

Т. Б. Рогова С. В. Шаклеин В. О. Ярков

Подсчет запасов угольных месторождений

Учебное пособие



Кемерово 2010

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет»

Т. Б. Рогова С. В. Шаклеин В. О. Ярков

Подсчет запасов угольных месторождений

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело»
направления подготовки «Горное дело»*

Кемерово 2010

УДК 622.142.5:553.048.3

Рецензенты:

Кафедра маркшейдерского дела Уральского государственного горного университета

Главный геолог ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» А. Г. Чернявский

Рогова, Т. Б. Подсчет запасов угольных месторождений: учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шаклеин, В. О. Ярков ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 136 с.

ISBN 978-5-89070-730-7

Изложены методы практического выполнения подсчета запасов угля в соответствии с требованиями действующей с 2008 года «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 130402 «Маркшейдерское дело» направления подготовки 130400 «Горное дело», изучающих дисциплину «Геометрия недр», может быть также полезно специалистам маркшейдерско-геологических служб угледобывающих предприятий и работникам геологоразведочных организаций, занимающихся разведкой угольных месторождений.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета.

УДК 622.142.5:553.048.3

© Кузбасский государственный
технический университет, 2010

© Рогова Т. Б., Шаклеин С. В.,
Ярков В. О., 2010

ISBN 978-5-89070-730-7

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебным планом подготовки инженеров специальности 130402 «Маркшейдерское дело» предусмотрено изучение дисциплины «Геометрия недр», в рамках которой изучаются методы подсчета запасов полезных ископаемых.

В процессе своей производственной деятельности маркшейдер не только постоянно обращается к результатам подсчета запасов, выполненных геологоразведочными организациями, но и самостоятельно выполняет подсчет запасов в рамках решения вопросов по расчету и учету движения запасов полезных ископаемых и их потерь в недрах.

Существующая учебная литература излагает только основные принципы и подходы к выполнению подсчета запасов, в то время как при его практическом выполнении используются многочисленные приемы и ограничения, являющиеся достоянием корпоративного опыта, часто вообще не находящие отражения в какой-либо нормативной и методической литературе.

В данном издании на основании соответствующих нормативных документов, научно-технических разработок, опыта работы ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых», добывающих предприятий и геологоразведочных организаций рассматриваются основные подходы к подсчету запасов угля, используемые в Кузнецком угольном бассейне, разнообразие геологических структур которого позволяет распространять накопленный в нем опыт во всех угольных бассейнах страны. Традиционно опыт подсчета запасов передавался из поколения в поколение. К сожалению, связь этих поколений в области практической деятельности по разведке и по подсчету запасов угля во многом нарушена. Ее восстановлению и посвящена настоящая работа. Именно поэтому в пособии особое внимание уделено «тонкостям» практического решения вопросов затрагиваемой проблемы.

Основное внимание в пособии уделено вопросам выполнения подсчета запасов угля без использования средств вычислительной техники. Такой подход обусловлен не столько недостатками существующего программного обеспечения решения задач геометризации, сколько опасностью так называемого «компьютерного оглушения» обучаемых.

Кроме того, можно напомнить высказывание известного отечественного математика Е. С. Вентцель, заметившей, что «применение математических методов не полезно, а вредно до тех пор, пока явление не освоено на доматематическом гуманитарном уровне».

Именно поэтому авторы сознательно избегали в учебном пособии вопросов применения ЭВМ с тем, чтобы изложить студентам особенности подсчета запасов угольных месторождений на докомпьютерном уровне, что позволит им более глубоко ознакомиться с сущностью задачи и даст возможность критически анализировать различные предлагаемые алгоритмы автоматизированного ее решения.

ВВЕДЕНИЕ

Прежде чем приступить к изложению порядка выполнения подсчета запасов, для лучшего понимания смысла тех или иных выполняемых действий нелишне напомнить сущность решаемой задачи.

Математическая сущность подсчета запасов в 1940 году очень доходчиво сформулирована проф. А. М. Журавским в работе «Математическая теория подсчета запасов полезных ископаемых» следующим образом: «В каждом месторождении полезное ископаемое распределено известным, специфичным для этого месторождения образом. Если из данного месторождения вырезать определенный объем V , то выделенная часть будет содержать как полезное ископаемое, так и вмещающую его породу.

Пусть Q обозначает вес выделенной части месторождения, а P – вес содержащегося в ней полезного ископаемого. Удельный вес выделенной части $d = Q/V$ и содержание полезного ископаемого $c = P/Q$ зависят от размера и положения выделяемой части, являясь функциями области. Пределы $d_M = \lim(Q/V)$ и $c_M = \lim(P/Q)$, когда размеры выделенной части стремятся к нулю, сжимаясь около точки M , назовем удельным весом и содержанием в данной точке месторождения. Удельный вес и содержание являются функциями положения точки. Запас полезного ископаемого выражается интегралом $\int_V d_M c_M dV$, где ин-

тегрирование распространяется по всему объему месторождения. Если бы функции d_M и c_M были нам известны, равно как и конфигурация месторождения, то весь вопрос сводился бы к простой аналитической операции вычисления объемного интеграла».

Фактически форма тела полезного ископаемого и характер изменения его свойств не могут быть точно описаны с помощью аналитических зависимостей. Для этой цели используются поверхности топографического порядка. Процедура интегрирования таких поверхностей была разработана проф. П. К. Соболевским и успешно использовалась применительно к подсчету запасов (метод объемной палетки П. К. Соболевского) начиная с 1909 года.

