– к точкам I класса относятся точки встречи пласта с осями складок, выхода пласта под наносы и на технические границы участка (например, точки *A*, *B* и *C* на рис. 3.1);

– к точкам II класса относятся точки обреза пласта крупными разрывными нарушениями (например, точки *a* и *b* на рис. 3.1);

– к точкам III класса относятся «характерные» точки, уточняющие положение пласта между точками I класса и равномерно размещаемые между ними (например, точки 1, 2, 3, 4, 5 на рис. 3.1).

Количество характерных точек III класса между парами одноименных точек I класса двух анализируемых сечений должно быть одинаково. Всем характерным точкам присваиваются цифровые либо буквенные обозначения. Соответствующим (сходным) точкам разных разрезов присваивается один и тот же номер или обозначение.

3.6. Каждая «характерная» точка координируется в условной системе координат XOY геологического разреза. За начало системы координат принимается линия пересечения единого для всех разрезов горизонта с проекцией единой для участка осевой линией, проводимой на плане выходов пластов под наносы максимально перпендикулярно системе разрезов.

Положение начальной точки системы координат должно обеспечивать их положительные значения у всех характерных точек.

Ось OY системы координат совпадает с вертикалью (с осью высотных отметок), ось OX – с горизонталью.

Координаты x_{ji} , y_{ji} каждой i -ой точки по j -му разрезу измеряются в плоскости разреза. В случае если линия разреза и осевая линия участка не перпендикулярны, то измеренные в плоскости координаты x_{ji} умножаются на косинус угла неортогональности сечений (при строгой перпендикулярности разреза и оси участка данный угол равен нулю).

3.7. Последовательно вычисляются четыре коэффициента корреляции по данным соседних разрезов 1 и 2:

– между координатами x_1 и x_2 :

$$\tau_{x_1, x_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1) (x_{2i} - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{X}_2)^2}}, \quad (3.1)$$

где $\bar{X}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{1i}}{n}$; $\bar{X}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{2i}}{n}$; n – количество характерных точек, одновременно присутствующих на обоих разрезах;

– между величинами y_1 и y_2 :

$$\tau_{y_1, y_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{1i} - \bar{Y}_1) (y_{2i} - \bar{Y}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{1i} - \bar{Y}_1)^2 \sum_{i=1}^n (y_{2i} - \bar{Y}_2)^2}}, \quad (3.2)$$

где $\bar{Y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{1i}}{n}$; $\bar{Y}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{2i}}{n}$;

– между величинами x_1 и y_2 :

$$\tau_{x_1, y_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1) (y_{2i} - \bar{Y}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{X}_1)^2 \sum_{i=1}^n (y_{2i} - \bar{Y}_2)^2}}, \quad (3.3)$$

– между величинами x_2 и y_1 :

$$\tau_{x_2, y_1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{X}_2) (y_{1i} - \bar{Y}_1)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{X}_2)^2 \sum_{i=1}^n (y_{1i} - \bar{Y}_1)^2}}. \quad (3.4)$$

Вычисляется модуль коэффициента корреляции двух комплексных случайных величин

$$|\tau_{z_1, z_2}| = \sqrt{(\tau_{x_1, x_2} + \tau_{y_1, y_2})^2 + (\tau_{x_1, y_2} - \tau_{x_2, y_1})^2}. \quad (3.5)$$

И коэффициент подобия разрезов

$$K_{\text{II}} = \frac{|\tau_{z_1, z_2}|}{2} \sqrt{\frac{N-T}{N}}, \quad (3.6)$$

где N – суммарное число характерных точек I и II класса на сечениях;
 T – суммарное количество характерных точек I и II класса, имеющих-
ся на одном, но отсутствующих на другом сечении.

3.8. Для оценки информативности (не случайности) полученных коэффициентов подобия выполняется построение «кривой разведанности», связывающей значения коэффициентов K_{II} , с расстояниями L между разведочными сечениями. Кривая строится по системе точек, формируемых методом последовательных разрежений (используются коэффициенты подобия, рассчитанные по парам соседних линий, по парам, «пропускающим» одну и две линии, например, при наличии пяти разведочных линий 1, 2, 3, 4 и 5, для построения кривой разведанности должны использоваться коэффициенты подобия и расстояния следующих пар линий: 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 1–3, 2–4, 3–5, 1–4 и 2–5).

Полученная кривая анализируется с помощью таблицы решений (рис. 3.2). Отнесение запасов участка к категориям C_1 или C_2 осуществляется в зависимости от типа «кривой разведанности» и значений коэффициентов подобия.

Если кривая относится к типу 1а или 1б запасы в пределах между двумя соседними разрезами относятся к категории C_1 в случае, если K_{II} равен или превышает 0,5. Если K_{II} менее 0,5, то запасы квалифицируются по категории C_2 .

Предельно допустимая величина коэффициента K_{II} для категории C_1 может индивидуально устанавливаться для отдельного действующего предприятия в соответствии с требованиями п. 10.9 настоящих рекомендаций.

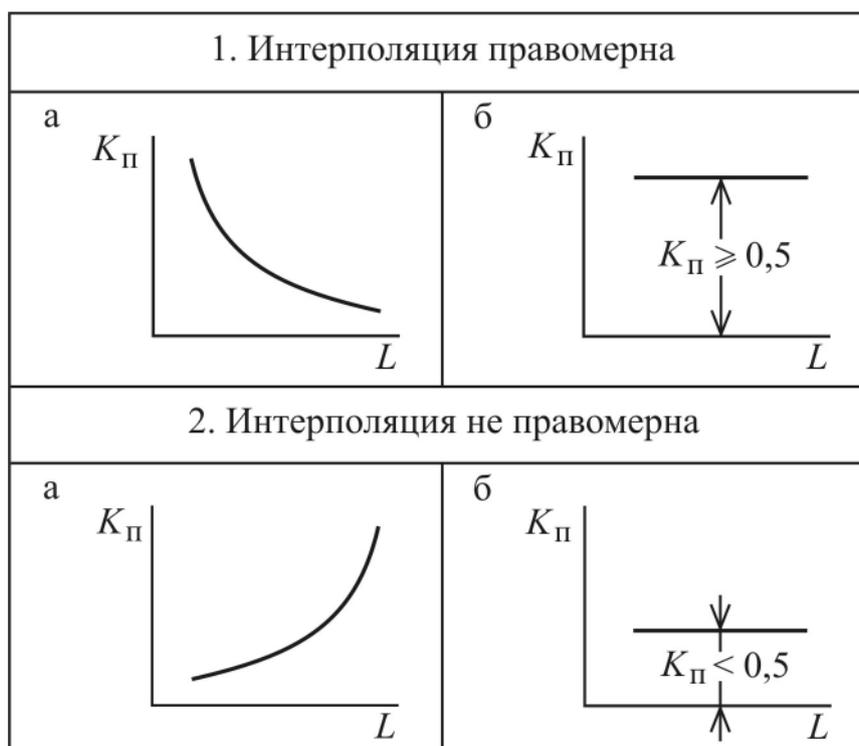


Рис. 3.2. Таблица принятия решений по оценке информативности коэффициентов подобия разрезов

Если кривая относится к типу 2а или 2б все запасы участка квалифицируются по категории C_2 .

3.9. Расчеты коэффициентов подобия выполняются либо вручную, либо с применением компьютерной программы «KPR», ориентированной на персональные компьютеры.

4. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ПЛАСТА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УГЛЯ

4.1. Основным показателем достоверности изучения мощности пласта, пачек, породных прослоев, показателей качества угля и других признаков, точно определяемых по пластоподсечениям (в дальнейшем – признаков), является ожидаемое расхождение между фактическим и предполагаемым их значением в межскважинном пространстве, характеризуемое степенью возможности других построений.

4.2. Степень возможности других построений оценивается в пределах оценочного блока, представляющего собой четырехугольник сети разведочных пересечений с вершинами – точками производства измерений.

Для создания в пределах оценочного блока косвенных избыточных определений в нем проводятся две диагонали, пересекающиеся в точке K . С помощью линейного интерполирования в точке K определяется значение признака по результатам интерполирования вдоль каждой диагонали. Разность полученных значений рассматривается в качестве меры количественной оценки степени многовариантности построений и именуется как абсолютный дельта-критерий разведанности – Δ . Величина абсолютного дельта-критерия выражается в единицах измерения оцениваемого признака.

Дельта-критерий может выражаться также и в относительной мере (по отношению к ожидаемому значению признака в точке пересечения диагоналей). В этом случае он именуется относительным дельта-критерием δ , выражаемым в процентах.

Значение абсолютного значения дельта-критерия оценивается по формуле

$$\Delta = \left| (P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2 \right|, \quad (4.1)$$

относительного

$$\delta = 200 \frac{\left| (P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2 \right|}{(P_3 - P_1)x + P_1 + (P_4 - P_2)x' + P_2}, \%, \quad (4.2)$$

где P_i – значение оцениваемого признака в скважине с i -ой вершиной оценочного блока; x и x' – параметры, определяемые по формуле (2.1).

Исходными данными для производства оценки достоверности изучения мощности пласта и показателей качества угля являются подсчетные (структурные) планы пласта, таблица расчета подсчетных мощностей, геологические разрезы, структурные колонки, таблицы теханализов и иные табличные приложения к геологическому отчету. Рекомендуемый порядок сбора исходных данных изложен в прил. А.

4.3. Расчеты дельта-критериев критериев разведанности выполняются либо вручную, либо с применением компьютерных программ (рекомендуемые программы для персональных компьютеров «DRU» и «MDZ»).

4.4. Ожидаемая абсолютная погрешность прогноза значения признака R_p в межскважинном пространстве в пределах оценочного блока определяется по формуле

$$R_p = K_p \Delta, \quad (4.3)$$

относительная ожидаемая погрешность – по формуле

$$R_p^o = K_p \delta, \quad (4.4)$$

где K_p – коэффициент пропорциональности, зависящий от принятой доверительной вероятности оценки.

4.5. Обязательными являются оценки достоверности изучения мощности и зольности чистых угольных пачек пласта, которые определяют достоверность принятых значений подсчетной мощности и кажущейся плотности угля в пределах подсчетного блока и балансовую принадлежность его запасов. Оценка остальных показателей производится по мере необходимости.

4.6. Использование дельта-критериев разведанности при категоризации запасов допустимо только в случае, если имеющаяся сеть разведочных выработок обеспечивает правомерность интерполирования значений оцениваемых признаков в межскважинном пространстве.

В блоках категорий А и В должна существовать правомерность осуществления интерполяции мощностей и зольностей чистых угольных пачек пласта в межскважинном пространстве.

4.7. Правомерность интерполяции мощностей, зольностей и показателей качества угля оценивается по соотношению случайной и общей изменчивости признака. Случайная изменчивость признака характеризуется средней величиной абсолютного дельта критерия разведанности $\bar{\Delta}_p$, общая – среднеквадратическим отклонением частных значений признака от его среднеарифметического значения σ_p :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n}}, \quad (4.5)$$

где P_i – значение признака по i -ой точке измерений; \bar{P} – среднее арифметическое значение признака; n – общее число использованных измерений признака.

Если число наблюдений n меньше 30, то значение σ_p должно быть увеличено за счет введения поправки Миллера-Кона, т. е. умножена на величину:

$$\left(1 + \frac{1}{1+n}\right) \sqrt{\frac{n}{n-3}}. \quad (4.6)$$

Правомерность интерполяции значений мощности и показателей качества признается существующей в случае выполнения условий неравенства

$$\frac{\bar{\Delta}_p}{\sigma_p} \leq 0,62K_p. \quad (4.7)$$

При отсутствии правомерности интерполяции мощностей и зольностей чистых угольных пачек невыдержанных по мощности пластов повсеместно имеющих кондиционное значение запасы оценочных блоков могут квалифицироваться только по категории С₁.