Для определения объема тела полезного ископаемого используется топографическая поверхность мощностей залежи, измеренных в направлении нормали к плоскости проекции. В результате использования этой поверхности тело полезного ископаемого заменяется равновеликим ему телом, ограниченным снизу горизонтальной плоскостью, с боков – контуром полезного ископаемого и сверху – топографической поверхностью.

Сущность интегрирования состоит в разделении тела полезного ископаемого на отдельные равновеликие квадратные в плане участки (ячейки палетки), поперечные размеры которых могут быть как угодно малы (рис. 1, *а*).

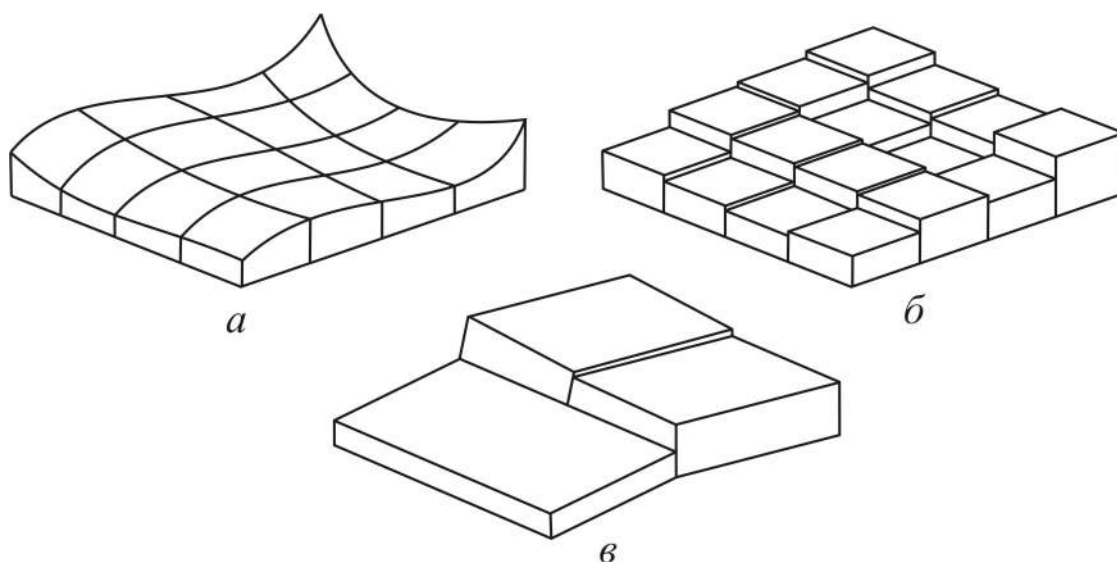


Рис. 1. К понятию подсчета запасов

В пределах каждой ячейки палетки тело полезного ископаемого имеет форму призматического столбика, верхняя грань которого представляет собой фрагмент топографической поверхности.

Незначительный размер ячейки палетки позволяет, без значимой потери точности, заменить поверхность верхней грани на плоскость, параллельную плоскости проекции, удаленную от нижней грани на величину мощности залежи в центре ячейки (рис. 1, *б*). Используя, по мере необходимости, выраженные в изолиниях топографические поверхности плотности полезного ископаемого и содержания в нем полезного компонента, можно получить для каждой ячейки значения и этих показателей.

Имея для каждой ячейки значения объема тела полезного ископаемого, его удельную плотность и содержание полезного компонента, несложно определить запасы в ее пределах. Суммирование запасов по отдельным ячейкам приводит к получению запасов всей залежи.

Математически безукоризненный метод подсчета запасов способом объемной палетки П. К. Соболевского имел широкое практическое распространение в 20–30-х годах прошлого века, но был постепенно вытеснен менее строгими, но более простыми методами. Решительный переход к «простым» методам подсчета запасов произошел после проведения в 1947 году VII Пленума Всесоюзной комиссии по запасам полезных ископаемых. Однако сущность этих методов, по сути, осталась той же – это разделение тела полезного ископаемого на фрагменты, в пределах которых показатели, определяющие количество полезного ископаемого (так называемые подсчетные параметры: мощность, плотность, содержание полезного компонента), принимаются условно постоянными. Такие фрагменты именуются подсчетными блоками.

В условиях угольных месторождений в процессе разведки и разработки используются не вертикальные, а нормальные мощности. Поскольку при подсчете запасов в блоке площадь его контура должна измеряться в проекции на плоскость, нормальную к направлению измерения мощностей, каждый блок фактически проецируется на собственную плоскость (рис. 1, в), падающую под углом α по отношению к плоскости проекции (обычно вертикальной или горизонтальной), используемой для горно-геометрических построений.

Следует также обратить внимание на то, что задача подсчета состоит не просто в определении количества находящегося в недрах какого-либо минерала, породы и т. д., а именно в подсчете запасов, понятие которых неразрывно связано с экономически возможным в настоящее время (либо в обозримой перспективе) их извлечением из недр и промышленным использованием.

В качестве граничных условий, без которых невозможно дать объективную оценку количества и качества запасов полезных ископаемых, их народнохозяйственного значения, горнотехнических, гидрогеологических, экологических и других условий их добычи, выступают параметры кондиций [5]. Кондиции – это не только и не столько инструмент для подсчета государственной собственности в недрах с целью контроля их расходования, а те граничные параметры, использование которых при добыче гарантирует безубыточность последующих горных работ.