Оценка запасов контура, изученного в условиях неправомерности интерполяции зольностей и мощностей чистых угольных пачек выдержанных и относительно выдержанных пластов повсеместно имеющих кондиционное значение, возможна:

- по категории А в случае, если коэффициент вариации параметров не превышает 10 % для мощности и 15 % для зольности;
- по категории В в случае, если коэффициент вариации параметров не превышает 20 % для мощности и 25 % для зольности;
- по категории С₁ в остальных случаях.

Коэффициент вариации в целях выполнения оценки рассчитывается не менее чем по 15 замерам показателя, расположенным в районе размещения подсчетного геологического блока по формуле

$$V = \frac{\sigma_p}{\bar{P}} 100, \% \quad (4.8)$$

где \bar{P} – среднее арифметическое значение признака; σ_p – среднеквадратическое отклонение признака от среднего значения, определенное по формуле (4.5) с учетом возможного введения поправки, определенной по формуле (4.6).

В случае, если величина σ_p не превышает величины 0,1 м для мощности и 5 % для зольности (в процентах зольности), то в целях выполнения оценки величина коэффициента вариации условно принимается равной нулю.

Оценка запасов контура, изученного в условиях неправомерности интерполяции зольности и мощности чистых угольных пачек выдержанных и относительно выдержанных по мощности пластов, часть из которых имеет значения ниже кондиционных, возможна по категории C_1 только в случае, если доля замеров с некондиционными значениями мощности чистых угольных пачек не превышает 30 %. В противном случае запасы оцениваются по категории C_2 .

4.8. При существовании правомерности интерполяции ожидаемая погрешность мощности и показателей качества угля запасов категории А определяется, исходя из предусмотренных намеченной технологией добычи и последующего использования допустимого уровня погрешности прогноза значения признака в любой точке пласта (выраженного в абсолютных или относительных единицах).

4.9. Если иное не обосновано, то допустимую для категории А ожидаемую погрешность определения мощности и зольности чистых угольных пачек рекомендуется принимать для:

- шахт с крутым залеганием пластов и разрезов с крутым и крутонаклонным залеганием пластов, соответственно, 15 и 20 %;
- комплексно-механизированных шахт и разрезов, обрабатывающих пласты пологого и наклонного залегания, соответственно, 10 и 20 %;
- прочих шахт с горизонтальным, пологим и наклонным залеганием пластов, соответственно, 20 и 25 %.

Для запасов категории В указанная предельная погрешность увеличивается в 1,9 раза.

В случае, если ожидаемые погрешности определения мощности и зольности чистых угольных пачек превышают указанные значения, запасы квалифицируются по категории C_1 .

Если абсолютное значение ожидаемой погрешности определения мощности чистых угольных пачек не превышает величины 0,1 м и 5 % для их зольности (в процентах зольности), то в целях выполнения оценки достоверности запасов величина погрешности прогнозирования условно принимается равной нулю.

4.10. Предельное для категорий запасов значение относительного дельта-критерия разведанности устанавливается по величине указанной в п. 4.8 погрешности и коэффициенту пропорциональности K_p , соответствующему доверительной вероятности 0,68:

$$\delta = \frac{R_p^o}{K_p}. \quad (4.9)$$

При отсутствии специальных обоснований, выполненных в соответствии с требованиями раздела 10 настоящих рекомендаций, величина коэффициента пропорциональности K_p принимается равной 1,3.

4.11. Для уже действующих предприятий коэффициент пропорциональности K_p может устанавливаться по результатам сопоставления данных горных и геологоразведочных работ, методика выполнения которого в режиме мониторинга достоверности запасов приведена в разделе. 10.

4.12. Предельно допустимая погрешность мощности и зольности чистых угольных пачек пласта для различных категорий запасов может индивидуально устанавливаться для отдельного действующего предприятия.

Для этого выделяется не менее 20 сопряженных четырехугольников сети скважин, находящихся в отработанном контуре, по которому не было отмечено значимого влияния погрешности мощности и зольности на уровень подтверждения расчетных технико-экономических показателей и размера эксплуатационных потерь при его работе.

Принимаемые для анализа оценочные четырехугольники должны находиться в пределах контура, отработанного единой системой разработки и близкой степенью изменчивости оцениваемого параметра.

Суммарное значение запасов, находящихся в контуре принятых к обработке оценочных блоков, должно превышать двухгодичную производственную мощность предприятия.

По каждому из оценочных блоков на основе геологоразведочных данных производится расчет ожидаемых значений дельта-критериев. Предельная допустимая погрешность геометризации мощностей и показателей качества для категории А устанавливается по наибольшему значению критерия, отмеченного в указанных оценочных блоках.

Степень неоднозначности для запасов категории В определяется умножением аналогичного показателя для категории А на поправочный коэффициент 1,9. Предельная погрешность прогнозирования мощностей и зольностей чистых угольных пачек не устанавливается.

4.13. Дополнительным показателем достоверности геометризации мощностей и зольностей чистых угольных пачек в блоках, границами которых приняты изолинии признаков (границы зоны распространения окисленных углей, смены марочного состава, кондиционных значений показателей и т. д.), является точность построения изолиний.

Показателем точности положения изолинии является ожидаемое среднее расстояние между фактическим и прогнозным положением изолинии, измеренное на плане в направлении нормали к изолинии, T , для расчета которого:

– на подсчетном плане выделяются направления, соединяющие скважины, которые были использованы при производстве интерполирования в ходе построения изолиний, и находится среднеарифметическое значение длин этих линий в метрах – \bar{L} ;

– определяется среднеарифметическое значение абсолютных дельта-критериев разведанности ($\bar{\Delta}_p$) признака по оценочным четырехугольникам, которые пересекаются рассматриваемой изолинией;

– по формулам (4.5) и (4.6) вычисляется среднеквадратическое отклонение значений признака от их среднего значения в районе нахождения рассматриваемой изолинии σ_p ;

– рассчитывается ожидаемое плановое отклонение в положении изолинии

$$T = 0,41\bar{L} \frac{\bar{\Delta}_p}{\sigma_p}. \quad (4.10)$$

Расчеты величины T выполняются либо вручную, либо с применением компьютерных программ (рекомендуемые программы для персональных компьютеров «РРРІ» и «МDZ»).

Допустимым для категории В является возможное смещение изолиний, приводящее к изменению запасов блоков этой категории не более, чем на 10 %.

Для блоков категории А изолинии значений признаков не могут приниматься в качестве их границ.

Величина T для запасов категории С₁ не лимитируется.

4.14. Учет при категоризации запасов уровня достоверности геологического изучения иных характеристик пласта и угля (мощности пласта и породных прослоев, пластовой зольности, выхода летучих, толщины пластического слоя, высшей теплоты сгорания и иных показателей качества угля) осуществляется на основании специального обоснования. В представляемом обосновании должны содержаться предположения и ограничения, отвечающие содержанию пунктов 4.6, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.12 и 4.13 настоящих рекомендаций. Основные положения обоснований рекомендуется включать в состав условий геологического задания на выполнение геологоразведочных работ.

4.15. По результатам количественной оценки достоверности изучения мощности и показателей качества угля с использованием дельта-критериев разведанности выполняется построение картограмм разведанности, на которых указываются контуры запасов различных категорий разведанности. Построение картограммы должно предшествовать выделению по пласту подсчетных геологических блоков.

При сложном характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма выполняется в графической форме, в виде плана в произвольном масштабе, на котором различными условными знаками (цветом или штриховкой) указываются границы контуров различных категорий запасов. При простом характере размещения контуров различных категорий запасов картограмма может выполняться в форме текстового описания границ размещения контуров различных категорий запасов.

При оценке достоверности запасов месторождений 2-й и 3-й групп сложности геологического строения, на которых действующей «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» не предусмотрено выделение, соответственно, запасов категорий А и А+В, картограммы выполняются с учетом данного обстоятельства, путем понижения рекомендуемых количественной оценкой высоких категорий запасов до уровня допустимых к применению.

5. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГИПСОМЕТРИИ ПЛАСТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ЛИНИИ РАЗВЕДОЧНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

5.1. Оценка достоверности изучения гипсометрии пласта по направлению линии разведочных пересечений производится только в связи с обоснованной необходимостью ее выполнения, согласованной с недропользователем.

5.2. Исходными данными для производства оценки достоверности являются горизонтальные расстояния между подсечениями пласта в плоскости разреза (вычисляемые по координатам X и Y точек плаstopодсечений либо графически измеряемые на геологических разрезах) и высотные отметки почвы пласта в них.

5.3. Оценка достоверности изучения гипсометрии пласта по направлению линии разведочных пересечений производится по следующей методике. Сеть замеров делится на группы перекрывающих друг друга миниразрезов, состоящих строго из четырех замеров. На рис. 5.1 такими миниразрезами являются разрезы по линиям скважин 1–2–3–4, 2–3–4–5 и 3–4–5–6.

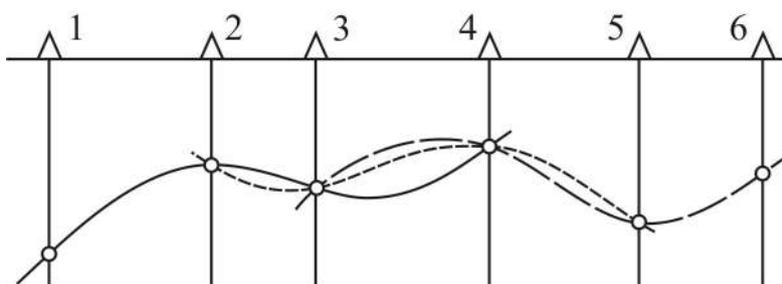


Рис. 5.1. Формирование миниразрезов

По каждому миниразрезу определяются ожидаемые углы падения пласта в точках плаstopодсечений по схеме, соответствующей обозначению номеров скважин по четверке замеров 1–2–3–4.

Для этого формируется и решается система двух уравнений, обеспечивающая получение значений углов падения в первом (δ_1) и четвертом подсечении (δ_4) миниразреза.

$$Z_2 = (F_1(x_2)\text{tg}\delta_1 - F_2(x_2)\text{tg}\delta_4)L + (Z_4 - Z_1)F_3(x_2) + Z_1, \quad (5.1)$$

$$Z_3 = (F_1(x_3)\text{tg}\delta_1 - F_2(x_3)\text{tg}\delta_4)L + (Z_4 - Z_1)F_3(x_3) + Z_1, \quad (5.2)$$

где L – горизонтальное расстояние между подсечениями 1 и 4; r_2 – горизонтальное расстояние между подсечениями 1 и 2; r_3 – горизонтальное расстояние между подсечениями 1 и 3; x_2 – отношение расстояний r_2 и L ; x_3 – отношение расстояний r_3 и L ; F_1 , F_2 и F_3 – функции от x_2 и x_3 рассчитанные по формулам (2.4) настоящих рекомендаций; Z_i – высотная отметка i -го подсечения.

По установленным тангенсам конечных углов δ_1 и δ_4 рассчитываются углы падения в точках 2 и 3:

$$\text{tg}\delta_2 = \text{tg}\delta_1(1 - 4x_2 + 3x_2^2) - \text{tg}\delta_4(2x_2 - 3x_2^2) + 6x_2(1 - x_2)\frac{Z_4 - Z_1}{L}, \quad (5.3)$$

$$\text{tg}\delta_3 = \text{tg}\delta_1(1 - 4x_3 + 3x_3^2) - \text{tg}\delta_4(2x_3 - 3x_3^2) + 6x_3(1 - x_3)\frac{Z_4 - Z_1}{L}. \quad (5.4)$$

Производится аналогичная обработка всех миниразрезов.

В результате по каждому из имеющихся подсечений будет определено от одного до четырех значений углов падения (по числу миниразрезов, использующих рассматриваемый замер).

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 A такими углами являются $\delta_{A\max}$ и $\delta_{A\min}$ – рис. 5.2).