Например, к запасам невозможно отнести участок угольного пласта, имеющий вполне рабочую мощность, но залегающий на недоступных глубинах или находящийся в пределах шахтного поля, но пораженный густой сетью дизъюнктивных нарушений, исключающих возможность его эффективной и безопасной отработки. Большое значение имеют и качественные показатели полезного ископаемого, которые могут полностью исключить саму возможность его промышленного использования или определяют различную направленность и технологию его применения в народном хозяйстве. Поэтому при выделении однородных элементов залежи (при выделении подсчетных блоков) обязательно учитывается не только геометрия залежи, но и промышленная значимость запасов (как с позиции их разработки, так и использования).

В учебном пособии излагается последовательность практических действий при подсчете запасов угля, выполняемых в соответствии с принятой ныне практикой и нормативными требованиями. Следует отметить, что эти методы сформировались в «докомпьютерную эпоху» и были ориентированы на максимальное сокращение объемов вычислительных процедур. В перспективе, по мере развития компьютерного моделирования, на их смену должны прийти другие методы, прежде всего возрожденный метод объемной палетки П. К. Соболевского, хорошо согласующийся с принципами цифрового моделирования поверхностей. Несомненно, будущее – за компьютерными технологиями подсчета запасов. Однако в настоящее время, в связи с отсутствием надежных методов автоматизированного цифрового моделирования угольных месторождений, переход на эти технологии является задачей, хотя и близкого, но будущего.

1. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДСЧЕТУ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В соответствии со статьей 1.2 Закона «О недрах» недра в границах территории Российской Федерации, включая подземное пространство и содержащиеся в недрах полезные ископаемые, энергетические и иные ресурсы, являются государственной собственностью. В связи с этим государством осуществляется учет состояния минерально-сырьевой базы страны, содержащий сведения о количестве, качестве и степени изученности запасов каждого вида полезных ископаемых. Учет ведется на основе классификации запасов полезных ископаемых, действующая версия которой вступила в силу в 2008 году.

В России, как и в других странах, изучение недр осуществляется поэтапно, т. е. методом последовательных приближений [6]. Действующий Закон «О недрах» предусматривает выделение трех основных этапов: регионального геологического изучения, геологического изучения (с выделением двух стадий: поисковой и оценочной) и разведки. Информация, получаемая на каждом этапе, по полноте и достоверности должна быть достаточна для геологического и технико-экономического обоснования целесообразности работ последующих этапов, либо, на этапе разведки, – освоения и проектирования разработки месторождения.

Естественно, что сформированные на ранних этапах изучения недр представления об их состоянии весьма приближены и имеют крайне низкую степень достоверности. Для того чтобы подчеркнуть предварительный характер представлений, формируемых на ранних этапах изучения недр, возможные количества выявляемых полезных ископаемых характеризуются термином прогнозные ресурсы. Приблизительность определения их количества подчеркивается и тем, что они «оцениваются», а результаты их оценки на государственную экспертизу не представляются (хотя существует, тем не менее, процедура апробации ресурсов, выполняемая научно-исследовательскими организациями).

По результатам поисково-оценочных работ обосновывается целесообразность проведения разведки месторождения или его части и определяются параметры, по которым в процессе разведки геолог ориентируется, какие именно угольные пласты требуют детального изучения.

В целом оценка прогнозных ресурсов относится к категории научно-исследовательских, а не инженерных задач.

Собственно ресурсы, по степени их достоверности, подразделяются на три категории.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений на основании определенных геологических и палеогеографических предпосылок. Ресурсы категории P_2 учитывают возможность обнаружения в бассейне, районе новых месторождений, а категории P_1 – основаны на возможности расширения границ распространения полезного ископаемого за пределы уже разведанных контуров. Ресурсы угля категории P_3 в Кузбассе не выделяются.

В зарубежной практике прогнозные ресурсы, в российском понимании этого термина, не выделяются и объединяются понятием «результаты геологоразведочных работ» (exploration results).

Завершающий этап изучения недр – разведка, характеризуется относительно высокой достоверностью формируемых представлений о состоянии недр, которая достигается за счет высокой плотности сети разведочных скважин и применением методов геометризации недр. Кроме того, на этом этапе, который непосредственно предшествует вовлечению месторождений в освоение, детально оценивается и промышленная значимость находящихся в недрах полезных ископаемых. Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных работ. Поэтому на этом этапе возможные количества выявленных полезных ископаемых характеризуются термином запасы, которые в отличие от прогнозных ресурсов уже не оцениваются, а подсчитываются. Результаты этого подсчета подлежат государственной геологической экспертизе. Следует иметь в виду, что разделение процесса изучения недр на этапы носит несколько условный характер. Поэтому фактически запасы выделяются не только на этапе разведки, но и на этапе геологического изучения (на стадии оценочных работ), особенно в пределах участков детализации (повышенной плотности сети разведочных скважин), создаваемых в целях подтверждения достоверности данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезных ископаемых.

По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых подлежат разделению на две основные группы: балансовые и забалансовые.

К балансовым (экономическим) запасам относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К забалансовым (потенциально экономическим) относятся, прежде всего, запасы, разработка которых на момент оценки экономически не эффективна (убыточна) в условиях конкурентного рынка из-за низких технико-экономических показателей, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий добычи. К ним же относятся и запасы, отвечающие требованиям, предъявляемым к балансовым запасам, но использование которых на момент оценки невозможно в связи с расположением в пределах водоохранных зон, населенных пунктов, сооружений, сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры. Важной особенностью является и то, что забалансовые запасы подсчитываются только в случае, если технико-экономическими расчетами установлена возможность их последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования или сохранения в недрах для использования в будущем.

Процедура отнесения запасов к балансовым и забалансовым именуется оценкой балансовой принадлежности запасов и производится на основании специальных технико-экономических обоснований (ТЭО) кондиций для подсчета запасов, подтвержденных государственной экспертизой.