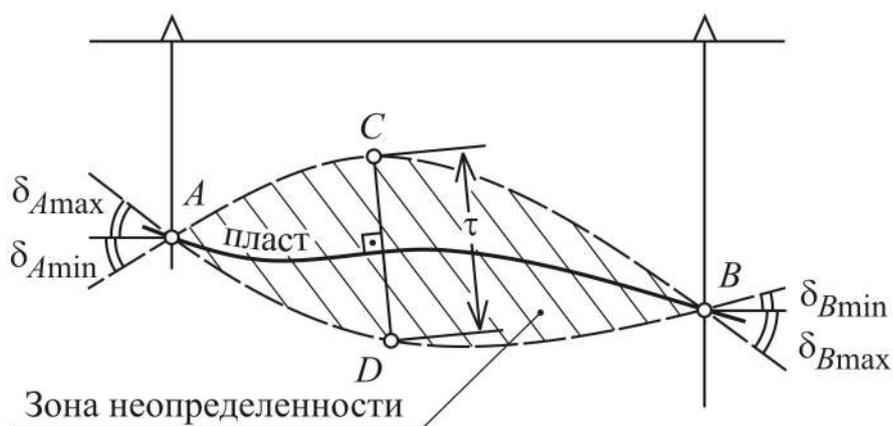


Рис. 5.2. Выполнение оценки многовариантности построений по линии замеров

По значениям этих углов для каждой пары пластопопделений отстраиваются возможные граничные положения размещения пласта в недрах (кривые ACB и ADB на рис. 5.2). Заключенная между ними зона является зоной неопределенности в положении пласта.

В качестве итоговой оценки неопределенности принимается максимальная ширина этой зоны τ , измеренная в нормальном к пласту направлении.

Построение кривых ACB и ADB производится по двум исходным (A и B) и трем дополнительным точкам (при $x = 0,25$; $x = 0,50$; $x = 0,75$, т. е. удаленных от точки A , соответственно, на четверть, половину и три четверти от горизонтального расстояния между точками A и B) с использованием предельных значений углов падения δ_A (последовательно равному $\delta_{A\max}$ или $\delta_{A\min}$) и δ_B (равному $\delta_{B\max}$ или $\delta_{B\min}$):

$$Z(x) = (F_1(x) \operatorname{tg} \delta_A - F_2(x) \operatorname{tg} \delta_B) L + (Z_B - Z_A) F_3(x) + Z_A, \quad (5.5)$$

где $Z(x)$ – расчетная высотная отметка почвы пласта в точке, удаленной от начального плаstopодсечения миниразреза на нормированное расстояние x ; δ_A и δ_B – углы падения пласта в начальном и в конечном подсечениях (в случае, если направление падения пласта совпадает с направлением от начальной к конечной точке, то тангенсу угла присваивается знак минус); Z_A, Z_B – отметки почвы пласта в начальном и конечном подсечениях миниразреза; L – горизонтальное расстояние между начальным и конечным подсечениями миниразреза.

Рассчитывается ожидаемая с вероятностью 0,68 погрешность прогнозного положения пласта в нормальном к нему направлении:

– для внешних (концевых) пар пересечений (типа 1–2 и 5–6 на рис. 5.1):

$$R_{gr} = 1,7\tau ; \quad (5.6)$$

– для внутренних пар пересечений (типа 2–3, 3–4 и 5–6 на рис. 5.1):

$$R_{gr} = 0,7\tau . \quad (5.7)$$

Числовые коэффициенты уравнений (5.6) и (5.7) могут индивидуально уточняться для отдельного действующего предприятия на основании сопоставления данных горных и разведочных работ.

5.4. Расчеты выполняются вручную, либо с применением компьютерной программы для персональных компьютеров (рекомендуемая программа – «OMR»).

5.5. Выполнение оценки достоверности изучения гипсометрии пласта по направлению линии разведочных пересечений рекомендуется производить в случае «совпадения» этой линии с осью проводимой капитальной выработки (наклонного ствола, бремсберга, капитальной траншеи и т. д.), а также для оценки представительности опорного профиля (участка детализации), результаты проведения которого определяют принятые параметры разведочной сети основной части участка.

Принимаемая допустимая погрешность в положении пласта по линии разведочных пересечений определяется в каждом конкретном случае индивидуально, исходя из допустимого изменения проектного положения горной выработки, обеспечивающего ее нормальную эксплуатацию или из оптимальной достоверности опорного профиля.

5.6. Результаты оценки достоверности изучения гипсометрии пласта по направлению линии разведочных пересечений не предусмотрены к применению в целях классификации запасов по степени их достоверности, но могут быть использованы при обосновании методики опережающего геологического изучения недр и при проектировании геологоразведочных работ.

6. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДИЗЬЮНКТИВНОЙ НАРУШЕННОСТИ

6.1. Оценка достоверности изучения интенсивности дизъюнктивной нарушенности участка недр производится по согласованию с недропользователем, только в связи с обоснованной необходимостью ее выполнения.

6.2. В качестве меры интенсивности дизъюнктивной нарушенности угольного пласта принимается коэффициент K_d А. С. Забродина, равный отношению суммарной протяженности линий скрещения их с пластом ($\sum l$ в метрах) к площади оцениваемого участка ($S_{\text{оц}}$ в гектарах):

$$K_d = \frac{\sum l}{S_{\text{оц}}}. \quad (6.1)$$

6.3. Достоверность изучения интенсивности дизъюнктивной нарушенности оценивается путем определения ожидаемой степени занижения коэффициента нарушенности, определенного по геологоразведочным данным по формуле (6.1).

6.4. Исходными данными к производству оценки достоверности изучения интенсивности дизъюнктивной нарушенности являются подсчетные (структурные) планы и результаты расчета лямбда-критериев разведанности гипсометрии, произведенного в соответствии с требованиями раздела 2 настоящих рекомендаций. По участку оценки, на котором должно быть расположено не менее восьми четырехугольных оценочных блоков, по формуле (6.1) рассчитывается коэффициент нарушенности K_d по данным геологоразведочных работ $K_d^{\text{ГРР}}$.

По результатам расчетов лямбда-критериев определяются средние арифметические значения критериев ($\bar{\lambda}$, в метрах) и площадей оценочных четырехугольных блоков (\bar{S} , в сотнях тысяч м^2), а также среднее удельное значение лямбда-критерия

$$\lambda_{\text{уд}} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{S}} \text{ при } \bar{S} \geq 100 \text{ тыс. м}^2, \quad (6.2)$$

$$\lambda_{\text{уд}} = \bar{\lambda} \text{ при } \bar{S} < 100 \text{ тыс. м}^2$$

и коэффициент ожидаемого занижения степени дизъюнктивной нарушенности

$$D = 0,1 + 0,42\lambda_{\text{уд}}. \quad (6.3)$$

В случае если определенная формуле (6.3) величина D не будет достигать единицы (что может иметь место при высокой плотности разведочной сети и незначительной степени неоднозначности модели гипсометрии), она принимается равной единице.

Устанавливается ожидаемая фактическая интенсивность нарушенности участка

$$K_{\text{д}}^{\text{ож}} = DK_{\text{д}}^{\text{грр}}. \quad (6.4)$$

6.5. Числовые коэффициенты уравнения (6.3) могут индивидуально устанавливаться для отдельного действующего предприятия на основании построения зависимости вида (6.3) по результатам сопоставления данных горных и разведочных работ.

6.6. Наиболее существенное значение занижение степени дизъюнктивной нарушенности имеет при определении объективных оценок количества и народно-хозяйственного значения запасов, предназначенных для подземной добычи.

В случае, если по данным разведки степень нарушенности участка $K_{\text{д}}^{\text{грр}} < 50$ м/га, а ожидаемая нарушенность $K_{\text{д}}^{\text{ож}} > 50$ м/га, квалификация запасов по категориям А и В допустима только по результатам специальных обоснований. Данное ограничение обусловлено тем, что по существующим представлениям при подземной добыче угля повсеместное применение механизированных комплексов возможно при коэффициенте нарушенности менее 50 м/га.

7. ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО ОБЪЕМА НЕПОДТВЕРЖДЕНИЯ И СПИСАНИЯ ЗАПАСОВ, НЕЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ К ОТРАБОТКЕ ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПРИЧИНАМ

7.1. Оценка ожидаемого объема списаний и неподтверждений запасов участка недр производится только в связи с обоснованной необходимостью ее выполнения, согласованной с недропользователем. Наиболее существенное влияние данная оценка имеет при определении правомерности осуществления на достигнутой стадии геологического изучения месторождения оценки параметров кондиций, определяющих народно-хозяйственного значение запасов угля.

Правомерность выполнения ТЭО постоянных кондиций достигается при ожидающем уровне списаний и неподтверждений, не превышающем 20 % от общего количества запасов балансовых запасов.

7.2. Оценка ожидаемого объема неподтверждений и списаний с баланса запасов, нецелесообразных к отработке по технико-экономическим причинам, производится путем прогнозирования их суммарной относительной доли ($D_{сн}$) в утвержденных балансовых запасах.

Доля ожидаемого списания и неподтверждения запасов $D_{сн}$ определяется для:

– комплексно-механизированных шахт

$$D_{сн} = 3,0 + 2,8\lambda_{уд} + 0,10\bar{\delta}, \% \quad (7.1)$$

– немеханизированных шахт

$$D_{сн} = 2,1 + 2,0\lambda_{уд} + 0,07\bar{\delta}, \% \quad (7.2)$$

– угольных разрезов

$$D_{\text{сн}} = 1,5 + 1,0\lambda_{\text{уд}} + 0,04\bar{\delta}, \% \quad (7.3)$$

где $\bar{\delta}$ – среднее значение относительных дельта-критериев разведанности мощности, определенных в соответствии с п. 4.2 настоящих рекомендаций, %; $\lambda_{\text{уд}}$ – среднее удельное значение лямбда-критерия разведанности гипсометрии пласта, определенное по формуле (6.2).

Характеризующие намеченный к обработке контур средние величины $\bar{\delta}$ и $\lambda_{\text{уд}}$ определяются путем вычислений по входящим в него четырехугольникам сети скважин. К ним относятся четырехугольники, площади которых на шестьдесят и более процентов расположены внутри рассматриваемого контура.

7.3. Числовые коэффициенты уравнений (7.1), (7.2) и (7.3) могут индивидуально уточняться для отдельного действующего предприятия по результатам сопоставления данных горных и разведочных работ в режиме мониторинга.

8. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

8.1. Оценка точности определения средних значений показателей по участкам, их частям и отдельным подсчетным геологическим блокам производится только в связи с обоснованной необходимостью ее выполнения, согласованной с недропользователем.

Результатом оценки является ожидаемое с вероятностью 0,68 расхождение между фактическим и предполагаемым их средним значением.

Ожидаемые погрешности средних значений преимущественно используются при формировании оптимистических и пессимистических оценок технико-экономических показателей работы предприятия и качества углепродукции.

Оценки погрешности среднего значения показателя, определенного по сетям замеров различной плотности, могут служить основанием для выбора оптимальной плотности сети измерений в горных выработках, обеспечивающих определение объемов добычи и потерь с заданной точностью.

8.2. Исходными данными к производству оценки точности определения средних значений показателей являются только сами значения показателей. Оценка выполняется методом комбинаторных разрежений, моделирующим процесс геологоразведочного изучения недр, в следующей последовательности.

8.2.1. По всем имеющимся N замерам определяется среднеарифметическое значение показателя – \bar{C} .

8.2.2. Имеющийся массив данных состоящий из N замеров разбивается на группы содержащие по K измерений ($K = 1, 2, 3, \dots, N-1$). В состав каждой группы включается m_k различных сочетаний замеров.

Например, для массива, состоящего из четырех замеров ($N=4$) с номерами 1, 2, 3 и 4, будет выделено:

– четыре группы, содержащих по одному замеру ($K=1$): замеры 1, 2, 3 и 4 ($m_k=4$);

– шесть групп, содержащих по два измерения ($K=2$): замеры 1–2, 1–3, 1–4, 2–3, 2–4, 3–4 ($m_k=6$);

– четыре группы, содержащих по три измерения ($K=3$): замеры 1–2–3, 1–2–4, 1–3–4, 2–3–4 ($m_k=4$);

– одна группа, содержащая четыре измерения ($K=4$): замеры 1–2–3–4 ($m_k=1$).

По каждой из m_k сформированных групп из K замеров рассчитывается частное среднеарифметическое значение признака \bar{P}_j и определяется их среднеквадратическое отклонение относительно общего среднего \bar{C}

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m_k} (\bar{P}_j - \bar{C})^2}{m_k}} . \quad (8.1)$$

При наличии более чем 20 данных шаг изменения величин K может быть увеличен, так чтобы общее число массивов групп из K замеров находилось в диапазоне от 15 до 20.

8.2.3. Строится графическая зависимость значений σ_k от K (рис. 8.1).

8.2.4. С учетом тенденции изменения графически заданной функции $\sigma_k = F(K)$ кривая продлевается до точки, соответствующей N измерениям (пунктирная линия DB на рис. 8.1). По положению точки B на графике определяется среднеквадратическое отклонение для N наблюдений – величина σ_N .

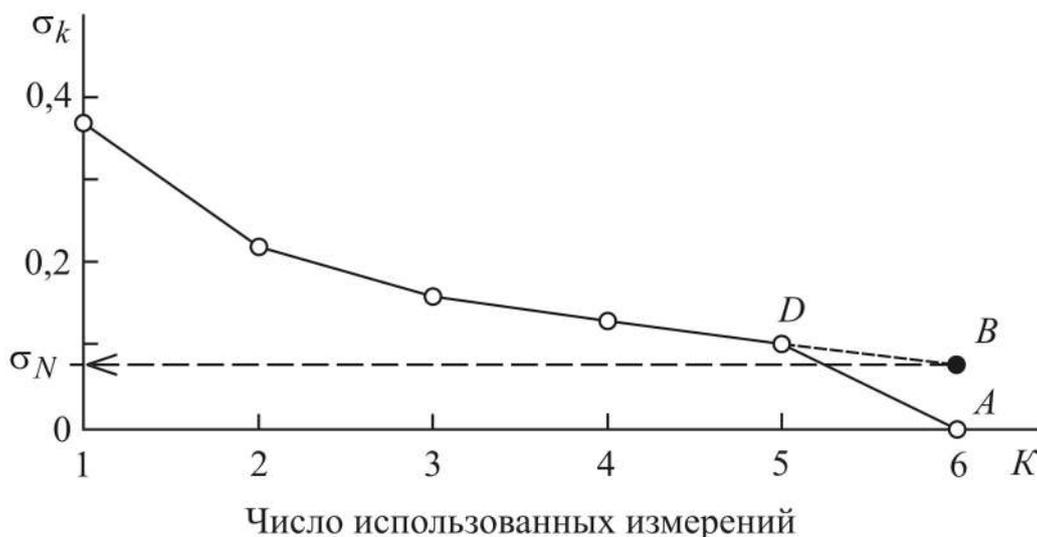


Рис. 8.1. График зависимости среднеквадратического отклонения σ_k от числа замеров в группе K

8.3. Устанавливается ожидаемая с вероятностью 0,68 погрешность P вычисленного среднего значения \bar{C}

$$P = \sigma_N \left(4,18 - 0,156N + 0,002N^2 \right) \quad \text{при } 4 \leq N \leq 40, \quad (8.2)$$

$$P = 1,2\sigma_N \quad \text{при } N > 40.$$

8.4. Расчеты выполняются вручную, либо с применением компьютерной программы «ST2» для персональных компьютеров.

8.5. Числовые коэффициенты уравнения (8.2) могут индивидуально уточняться для отдельного действующего предприятия по результатам сопоставления данных горных и разведочных работ в режиме мониторинга.

9. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ЗАПАСОВ

9.1. Результаты выполнения количественной оценки достоверности геологической информации рекомендуется оформлять в виде документа (заключения) «Количественная оценка достоверности запасов». Означенный документ может представляться как в виде обособленного, так и в виде главы, раздела или приложения к иному документу (отчету о геологическом изучении недр, ТЭО постоянных кондиций и т. п.).

9.2. В отражающий результаты прогнозирования документ рекомендуется включать текстовую и графические части, представляемые на бумажных и электронных носителях.

9.3. Рекомендуется, что текстовая часть документа должна содержать:

– краткие сведения о месторождении, определяющие выбор количественно оцениваемых признаков и методов проведения оценки (в случае, если рассматриваемый документ входит в состав документа, уже содержащего подобные материалы, указанные сведения могут не приводиться);

– перечень принятых для оценки признаков (в случае, если перечень включает в себя дополнительные признаки, не указанные в п. 1.6 настоящих рекомендаций, то приводится краткая аргументация причин выполнения их оценки);

– перечень принятых методов выполнения оценки;

– перечень использованных компьютерных программ с указанием правовых основ их использования;

– таблицы исходных данных (в формате табл. А.1 прил. А, позволяющем экспортировать их в предлагаемые настоящими рекомендациями компьютерные программы с целью проверки результатов расчетов);

– результаты выполненных расчетов в форме таблиц критериев разведанности (обязательно содержащих номера пластоподсечений – вершин оценочных четырехугольников, значений критериев разведанности и рекомендуемых категорий запасов), таблиц коэффициентов подобия геологических разрезов (с указанием наименований разведочных линий, коэффициентов подобия и расстояний между сечениями – для сложнодислоцированных месторождений и участков), результатов оценки правомерности интерполяции признаков, ожидаемых показателей степени дизъюнктивной нарушенности (при необходимости) и т. д.;

– текстовое описание картограмм разведанности запасов по отдельным оцениваемым признакам (при простом характере размещения контуров различных категорий запасов, исключающем необходимость графического представления картограммы разведанности);

– текстовое описание итоговых картограмм разведанности запасов пластов, построенных на основе картограмм разведанности запасов по отдельным оцениваемым признакам с учетом принятых предположений по оценке запасов, расположенных за пределами количественно оцененного контура и ограничений, вводимых «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» на выделение запасов высоких категорий на месторождениях 2-й и 3-й групп сложности геологического строения (при простом характере размещения контуров различных категорий запасов, исключающем необходимость графического представления итоговой картограммы разведанности);

– обобщающие рекомендации по категоризации запасов по результатам совместного учета достоверности изучения всех оцененных признаков и мотивацию категоризации запасов, расположенных за пределами количественно оцененного контура.

9.4. Рекомендуются, что графическая часть должна включать в себя:

- «кривые разведанности»;
- картограммы разведанности запасов по отдельным оцениваемым признакам (при сложном характере размещения контуров различных категорий запасов) в едином произвольном масштабе;
- картограммы разведанности запасов пластов, построенные на основе картограмм разведанности запасов по отдельным оцениваемым признакам с учетом принятых предположений по оценке запасов, расположенных за пределами количественно оцененного контура и ограничений, вводимых «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» на выделение запасов высоких категорий на месторождениях 2-й и 3-й групп сложности геологического строения (при сложном характере размещения контуров различных категорий запасов) в масштабе картограмм отдельных признаков.

9.5. Графическая часть документа может быть включена в состав текстовой части. Графическую часть допускается выполнять в произвольном масштабе при условии размещения на графических документах шкалы масштаба.

9.6. Результаты выполнения количественной оценки достоверности геологической информации по полноте, содержанию, и характеру изложения должны обеспечивать возможность их проверки без участия авторов.

10. ПОРЯДОК ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ДОСТОВЕРНОСТИ ЗАПАСОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

10.1. Под мониторингом (отслеживанием) достоверности запасов понимается непрерывный процесс сбора и анализа информации о степени соответствия ожидаемой и фактической степени достоверности запасов, осуществляемый в целях повышения объективности их категоризации.

10.2. Мониторинг достоверности запасов выполняется на действующих горнодобывающих предприятиях.

Информационной основой мониторинга являются данные, полученные на уже отработанной части месторождения (участка).

Мониторинг представляет собой систему, включающую в себя работы по наблюдению, анализу и прогнозу степени достоверности геологических представлений об объекте эксплуатации и постоянно реализуется по мере развития горных работ.

10.3. Задачами мониторинга являются:

– адаптация методики количественной оценки достоверности запасов к горно-геологическим условиям конкретного участка недр;

– установление допустимого уровня погрешности геологической информации для условий конкретного участка недр и принятой технологии его обработки.

10.4. Результаты мониторинга используются для:

– актуализации оценок достоверности запасов уже предоставленных в пользование участков недр;

– адаптации технологии количественной оценки достоверности запасов к конкретным условиям месторождения;

– дополнительного обоснования предлагаемых решений по пересчету и переутверждению запасов в ГКЗ (ТКЗ) Роснедра по инициативе недропользователя;

– планирования работ по опережающему геологическому изучению недр.

10.4. Общая схема ведения мониторинга (рис. 10.1) включает в себя следующие виды работ:



Рис. 10.1. Принципиальная схема мониторинга достоверности запасов

– расчет количественных критериев разведанности уже отработанного контура с использованием только данных геологоразведочных работ;

– установление фактической погрешности геологоразведочных данных в пределах отработанного контура на основе их сопоставления с материалами горных работ;

– установление характерных для рассматриваемого участка недр эмпирических коэффициентов перехода от количественных критериев разведанности к ожидаемым погрешностям геологических моделей (выполнение анализа имеющих место закономерностей и их использование для адаптации методики оценки погрешности);

– оценку значимости влияния погрешностей геологической информации на эффективность ведения горных работ;

– применение адаптированной методики оценки достоверности к геологоразведочным данным, полученным по еще неотработанной части участка недр.

Указанные виды работ выполняются периодически, по мере получения новых горно-эксплуатационных данных.

10.5. Распространение полученных в пределах отработанного контура закономерностей на еще неотработанные контуры допускается только в случае близости их геологических условий и технологии ведения горных работ.

10.6. В качестве исходных данных для выполнения мониторинга используются геологоразведочная документация и планы горных работ, выполненные в масштабе не менее 1:5000.

10.7. Уточнение значений эмпирических коэффициентов (коэффициентов K_g и K_p , используемых при выполнении работ по пп. 2.7, 2.12, 4.4 и 4.7 настоящих рекомендаций) перехода от количественных критериев разведанности к ожидаемым погрешностям моделей осуществляется в следующей последовательности.

10.7.1. Выполнение работ по уточнению значений эмпирических коэффициентов K_g и K_p может осуществляться при условии возможности выделения в пределах отработанного контура пласта не менее 20 оценочных блоков. В обработку принимаются оценочные блоки, у которых более 70 % площади находится в пределах уже отработанного контура.

При выделении перекрывающихся друг друга четырехугольных блоков они, в целях определения общего количества блоков, учитываются как один. Под перекрывающимися блоками в данном случае понимаются такие, которые отличаются только одной вершиной при площади перекрытия, превышающей 50 % площади каждого из них.

Учет перекрывающихся друг друга блоков осуществляется только в целях определения количества блоков. Данные по всем перекрывающимся блокам используются для дальнейших расчетов без ограничений.

Повторное уточнение значений эмпирических коэффициентов K_g и K_p в режиме мониторинга рекомендуется осуществлять после увеличения количества отработанных (в процессе развития горных работ) контуров оценочных блоков не менее чем на 10 единиц.

10.7.2. Для каждого выделенного четырехугольного блока по изложенным в настоящих рекомендациях правилам рассчитываются абсолютные дельта-критерии разведанности (Δ_i при уточнении значения коэффициента K_p) и ламбда-критерии, измеренные по вертикальному направлению (λ_{vi} при уточнении значения коэффициента K_g).

10.7.3. Все выделенные оценочные четырехугольники показываются на плане горных работ (рис. 10.2), на котором также показываются места производства замеров (взятия проб) в горных выработках.