Разделение запасов по балансовой принадлежности осуществляется по значениям натуральных показателей, именуемых параметрами кондиций.

Основными параметрами кондиций для условий угольных месторождений являются:

– минимальная истинная мощность пласта угля в пластопересечении, определяемая по сумме мощностей вынимаемых совместно угольных слоев, внутрипластовых породных прослоев и непосредственно залегающих в почве или кровле углистых пород, а при необходимости дополнительной присечки других пород – с включением в подсчет запасов мощностей при-seкаемых 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;

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

– границы подсчета запасов углей, такие как: глубина подсчета, предельный коэффициент вскрыши, контур разработки (границы карьера, шахтного поля и т. п.).

Выделяют три вида кондиций.

По результатам оценочных работ обосновываются временные разведочные кондиции, на основе которых производится подсчет запасов с постановкой их на государственный учет в качестве оперативных (т. е. своего рода предварительных) запасов.

Основной формой кондиций являются постоянные разведочные кондиции, которые устанавливаются по результатам разведки месторождений и в соответствии с которыми осуществляется подсчет запасов подготавливаемых к промышленному освоению месторождений и, в последующем, их разработка. В случае, если в процессе разработки месторождения возникает необходимость уточнения граничных требований к качеству угля и условиям залегания пластов по конкретным частям месторождения (выемочным участкам), существенно отличающимся по геологическим и иным условиям отработки от средних показателей, а также для обеспечения безубыточной работы предприятия в период резкого изменения конъюнктуры рынка сырья могут разрабатываться эксплуатационные кондиции, действующие ограниченное время.

При этом в качестве дополнительных параметров эксплуатационных кондиций могут использоваться: минимальная выемочная мощность, минимальная протяженность ненарушенного выемочного столба, углы падения пласта, крепость и устойчивость пород кровли и предельно допустимое качество угля. Эти параметры могут быть дифференцированы применительно к отдельным участкам (блокам, этажам, панелям и т. д.) месторождения, отличающимся по своим характеристикам, условиям залегания и отработки, существенно влияющим на уровень эксплуатационных затрат. Следует отметить, что угледобывающие предприятия Кузбасса практически не используют эксплуатационные кондиции как механизм корректировки постоянных кондиций.

Параметры кондиций устанавливаются по результатам разработки ТЭО кондиций, порядок выполнения которых определен специальными методическими рекомендациями. В основу разработки ТЭО кондиций положен принцип перебора их возможных вариантов.

Для угольных месторождений это перебор вариантов по минимальной мощности угольного пласта, его максимальной зольности, а для открытых горных работ – и расчет предельного коэффициента вскрыши. Например, при установлении параметров кондиций угольного пласта могут выступать мощности 1,6, 1,8, 2,0 м и т. д.

Затем для каждого варианта кондиций на графических материалах отображаются контуры пространственного распространения балансовых запасов, осуществляется их подсчет, проектируется технология их отработки и определяются технико-экономические показатели освоения месторождения. В качестве оптимального принимается вариант кондиций, наиболее полно учитывающий интересы государства и недропользователя.

Предлагаемые в ТЭО кондиций решения по промышленному освоению месторождения должны базироваться на проверенных и наиболее совершенных технических средствах и технологических приемах добычи и переработки углей, обеспечивающих максимально возможную полноту использования недр при соблюдении законодательных положений в области охраны окружающей среды, правил и норм безопасности ведения горных работ.

Параметры кондиций для подсчета забалансовых запасов устанавливаются с учетом перспектив внедрения более прогрессивной техники и технологии добычи и переработки углей, прогнозов возрастания рыночной потребности в углях и возможностей ее удовлетворения за счет перевода забалансовых запасов в балансовые.

По степени достоверности балансовые и забалансовые запасы разделяются на четыре категории запасов (в порядке роста достоверности): C_2 , C_1 , В и А.

Запасы категории А выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического строения, запасы категории В – на аналогичных участках месторождений 1-й и 2-й групп сложности. Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов всех групп сложности месторождений угля, а запасы категории C_2 рассматриваются в качестве предварительно оцененных запасов на стадии поисково-оценочных работ, а при разведке выделяются на особо сложных по строению участках месторождений 3-й группы сложности, а также выделяются при разведке месторождений всех групп сложности.

Понятие группы геологической сложности введено в классификацию с целью ее учета при установлении необходимой и достаточной степени разведанности запасов. Разумеется, доведение достоверности запасов до уровня требований, например, категории А возможно на любом месторождении. Однако чем сложнее месторождение, тем больше скважин для этого необходимо пробурить и тем более высокую стоимость будут иметь геологоразведочные работы.

Вместе с тем, чем выше достоверность запасов, тем меньше уровень экономических потерь (ущерба) при разработке от влияния не выявленных на этапе разведки особенностей геологических условий (проведение бросовых выработок, неплановый ремонт комплексов из-за встречи неизвестных непереходимых нарушений, снижение нагрузки на забой, рост потерь запасов в недрах и т. д.). Поэтому, строго говоря, задача установления необходимой и достаточной степени разведанности является оптимизационной экономической задачей.

«Строгий» подход к ее решению был предложен еще в 1950 году С. П. Васильевым и впоследствии развивался В. С. Огарковым. Его суть состоит в построении графиков зависимости стоимости разведки и размера ущерба от неполноты геологических знаний на стадии эксплуатации в зависимости от плотности разведочной сети. Точка их пересечения (точка S на рис. 1.1) соответствует суммарному минимуму затрат и ущерба и определяет оптимальную сеть разведочных скважин. Реализация этого «строгого» подхода на практике крайне затруднительна из-за сложностей с построением кривой ущерба и ее крайне низкой надежности для еще неотрабатываемых месторождений. Тем не менее, практика показывает, что чем сложнее месторождение, тем ближе к оси «Затраты, ущерб» смещается точка S .