Рис. 10.2. Графические материалы для выполнения работ по уточнению значений эмпирических коэффициентов K_g и K_p

Формируемая в целях последующей обработки сеть замеров должна обеспечивать относительную равномерность их размещения в пределах контура оценки. В связи с этим часть замеров (проб) в горных выработках не включаются в дальнейшую обработку в связи с их близким расположением друг к другу.

Например, для условий рис. 10.2 исключается из последующей обработки часть замеров по вентиляционному штреку 2-2-4 и конвейерному штреку 2-2-3.

10.7.4. По каждому замеру в горной выработке определяется два значения признака: по данным горных ($P_{гор}$) и геологоразведочных работ ($P_{гпр}$).

Значения признака по данным горных работ определяются по прямым измерениям (для высотных отметок и мощности) или определениям (для зольности и показателям качества), выполненным в горных выработках.

Значения признака по данным геологоразведочных работ определяются по построенной в изолиниях модели размещения признака путем интерполяции между изолиниями.

Величина сечения изолиний должна обеспечивать правомерность линейной интерполяции между ними. При бóльшем сечении изолиний они подлежат сгущению.

10.7.5. Устанавливается величина систематической погрешности, присутствующей в значениях признаков, определенных по данным геологоразведочных работ:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n P_{гор_i} - \sum_{i=1}^n P_{гпр_i}}{n}, \quad (10.1)$$

где n – число сопоставлений, принятых в обработку.

Учет систематической погрешности производится лишь в случае, когда она имеет статистически значимый характер.

Оценка значимости систематической погрешности производится с использованием коэффициента конкордации следующим образом.

Результаты сопоставлений представляются в форме таблицы, строки которой соответствуют источнику данных, а колонки – их значениям (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Результаты сопоставлений

По данным:	Значения признаков по сопоставлению							
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n
горных работ	10,5	12,3	9,5	...	$P_{гор_i}$	...	21,1	7,9
разведки	8,3	13,7	9,5	...	$P_{грp_i}$	...	22,4	5,2

Если рассматриваемые источники данных имеют систематические расхождения в результатах измерений, то должна наблюдаться определенная закономерность в соотношении их значений. Например, данные эксплуатации могут иметь, в основном, более высокие значения признака.

Для 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. 10.1 сопоставлений примет вид, приведенный в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Ранжированные результаты сопоставлений

По данным:	Значения признаков по сопоставлению								Сумма по строкам
	1	2	3	...	i	...	$n-1$	n	
горных работ	1	2	1,5	...	b_{1i}	...	2	1	U_1
разведки	2	1	1,5	...	b_{2i}	...	1	2	U_2

Степень закономерности распределении ранжированных значений измерений по сопоставлениям, оценивается с помощью коэффициента конкордации W . Для расчета W находятся суммы записанных в строках таблицы чисел

$$U_1 = \sum_{i=1}^n b_{1i} ; \quad U_2 = \sum_{i=1}^n b_{2i} \quad (10.2)$$

и параметр

$$S = (U_1 - 1,5n)^2 + (U_2 - 1,5n)^2. \quad (10.3)$$

Коэффициент конкордации W рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{2 \cdot S}{n^2}. \quad (10.4)$$

Величина систематической погрешности C , определенная по формуле (1), учитывается в последующих расчетах только при $W \geq 0,6$, в противном случае, полагается, что $C = 0$. Для каждого выполненного сопоставления рассчитывается разность значений признака по данным горных и геологоразведочных работ:

$$\Delta P_i = P_{\text{Ггр}_i} - P_{\text{Гор}_i} - C. \quad (10.5)$$

10.7.6. Для каждого выделенного оценочного четырехугольного блока определяется среднеквадратическая погрешность геологической модели:

$$R_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \Delta P_i^2}{k}}. \quad (10.6)$$

где k – число сопоставлений относимых к j -му оценочному четырехугольнику.

К каждому оценочному четырехугольнику относятся все принятые к анализу сопоставления расположенные внутри блока и часть сопоставлений, за его пределами вблизи границ (рис. 10.3).

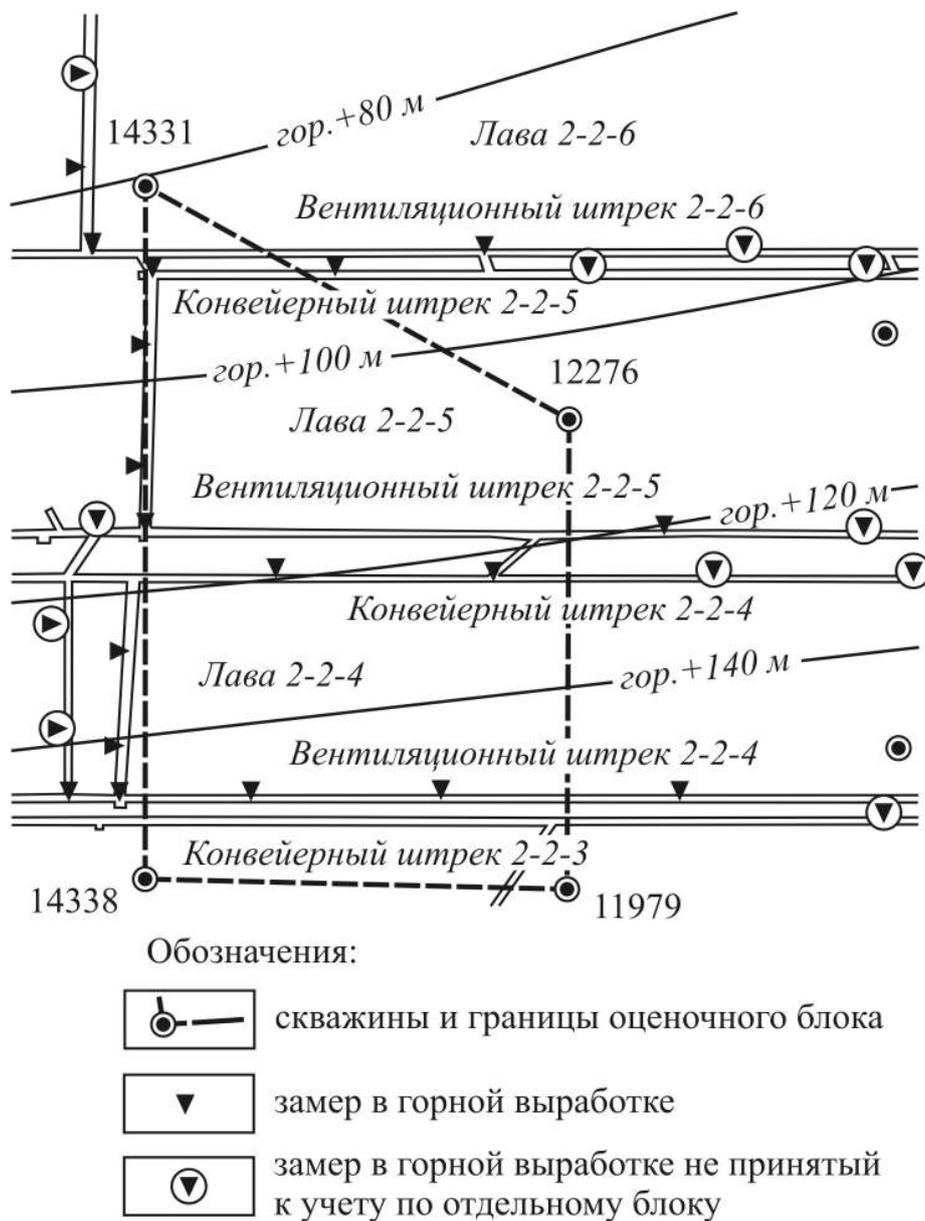


Рис. 10.3. Выбор сопоставлений, относимых к оценочному четырехугольнику

Одни и те же сопоставления могут использоваться при расчете погрешностей в различных оценочных блоках.

Результаты расчетов заносятся в колонки 1 и 2 табл. 10.3, строки которой соответствуют оценочным блокам.

Таблица 10.3

Расчет коэффициентов пропорциональности

Критерий разведанности (λ_{vj} или Δ_j)	Погрешности					
	фактические, R_j	расчетные R_{pj} при K_g или K_p :				
		0,5	0,7	...	1,0	1,2
1	2	3	4	5	6	7
5,0	5,1	2,5	3,5	...	5,0	6,0
3,7	2,3	1,9	2,6	...	3,7	4,4
2,1	1,0	1,1	1,5	...	2,1	2,5
4,0	3,1	2,0	2,8	...	4,0	4,8
6,7	5,1	3,4	4,7	...	6,7	8,0
Количество случаев когда $R_j \leq R_{pj}$		1	2	...	4	5
Эмпирическая вероятность $P(R_j \leq R_{pj})$		0,20	0,40	...	0,80	1,00

10.7.7. Осуществляется обработка табл. 10.3. Для этого в колонках 3–7 «шапки» таблицы указываются несколько возможных значений коэффициентов пропорциональности K_g (при использовании лямбда-критериев) или K_p (при использовании абсолютных дельта-критериев). В табл. 10.3 в качестве примера указаны четыре возможных значений этих коэффициентов: 0,3, 0,7, 1,0 и 1,2.

По принятым значениям коэффициентов и критериев определяются теоретические погрешности модели R_{pj} :

$$R_{pj} = K_g \lambda_{vj} \quad \text{при использовании лямбда-критериев;} \quad (10.7)$$

$$R_{pj} = K_p \Delta_j \quad \text{при использовании дельта-критериев.}$$

В предпоследней строке табл. 10.3 указывается количество строк (оценочных блоков) для которых расчетная погрешность равна или превышает фактическую (выполняется условие $R_j \leq R_{pj}$).

Так, для коэффициента, равного 0,5 условие выполняется только один раз (при $R_j=1,0$ и $R_{pj}=1,1$).

В последней строке табл. 10.3 для каждого коэффициента определяется эмпирическая вероятность того, что фактическая погрешность не превысит фактическую (как отношение указанного в предыдущей строке числа случаев выполнения неравенства к общему количеству оценочных блоков).

В приведенной в качестве примера табл. 10.3 общее количество блоков составляет 5 (при выполнении реальных расчетов это количество не должно быть меньше 20).

На основе результатов расчетов выполняется построение графика зависимости величины указанной вероятности от коэффициента пропорциональности (рис. 10.4).

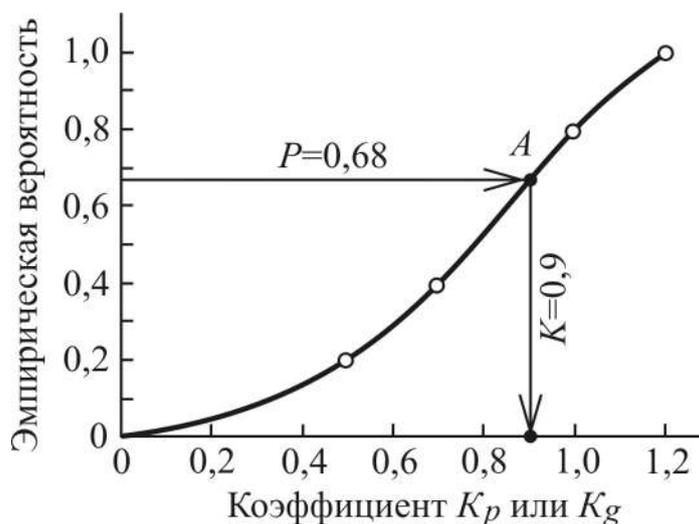


Рис. 10.4. Установление уточненного значения коэффициента K_g (K_p)

По заданной вероятности ($P=0,68$) на кривой зависимости отыскивается положение точки A , проектирование которой на ось коэффициентов пропорциональности позволяет получить уточненное значение коэффициента (0,9 для примера, приведенного на рис. 10.4).

Для уточнения положения кривой зависимости эмпирической вероятности от коэффициента пропорциональности в табл. 10.3 могут добавляться дополнительные значения коэффициентов.

10.7.8. Уточненные коэффициенты пропорциональности, полученные для отдельного пласта, могут распространяться на остальные пласты участка недр только в случае отсутствия явно выраженных ограничений геологического характера.

10.7.9. При уточнении значений коэффициента пропорциональности K_g следует учитывать возможность случайной комбинации исходных данных, приводящей к аномально низким значениям лямбда-критериев (обычно менее 1-2 м). Принятый порядок учета обосновывается результатами анализа распределения критериев разведанности по группам фактических погрешностей гипсометрического плана. В качестве мероприятий, обеспечивающих выполнение учета допускается:

- разделять обучающие выборки на отдельные группы по интервалам лямбда-критериев с установлением индивидуального значения K_g для каждой из них;

- полностью исключать блоки с малыми значениями критериев из обработки (при их незначительной доле в выборке – до 10–15 %);

- при выполнении обработки увеличивать незначительные значения лямбда-критериев путем их замены на фоновые значения, характерные для группы блоков имеющих низкие (примерно до 3 м) фактические погрешности гипсометрического плана (при этом замена значений не должна приводить к изменению категорий запасов оценочных блоков по фактору изученности гипсометрии).

10.8. Предельно допустимая погрешность моделей гипсометрии пласта, мощности и показателей качества угля для различных категорий запасов уточняется на основании требований п. 2.15 и 4.12 настоящих рекомендаций по материалам отработки запасов в контурах не менее чем 10 не перекрывающих друг друга оценочных блоков.

Указанное количество оценочных блоков устанавливается с учетом разъяснений п. 10.7.1 настоящих рекомендаций.

10.9. Уточнение предельного значения коэффициента подобия разрезов пластов сложнодислоцированных месторождений допускается только путем увеличения его значения для запасов категории C_2 .

В качестве уточненного значения коэффициента подобия принимается его фактическое значение между парой разведочных сечений в пределах контура отработанных запасов (доля которых в общих запасах пласта между сечениями превышает 70 %) степень подтверждения которых составляет менее 60 % (погрешность более 40 %).

10.10. Уточнение используемых в разделе 5 настоящих рекомендаций коэффициентов перехода от максимальной ширины зоны неопределенности положения пласта в плоскости геологического разреза τ , к ожидаемой погрешности прогнозного положения пласта R_{gr} осуществляется по результатам сопоставления данных горных и разведочных работ. Уточнение производится по схеме, приведенной в п. 10.7.7 настоящих рекомендаций при замене критериев разведанности на величину ширины зоны неопределенности τ и фактической погрешности на величину максимальной погрешности в положении пласта между разведочных скважин в линии, измеренной в нормальном к пласту направлении.

В качестве исходных должны использоваться данные по фрагментам не менее чем 10 разведочных линий, включающих в себя не менее 8 скважин расположенных в пределах отработанного контура пласта.

10.11. Уточнение коэффициентов уравнения (6.3) настоящих рекомендаций, связывающего ожидаемую степень занижения дизъюнктивной нарушенности с удельным значением лямбда-критерия разведанности производится путем построения аналогичной статистической зависимости с использованием данных горных и геологоразведочных работ. Контур используемых для оценки данных должен включать в себя на менее 20 сопряженных оценочных четырехугольных блоков, количество которых оценивается с учетом разъяснений п. 10.7.1 настоящих рекомендаций.

При этом общая площадь используемого контура горных работ не должна быть менее 2 км^2 , при характерной для пласта степени его дизъюнктивной нарушенности.

10.12. Уточнение коэффициентов уравнений (7.1), (7.2) и (7.3) настоящих рекомендаций, связывающих долю ожидаемых объемов списаний и неподтверждений запасов с удельными значениями лямбда-критериев разведанности гипсометрии и средними значениями дельта-критериев разведанности мощности, производится путем построения аналогичной двухфакторной статистической зависимости с использованием данных горных и геологоразведочных работ.

Используемый для уточнения коэффициентов отработанный контур, должен включать в себя на менее 40 сопряженных оценочных блоков, количество которых оценивается с учетом разъяснений п. 10.7.1 настоящих рекомендаций.

При этом общая площадь используемого контура горных работ не должна быть менее 4 км^2 , при характерной для пласта степени сложности его геологического строения и единой технологии ведения горных работ.

10.13. Уточнение коэффициентов уравнений (8.2) настоящих рекомендаций связывающих ожидаемую погрешность среднего значения с параметром σ_N производится путем построения аналогичной статистической зависимости с использованием данных горных и геологоразведочных работ.

Для определения уточняющих коэффициентов должны использоваться результаты не менее 30 сопоставлений средних значений признака определенных по геологоразведочным данным с результатами определения средних значений по результатам горных работ.

Средние значения признаков по данным горных работ должны быть определены по сети замеров в горных выработках, плотность сети которых не менее чем в три раза превышает плотность сети разведочных пересечений. Сопоставление производится в пределах массивов сопоставлений с примерно равным количеством подсечений (5–10, 10–15, 15–20 и т. д.).

10.14. Результаты выполнения работ по мониторингу достоверности запасов по полноте, содержанию, и характеру изложения должны обеспечивать возможность проверки их результатов без участия авторов.

11. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

10.1. Одновременно с приведенными в настоящих рекомендациях методами оценки достоверности геологоразведочной информации могут применяться любые иные дублирующие методы. Дублирование может иметь целью апробацию новых, более совершенных технологий выполнения количественной оценки достоверности запасов, которые могут возникнуть в будущем.

10.2. При проведении оценки достоверности геологоразведочной информации рекомендуется, в целях локализации и интерпретации выявленных зон пониженной достоверности геологоразведочных данных, применение любых дополнительных углубляющих методов исследования.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК СБОРА И ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ РАЗВЕДАННОСТИ

Основными исходными материалами для подготовки данных, необходимых для расчета критериев разведанности по результатам геолого-разведки, являются структурные (подсчетные) планы пластов и геологические разрезы по разведочным линиям, для расчетов критериев по результатам измерений в горных выработках – планы горных работ.

Форма таблицы основных исходных данных, ориентированных на последующую компьютерную обработку, приведена в табл. А.1.

Таблица А.1

Таблица основных исходных данных
для расчета критериев разведанности

Участок: _____

Пласт: _____

Масштаб 1: __000

№№ п / п	Номер скважины или замера	Координаты			Направле- ние паде- ния, градус	Угол падения, градус	Мощ- ность пласта, м
		X	Y	Z			
1	2	3	4	5	6	7	8

Работа с табл. А.1 начинается с занесения наименования объекта исследований (строки «Участок» и «Пласт») и указания масштаба плана (строка «Масштаб»).

Масштаб плана указывается только в случае, если координаты замеров определяются по плану графически. Для этого производится оцифровка координатной сетки плана (рис. А.1).

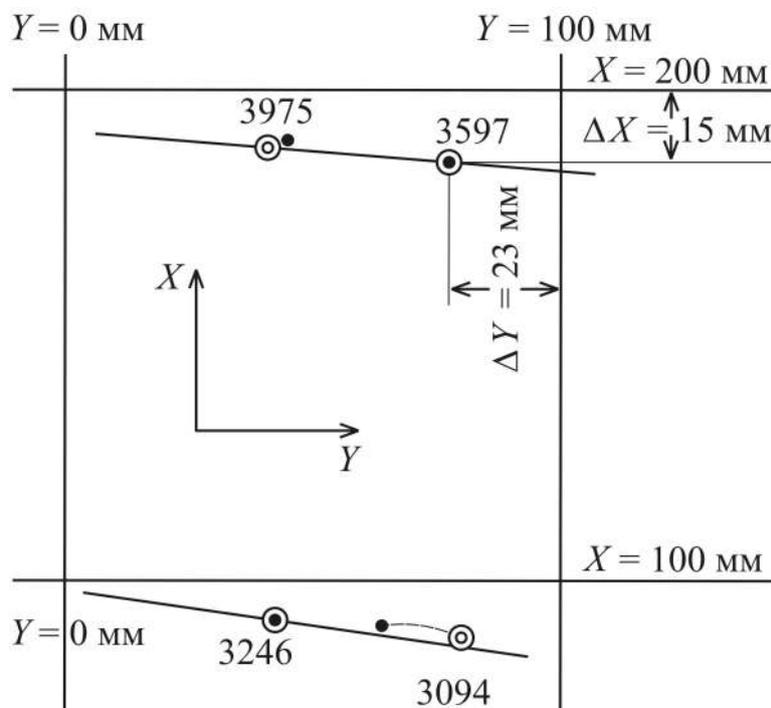


Рис. А.1. Графическое определение координат X и Y

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. Для скважин и точек замеров в горных выработках принимается единая система координат.

Для каждого плаstopодсечения или точки измерения в горной выработке графически определяются плоские координаты X и Y . Полученные значения координат записываются в колонки 3 и 4 табл. А.1.

Координаты выписываются либо из соответствующих каталогов координат (в метрах), либо определяются графически по плану (в миллиметрах плана).

При графическом определении координат измеряются приращения ΔX и ΔY от ближайших линий координатной сетки до центра точки замера. Выполнение измерений именно от ближайших координатных линий осуществляется с целью минимизации погрешностей измерений, связанных с деформацией прозрачной основы графических материалов при светокопировании. Окончательные значения координат получают путем сложения или вычитания приращений и координат соответствующих линий сетки. Например, подсечение 3597 на рис. А.1 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).

В столбце 2 указываются истинные номера скважин или замеров.

В колонку 5 табл. А.1 заносятся высотные отметки замеров (пластоподсечений) Z_i (в метрах). Высотные отметки пластоподсечений по скважинам выписываются с подсчетного плана. 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 с отображенным на плане положением изогипс почвы пласта (горизонтов) или осей складок. Контролируется и взаимное расположение подсечений относительно изогипс. Таким способом выявляются наиболее грубые ошибки. Например, в случае, когда между горизонтами «–100 м» и «–200 м» «появляется» пластоподсечение с отметкой +145 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 его изогипс на планах «описки» совершить, в принципе, невозможно.

На втором этапе контроль отметок производится с помощью геологических разрезов.

При его выполнении высотные отметки плаstopодсечений определяются графически, путем измерения расстояния от линии горизонта до почвы пласта в точке подсечения. Кроме того, так как на геологическом разрезе указаны высотные отметки устьев скважин и глубины плаstopодсечений, то возможна и арифметическая проверка отметок. Например, отметка устья вертикальной скважины составляет 236,1 м, а глубина подсечения пласта 206,76 м. Тогда отметка подсечения составляет: $236,1 - 206,8 = 29,3$ м.

Аналогичные отметки и глубины по наклонным скважинам использовать несколько сложнее. Ориентировочное значение отметки подсечения может быть оценено по формуле:

$$Z = Z_y - H \cos \theta, \quad (\text{A.1})$$

где Z_y – высотная отметка устья скважины; H – глубина плаstopодсечения; θ – средний зенитный угол ствола скважины (угол между осью ствола скважины и вертикалью).

После определения высотных отметок устанавливаются направления линий падения пластов в точках производства замеров. Указание этих направлений осуществляется на плане, путем проведения из точки замера перпендикуляра к ближайшей изогипсе. Его построение может производиться «на глаз» или с помощью зеркала (рис. А.2).

При этом зеркало вертикально устанавливается на центр рассматриваемого замера A , а затем производится его вращение вокруг этой точки до тех пор, пока реальное и отраженное изображение изогипсы в точке E не сольются в одну единую плавную кривую, не имеющую в точке E излома. Это положение грани зеркала соответствует направлению линии падения, которая и прочерчивается, используя зеркало как линейку.