Поэтому в целях оптимизации затрат на геологоразведочные работы все месторождения твердых полезных ископаемых разделены на четыре (на угольных месторождениях 4-я группа сложности не выделяется) группы сложности.



Рис. 1.1. К определению оптимальной плотности сети скважин

Для каждой группы указана достоверность (категории) запасов, которая должна быть достигнута для признания месторождения подготовленным для промышленного освоения.

В СССР, в котором недропользователь и недровладелец были представлены одним и тем же лицом — государством, регламентировалось соотношение запасов различных категорий, которое должно быть достигнуто при разведке для признания месторождения подготовленным для промышленного освоения.

В настоящее время «Классификацией запасов...» [2] необходимое соотношение категорий запасов не лимитируется, оно отдано «на откуп» недропользователю, а государство сохранило за собой право определения степени изученности месторождения (оцененное или разведанное) экспертным путем.

В соответствии с [4] к месторождениям угля 1-й группы сложности относятся месторождения, приуроченные к простым складчатым или крупноблоковым структурам с выдержанными элементами залегания продуктивных отложений и преобладанием в их разрезе выдержанных и относительно выдержанных пластов с простыми горно-геологическими условиями разработки (характерные примеры: Ленинский, Беловский, Ерунаковский угленосные районы Кузбасса).

Ко 2-й группе относятся месторождения с относительно простыми горно-геологическими условиями разработки: с преобладанием в разрезе выдержанных рабочих пластов, приуроченных к простым складчатым или крупноблоковым структурам; с преобладанием мощных и средней мощности выдержанных и относительно выдержанных пластов в разрезе продуктивных толщ, слагающих сложно-складчатые и осложненные разрывными нарушениями структуры (например, Кемеровский и Анжерский районы).

К 3-й группе относятся месторождения с преобладанием невыдержанных пластов, а также с преобладанием выдержанных и относительно выдержанных пластов, но при очень сложных условиях их залегания вследствие интенсивного проявления мелкой складчатости или разрывных нарушений, создающих мелкоблоковые структуры, и при сложных горно-геологических условиях разработки (Прокопьевско-Киселевский, Бачатский районы).

При этом следует иметь в виду, что даже в пределах одного угольного предприятия части горного отвода могут юридически или фактически квалифицироваться по разным группам сложности. В целом принадлежность месторождения к той или иной группе обосновывается исходя из характеристик пластов, содержащих более 70 % запасов месторождения.

Таким образом, задача подсчета запасов угля состоит не просто в определении находящегося в недрах количества полезного ископаемого, а в подсчете количества запасов угля, вовлечение которого технологически возможно и экономически целесообразно в настоящее время (балансовые запасы) либо в обозримой перспективе (забалансовые запасы).

2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ДАННЫЕ К ПОДСЧЕТУ ЗАПАСОВ УГЛЯ

2.1. Общие положения

Кузнецкий угольный бассейн, по сути, представляет собой единое угольное месторождение осадочного типа. Угленосная толща повсеместно перекрыта чехлом рыхлых безрудных пород мощностью от первых метров до 100 м. Поэтому основным методом разведки в Кузбассе является керновое колонковое бурение. До 60-х годов прошлого века, наряду с бурением скважин, при разведке использовались дудки, шурфы и уклоны, проходимые с поверхности на выходах угольных пластов под наносы.

В практике разведки угольные пласты подразделяются по мощности на весьма тонкие (менее 0,7 м), тонкие (0,71–1,2 м), средней мощности (1,21–3,5 м), мощные (3,51–15,0 м) и весьма мощные (более 15 м) [4].

Тонкие и средней мощности пласты подразделяются на три группы:

- выдержанные: на оцениваемой площади отклонения от среднего значения общей мощности для тонких пластов, как правило, не превышают 20 %, для пластов средней мощности – 25 %, при этом для тонких пластов наименьшее значение мощности 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;

- относительно выдержанные: на оцениваемой площади отклонения от среднего значения общей мощности для тонких пластов, как правило, не превышают 35 %, а для пластов средней мощности – 50 %; установлены закономерности пространственного изменения морфологии пласта и качества угля;

- невыдержанные: когда на площади оценки вследствие резкой изменчивости мощности или строения пластов и показателей качества угля, а для тонких пластов также вследствие близости их мощности к установленным кондициями пределам пласт на многих локальных участках является нерабочим.

Степень выдержанности пластов обычно устанавливается для площади размером не менее 4 км².

Выдержанность мощных и сверхмощных пластов оценивается в каждом конкретном случае с учетом геологической изменчивости их мощности, морфологии и качества угля, а также намеченного способа отработки.

В связи с особенностями геологического строения разведываемых участков недр разведочные скважины размещаются на геологических профилях (разведочных линиях), ориентированных вкрест простирания угленосной толщи. Расстояния между профилями и разведочными скважинами в них выбираются в зависимости от сложности геологического строения конкретного участка недр и необходимого уровня достоверности получаемых результатов. В большинстве случаев при разведочных работах в Кузбассе расстояние между профилями составляет (в плане) от 200 до 600 м, а между скважинами – от 10 до 300 м.