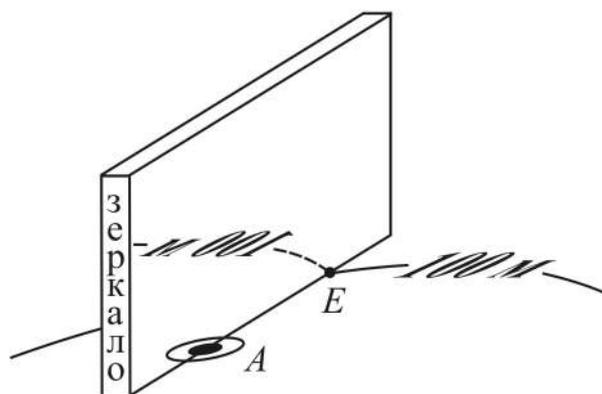


Рис. А.2. Построение линии падения пласта на плане

Далее, с помощью транспортира, определяется значение дирекционного угла этой линии в направлении уменьшения высотных отметок пласта (углы α_i).

После этого, обращаются к геологическим разрезам по разведочным линиям и измеряют по ним углы падения пласта $\delta_i^{\text{пл}}$ в точках плаstopодсечений (рис. А.3 – как углы между касательными к пласту и горизонтальными линиями).

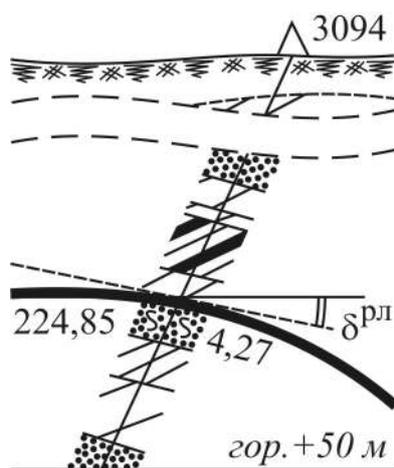


Рис. А.3. Определение угла падения по разведочной линии

Построение касательных может выполняться как «на глаз», так и с помощью зеркала.

В последнем случае с помощью зеркала, описанным выше способом проводится перпендикуляр к пласту в точке пластоподсечения. Искомая касательная отстраивается, исходя из того, что угол между нею и перпендикуляром составляет 90° .

Кроме того, по ранее построенным линиям падения для каждого подсечения измеряется острый угол ΔB_i между направлением падения и разведочной линией (рис. А.4). Зная углы ΔB_i и $\delta_i^{\text{пл}}$, по формуле:

$$\delta_i = \arctg \frac{\text{tg} \delta_i^{\text{пл}}}{\cos \Delta B_i} \quad (\text{A.2})$$

рассчитываются «истинные» углы падения пласта в точках пластоподсечений.

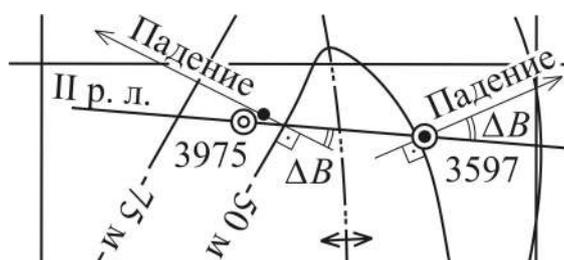


Рис. А.4. Определение острого угла ΔB

Для упрощения процесса определения углов δ_i по формуле (А.2) разработана специальная палетка-номограмма, выполняемая на прозрачной основе (рис. А.5).

Для пересчета угла падения пласта $\delta_i^{\text{пл}}$, измеренного на разрезе по разведочной линии, в его значение по направлению линии падения палетка- номограмма накладывается на план так, чтобы начало координат (точка M) совпадала с точкой замера, а ось MP – с направлением линии падения пласта (рис. А.6).

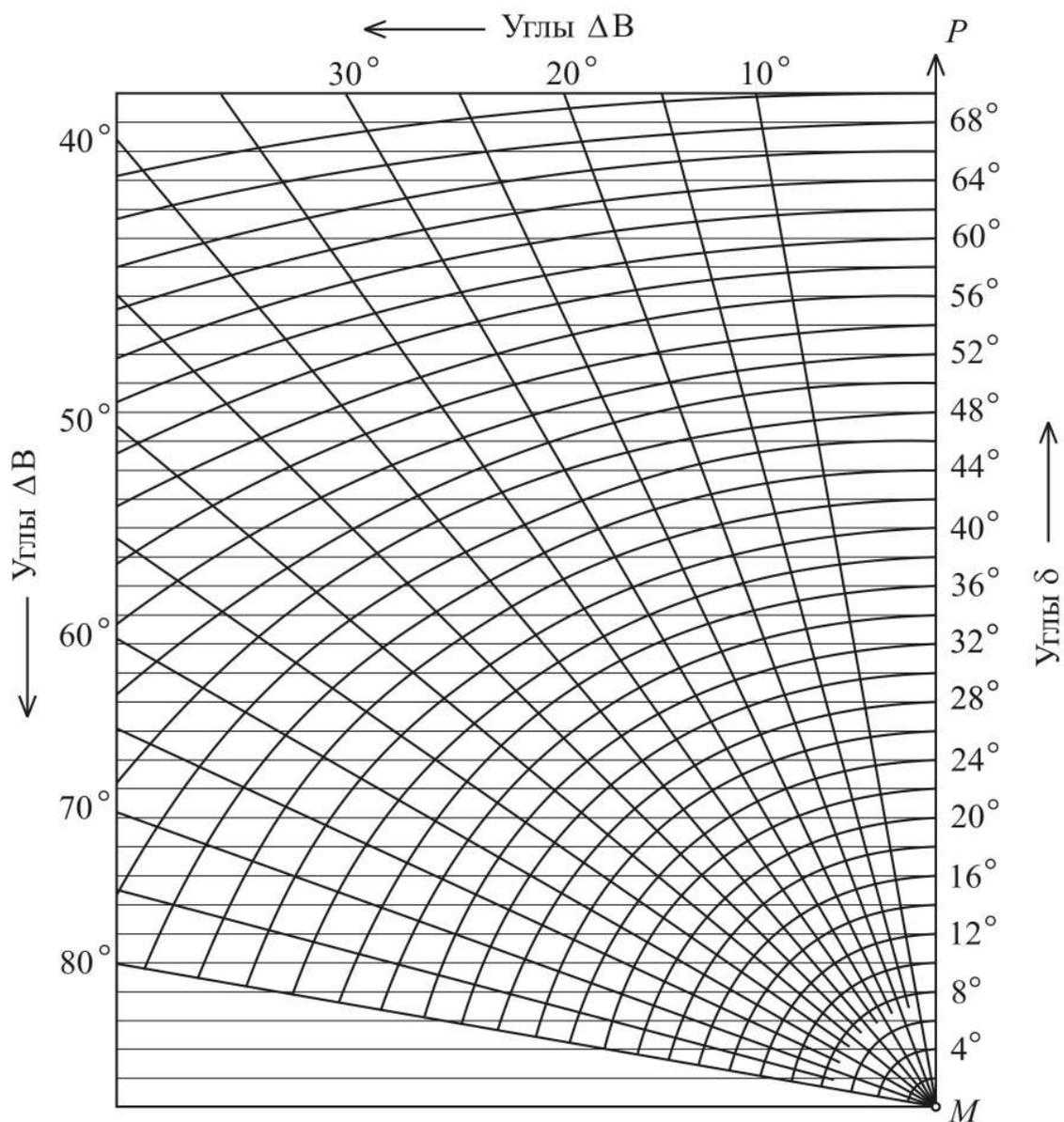


Рис. А.5. Палетка-номограмма для определения углов падения

По оцифрованной шкале углов (расположенной вдоль оси MP) отыскивается точка A , положение которой соответствует значению угла $\delta_i^{\text{рл}}$ по разведочной линии. Из точки A восстанавливается перпендикуляр к MP до пересечения с линией геологического разреза в точке T . Путем проектирования положения точки T на шкалу углов параллельно криволинейными шкалами номограммы, определяется положение точки E (на рис. А.6 линия переноса показана пунктирной линией).

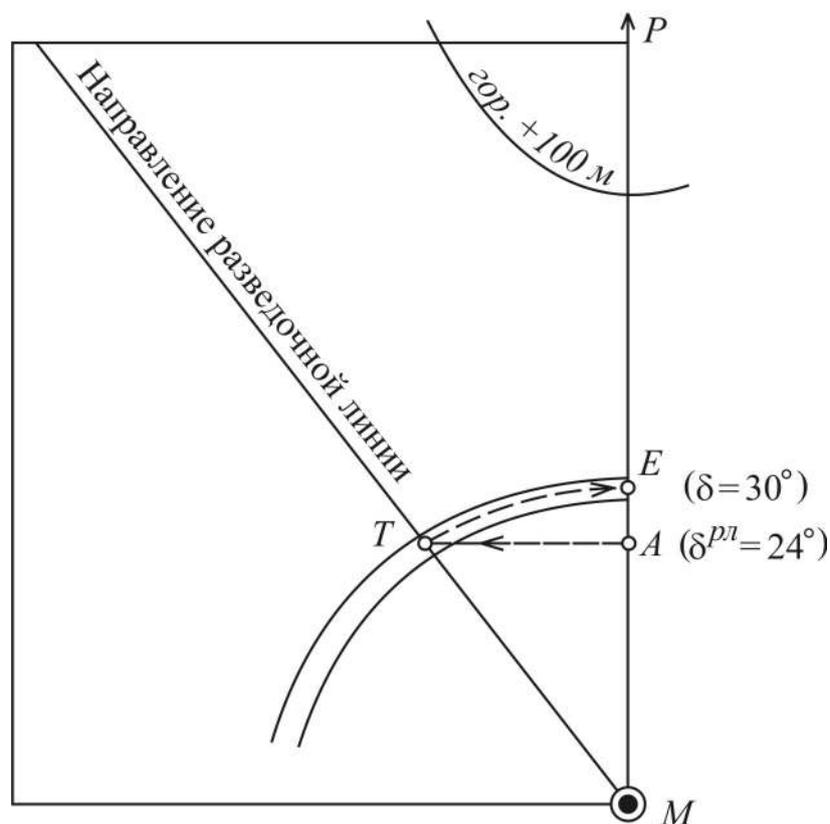


Рис. А.6. Порядок работы с палеткой-номограммой для определения углов падения

Отсчет, «взятый» по шкале углов в точке E соответствует значению «истинного» угла падения δ_i . Помимо скважин, входящих в состав разведочных линий, существуют и отдельно расположенные скважины (рис. А.7), определение угла падения пласта в которых, в силу отсутствия отстроенного геологического разреза, осуществить вышеописанным способом невозможно.

В данной ситуации поступают следующим образом. Через точку замера (скважину S на рис. А.7, б), перпендикулярно ближайшей изогипсе, проводится линия падения пласта MF , по направлению которой строится совмещенный с планом разрез. Протяженность линии MF выбирается 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 рис. А.7) и на ней отмечаются точки ее пересечения с изогипсами пласта (точки A , B , C и D).