Форма и плотность разведочной сети определяются на стадии проектирования геологоразведочных работ. Единых строго формализованных нормативных требований по определению расстояния между разведочными выработками не существует. Поэтому при проектировании разведочной сети, в большинстве случаев, используются обобщенные данные о плотности сетей, применявшихся в странах СНГ при разведке угольных месторождений для оценки по различным категориям запасов углей, заключенных в пластах с различной степенью выдержанности их морфологии и зольности угля (табл. 2.1).

На месторождениях 2-й группы сложности с невыдержанным качеством угля приведенные в табл. 2.1 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).

Таблица 2.1

Ориентировочные расстояния между скважинами
в плоскости пласта в тектонически однородных блоках, м

Расстояния между	Выдержанность морфологии пластов		
	выдержанные	относительно выдержанные	невыдержан- ные
Категория А			
линиями	600–800	300–400	–
скважинами	200–400	150–250	–
Категория В			
линиями	800–1000	400–600	250–300
скважинами	400–600	200–300	150–250
Категория С ₁			
линиями	до 2000	до 1000	до 500
скважинами	до 1000	до 500	до 300

Однако приведенные в табл. 2.1 данные не являются универсальными. Для конкретного месторождения рациональная геометрия и плотность разведочной сети определяются с учетом специфических особенностей его геологического строения и характера угленосности по данным изучения участков детализации.

Одним из основных способов создания участков детализации является создание опорных профилей с избыточной плотностью скважин, обеспечивающих получение однозначно перекрытого разреза угленосных отложений. Имея такой избыточный по точности разрез, можно, путем разрежения сети скважин, установить необходимое расстояние между ними, позволяющее вскрыть геологические особенности его строения с заданной точностью.

Для обоснования плотности сети разведки сегодня весьма актуальными становятся методы количественной оценки достоверности запасов угля, применение которых при подсчете запасов стало обязательным с 2008 года.

В результате реализации проекта разведки на каждом угольном пласте создается сеть разведочных скважин определенной густоты.

По каждой скважине керн угольного пласта отбирается в пробы для дальнейших исследований, в ходе которых определяются основные показатели качества угля. Высокой представительностью обладают пробы с выходом керна более 70 %. Пробы с выходом керна ниже 30 % рассматриваются как совершенно не представительные. Имеющееся сегодня в Кузбассе буровое оборудование позволяет без особых проблем достигнуть высокой представительности большинства проб.

При мощности пласта 1 м и менее уголь отбирается в отдельную пробу, внутрипородные прослои – отдельно. При мощности угольного пласта более 1 м уголь отбирается секциями мощностью не более 1,0 м.

По завершению бурения в скважинах проводятся геофизические исследования (каротаж). Их комплекс был разработан и методически отлажен в Кузбассе в начале 70-х годов прошлого века и с тех пор не менялся.

Теоретически он позволяет с точностью до 5 см определить мощность и глубину залегания угольного пласта в скважине и выделить породные прослои мощностью более 5 см.

Как уже отмечалось, собственно подсчет запасов является процедурой интегрирования системы горно-геометрических моделей, описывающих размещение угольного пласта (мощность и гипсометрия) и его качественных свойств (зольности и плотности угля) в пределах участков различной промышленной значимости. Поэтому рассмотрим порядок подготовки материалов к подсчету запасов применительно к этим видам исходных данных.

2.2. Мощность пласта и его зольность

Наиболее важным параметром для подсчета запасов угля является истинная или нормальная мощность угольного пласта, под которой понимается минимальное расстояние между почвой и кровлей пласта. Любое другое расстояние между кровлей и почвой пласта является видимой мощностью. Как правило, в керне разведочных скважин устанавливается видимая (или осевая, т. е. определенная вдоль оси ствола скважины) мощность пласта. Мощность пластов и внутрипородных прослоев замеряется с точностью до 1 см.

Истинная мощность определяется пересчетом видимой мощности пласта (рис. 2.1) по формуле

$$m_{\text{и}} = m_{\text{в}} \cos \beta = m_{\text{г}} \sin \beta, \quad (2.1)$$

где $m_{\text{и}}$ – истинная мощность пласта; $m_{\text{в}}$ – видимая вертикальная мощность пласта; $m_{\text{г}}$ – видимая горизонтальная мощность пласта; β – угол наклона пласта к горизонту или к перпендикуляру к оси скважины.

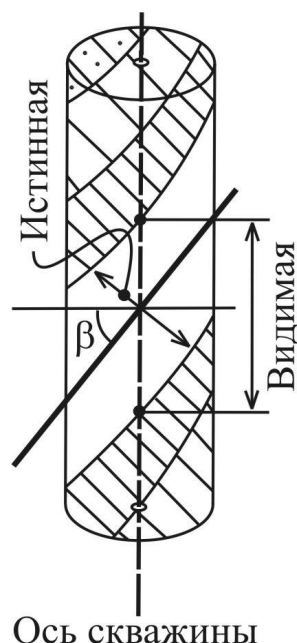


Рис. 2.1. Соотношение между истинной и видимой мощностями

Исходя из геологической ситуации скважины задаются вертикальными, наклонными, а иногда и горизонтальными (рис. 2.2). По ряду причин геологического и технического характера скважина искривляется (отклоняется) от заданного направления (рис. 2.2). В этом случае при определении нормальной мощности пласта необходимо учитывать зенитные и азимутальные углы оси скважины при пересечении ею пласта.

Как видно из рис. 2.2, каждая скважина встречается угольный пласт под неким углом, определяемым истинным падением угольного пласта в месте встречи и наклоном ствола скважины относительно вертикали.

Традиционно для определения истинной мощности угольного пласта использовались углы напластования пород относительно оси скважины, замеренные в процессе документации керна.

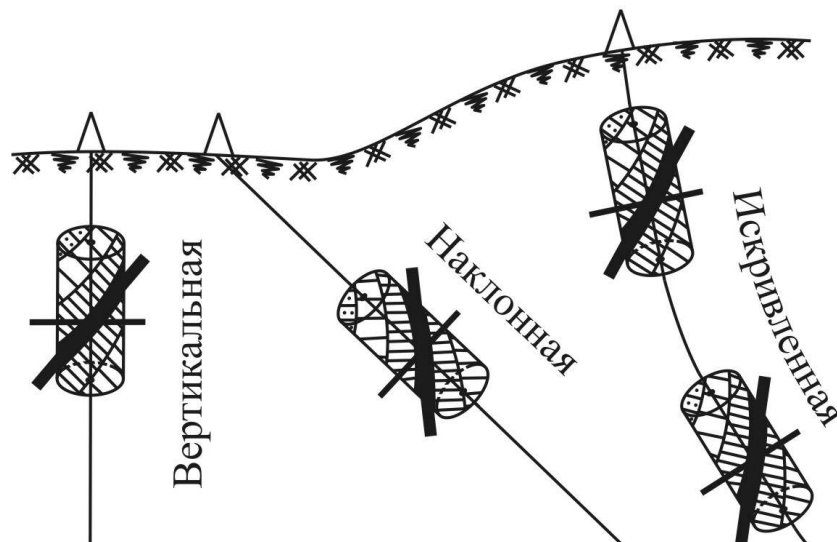


Рис. 2.2. Необходимость учета положения оси скважины в пространстве недр

При этом по техническим причинам замерить угол напластования в угле по керну в большинстве случаев невозможно. Как правило, используется угол напластования, замеренный в породах непосредственной или ложной кровли или почве угольного пласта. Однако уже более 20-ти лет назад достоверно установлено, что углевмещающие породы имеют более крутой угол напластования, чем падение угольных пластов и самой толщи (например, рис. 2.3). Разница может достигать $2-3^\circ$ для регрессивной фазы осадконакопления и до $10-15^\circ$ для трансгрессивной. Ошибка в определении угла встречи в $2-3^\circ$ находится в пределах точности всех построений при подсчете запасов угля, большая ошибка может привести к существенному искажению результата подсчета запасов.

Для определения истинной мощности угольного пласта в конкретной точке необходимо решить несложную задачу из области пространственной геометрии – определить угол встречи скважиной угольного пласта.

Проще всего это сделать графически. Если геологические разрезы отстроены вкрест простирания угленосной толщи, угол встречи пласта скважиной β с достаточной точностью можно измерить на разрезе.

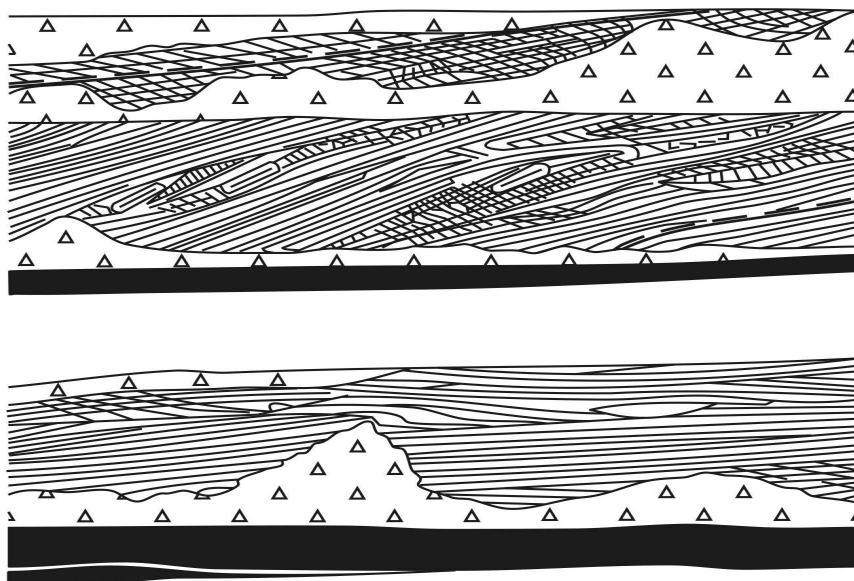


Рис. 2.3. Зарисовки борта Талдинского угольного разреза

Если разрез идет под углом к простиранию толщи, необходимо ввести поправку на данный угол, воспользовавшись формулой

$$\beta = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\beta'}{\cos A}\right), \quad (2.2)$$

где β' – угол встречи пласта со скважиной, измеренный на диагональном к линии падения разрезе; A – измеренный на плане острый угол между направлением разреза и направлением линии падения.

После определения всех истинных мощностей угольного пласта по пересечениям, расположенным в контуре подсчета в определенном порядке (с севера на юг, запада на восток и т. д.), отстраиваются структурные колонки угольных пластов (рис. 2.4).

Угольный пласт представляет собой сложнопостроенную угольно-породную залежь, характеризующуюся не только внутрипородными прослоями, но и наличием угленосных прослоев в кровле и почве основного пласта, определенных условиями его формирования. Поэтому перед подсчетом запасов угля следует выделить принимаемую в подсчет мощность и отсеять случайные линзы. Параметры кондиций, как правило, определяют основные критерии подсчета, не учитывая проблемы определения истинной мощности угольного пласта, обусловленные его генетическими свойствами.