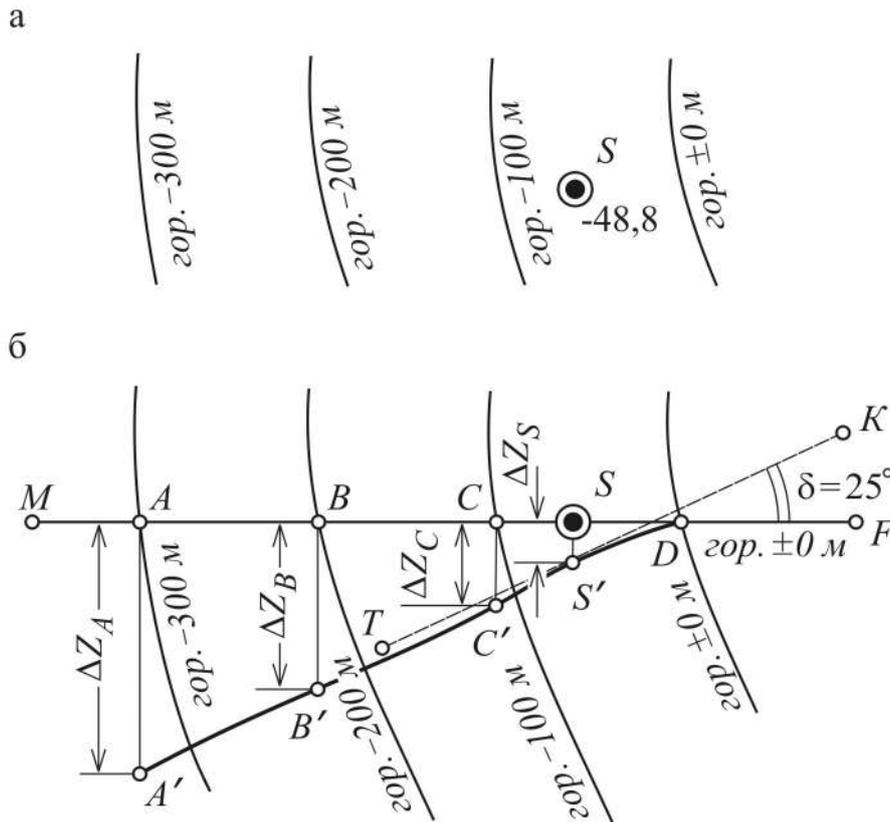


Рис. А.7. Определение углов падения по замерам, расположенным вне разведочных линий

Для всех этих точек определяется разность ΔZ_i их высотных отметок (соответствующих отметкам изогипс, к которым они принадлежат) и отметки условного горизонта линии MF . Аналогичная разность рассчитывается и для самого замера, положение которого обозначено на линии MT точкой S . Для условий рис. А.7: $\Delta Z_A=300$ 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' (совпадающая с точкой D) и S' . Через эти точки 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 S .

Аналогичным способом определяются углы падения пласта в точках замеров в горных выработках. При высокой плотности изогипс, которая обычно имеет место на планах горных работ, величина угла падения может определяться по величине заложения изогипс (по расстоянию L между изогипсами, измеренному в направлении линии падения, проведенной через точку замера) по формуле

$$\delta_i = \arctg \frac{L_i}{\Delta h} \quad (\text{A.3})$$

где Δh – сечение изогипс.

Процесс вычислений по формуле (A.3) может осуществляться графически с использованием линейки заложений. Линейка заложений изготавливается на плотной основе следующим образом. На основу наносятся две горизонтальные линии, удаленные друг от друга (в масштабе плана) на величину сечения изогипс Δh (рис. A.8).

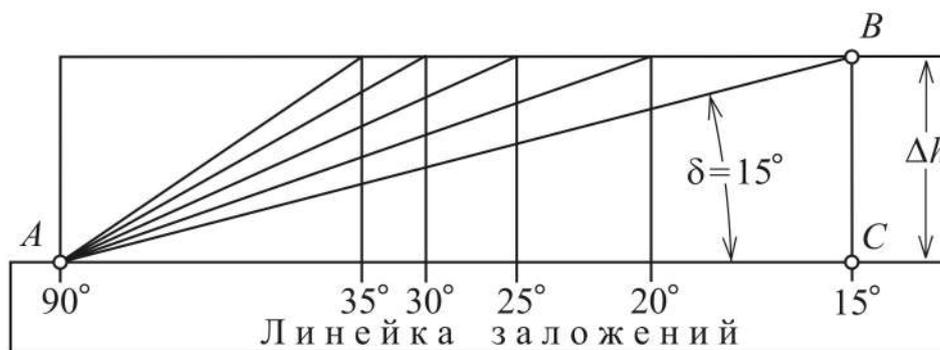


Рис. A.8. Разметка линейки заложений

Под нижней линией (AC) располагается собственно панель линейки (тонально выделенная на рис. A.8). Через точку A, произвольно 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 падения δ , серия наклонных прямых вида AB . Каждая из точек типа B проектируется на линейку в точки типа C , через которые проводятся и оцифровываются шкаловые линии. Измерение углов падения пласта в пространстве между изогипсами производится следующим образом (рис. А.9).

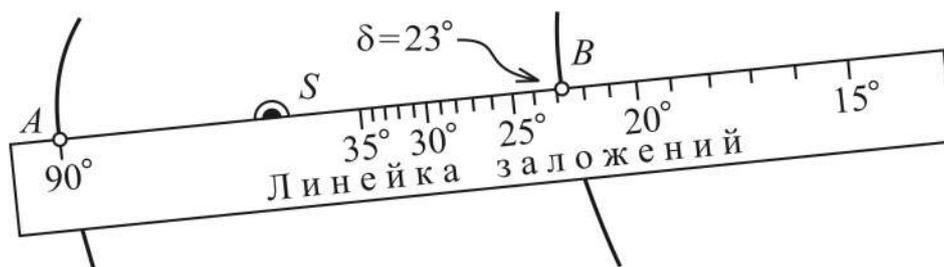


Рис. А.9. Определение углов падения с помощью линейки заложений

Линейка располагается между изогипсами по направлению линии падения в точке замера S таким образом, чтобы шкаловая линия 90° (точка A) совпадала с одной из изогипс. Затем на линейке отыскивается положение точки B , совпадающей с другой изогипсой, и определяется соответствующий ей отсчет – искомый угол δ падения пласта (на рис. А.9 он равен 23°). При построении и использовании линейки следует иметь в виду неравномерный характер шкалы углов.

Определение элементов залегания пласта описанными методами затруднено при работе со скважинами, находящимися в замковых частях складок или включенными в линии, ориентированные по направлению простирания пласта. Например, пусть требуется определить элементы залегания пласта в скважине S (рис. А.10). Определить направление линии падения с помощью изогипс (как направление нормали к ним) трудно, т. к. скважина расположена в замке достаточно сложной складчатой структуры.

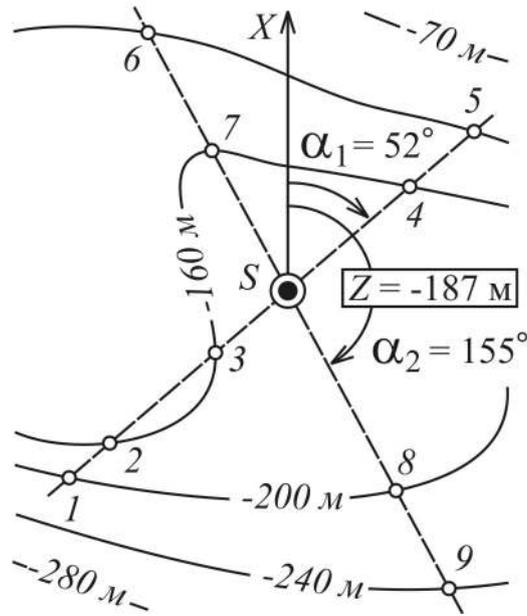


Рис. А.10. Определение элементов залегания пласта в скважине методом перекрещивающихся разрезов

Для определения направления и угла падения пласта через точку плаstopодсечения S проводятся линии двух диагональных разрезов (соответственно, линии точек 1–5 и 6–9 на рис. А.10).

На этих разрезах (построенных по схеме рис. А.7) определяются углы падения в направлении разреза (δ_1 и δ_2), а на плане – дирекционные углы линий разрезов (α_1 и α_2), в направлении которых происходит падение пласта.

При наличии таких данных «истинные» элементы залегания пласта могут быть вычислены по формулам

$$\text{ctg}\alpha_S = \frac{\text{ctg}\delta_1 \cos\alpha_1 - \text{ctg}\delta_2 \cos\alpha_2}{\text{ctg}\delta_1 \sin\alpha_1 - \text{ctg}\delta_2 \sin\alpha_2}, \tag{A.4}$$

$$\text{ctg}\delta_S = \text{ctg}\delta_1 \sin(\alpha_1 - \alpha_S). \tag{A.5}$$

Для обеспечения необходимой точности вычислений по формулам (А.4, А.5) линии разрезов не должны быть ориентированы вдоль линии простираия пласта.

Исходной информацией для получения значений мощности пласта и иных дополнительных характеристик (например, мощности породных прослоев, показателей качества угля) являются геологический отчет, графические приложения к нему, а также планы горных работ и альбомы геологических зарисовок в горных выработках. Из геологических графических приложений наибольший интерес представляет подсчетный план пласта. С его помощью можно собрать всю необходимую информацию о мощностях пласта. Рядом с каждым пластопопечением выписывается не только номер скважины и отметка почвы пласта, но и его нормальная мощность и зольность при 100 % засорении внутрипластовыми породными прослоями, а также нормальная мощность чистых угольных пачек и их зольность.

Данные о мощности пласта приводятся также на нормальных структурных колонках («стопках») пластов и на геологических разрезах (с указанием мощностей всех угольных пачек и породных прослоев). Помимо графических материалов мощности пластов приводятся также и в таблицах расчета подсчетных (средних) мощностей пластов по геологическим блокам. На «стопке» (рис. А.11) 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. В полном объеме данные об основных показателях качества угля помещаются в таблицах теханализов (текстовые приложения к геологическому отчету). Очевидно, что значения одних и тех же признаков, указанные в различных источниках, должны совпадать. К сожалению, на практике это условие не всегда выполняется. Поэтому контроль совпадений данных является необходимым элементом процесса сбора исходных данных.

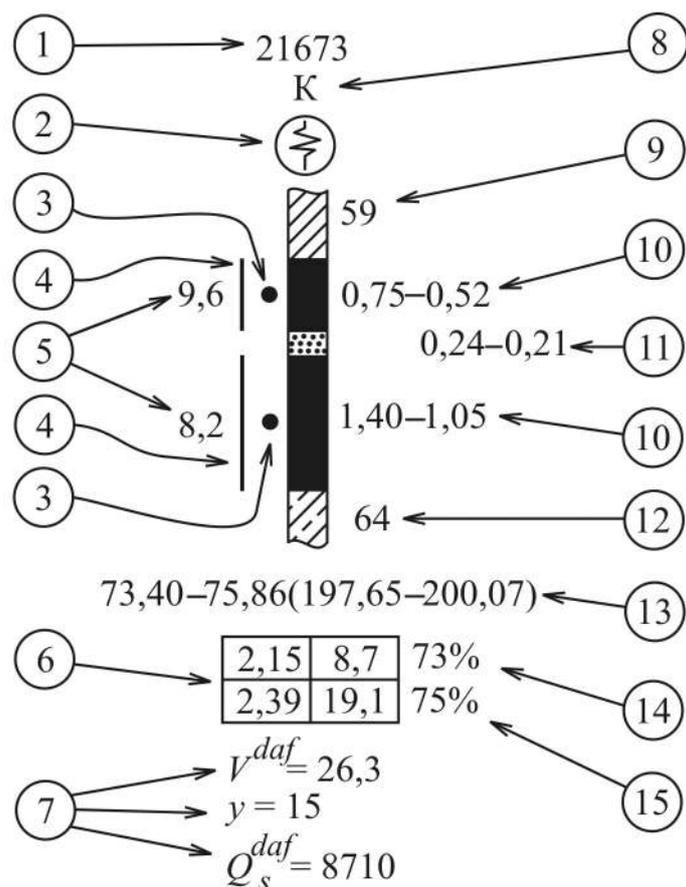


Рис. А.11. Структурная колонка пласта:

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

Приведенные на рис. А.11 обозначения характерны для современных геологических отчетов по угольным месторождениям Кузбасса.

Пользуясь структурными колонками («стопками»), можно довольно надежно выделить замеры, отбракованные в связи с подозрением на грубые ошибки измерений. Их признаком являются не принятие данных по бурению при низком выходе керна, отсутствие детализации пласта по каротажу, низкий выход керна. Замеры, признанные произведенными с грубыми ошибками, должны исключаться из исходных данных и не могут участвовать в последующей обработке.

Данные, необходимые для оценки степени нарушенности отработанных контуров (длины линий скрещения и площади), собираются с планов горных работ масштаба не менее 1:5000.