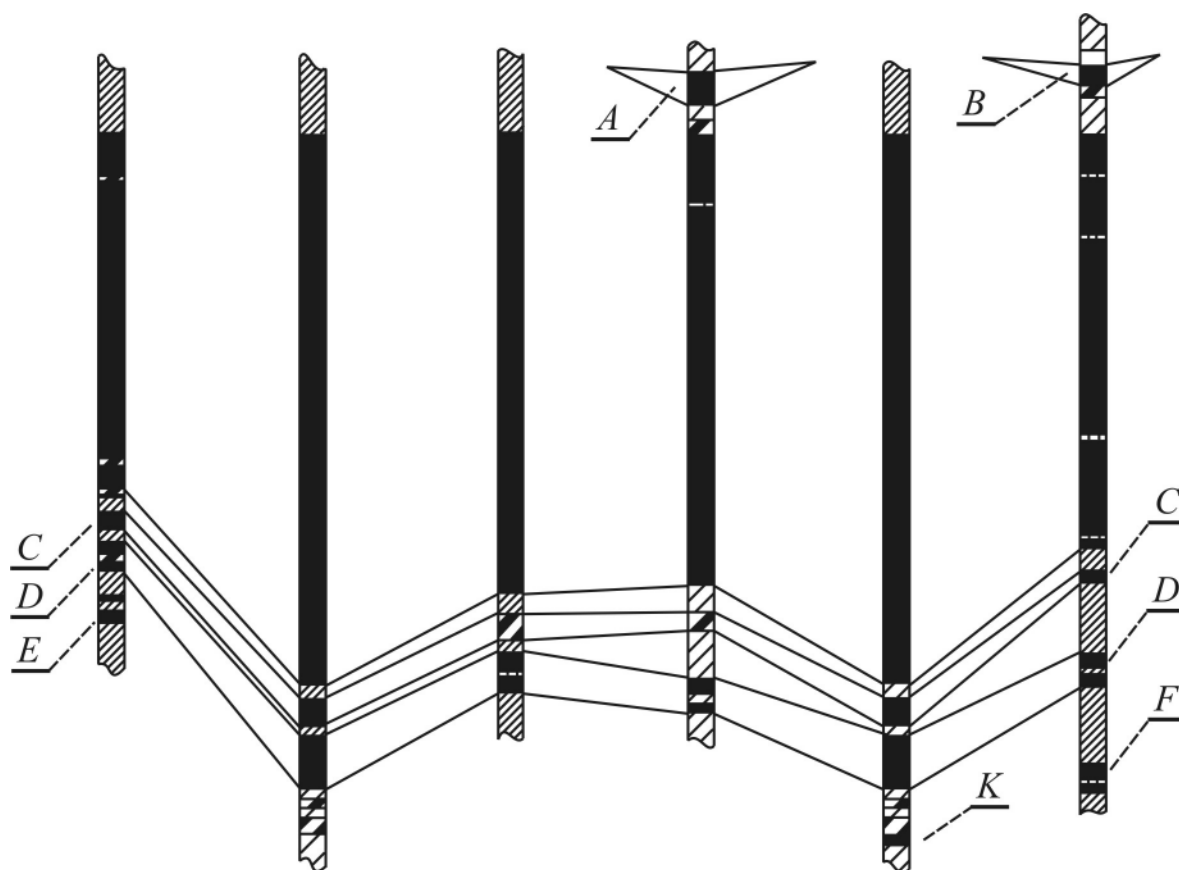


Рис. 2.4. Пример строения угольного пласта с линзами угля и углистых пород в кровле и почве

Если удастся выделить площадь, в пределах которой угольный пласт, с учетом конкретной линзы, удовлетворяет параметрам кондиций, то ее следует выделить в отдельный блок с повышенным значением мощности. Если же линзы имеют спорадический характер и размер меньше ячейки разведочной сети, пачку не следует принимать в подсчет, несмотря на то, что данное подсечение формально удовлетворяет параметрам кондиций.

В почве пласта также очень часто присутствуют линзы угля и углистых пород невыдержанного свойства. Здесь также необходимо выполнить анализ площадного распространения данных линз и определиться с площадью, в пределах которой часть из них может быть включена в подсчет запасов.

Иногда случается ситуация, когда в почве или кровле мощного угольного пласта присутствуют линзы угля, отделенные породным прослоем.

Как самостоятельные тела они интереса не представляют, но могут быть включены в подсчет совместно с основным угольным пластом.

Если параметрами кондиций не оговорена мощность породного прослоя, разделяющего угольный пласт на самостоятельные подсчетные тела, то формально, по критерию максимальной зольности, совместно с угольным пластом мощностью 10 м можно включить в подсчет дециметровый прослой угля, отделенный от основного пласта метровым прослоем породы.

В данном случае следует руководствоваться критерием, оговоренным кондициями для целого ряда месторождений Ерунаковского, Терсинского и Томь-Усинского геолого-экономических районов: мощность разделяющего прослоя не должна превышать мощности угольной пачки, включаемой в подсчет, а суммарная мощность породных прослоев должна быть меньше мощности угольной массы.

Согласно указанному критерию, пачки «А» и «В», показанные на рис. 2.4, не следует принимать в подсчет, расценивая их как случайные, не имеющие значимой площади распространения. Что касается пачек «С», «D» и «Е», то для принятия соответствующего решения следует выполнить анализ их развития по площади и рассчитать варианты изменения зольности пласта при принятии одной, двух или трех пачек в подсчет. При значимой площади развития одной или всех трех угольных пачек в почве пласта следует оконтурить данную площадь линией расщепления пласта (вклинивания одной или нескольких пачек). Угольный пласт внутри данного контура будет характеризоваться повышенными значениями мощности и зольности. Пачки «К» и «F» нет смысла включать в подсчет запасов, учитывая то, что мощность отделяющего породного прослоя превышает мощность этих пачек.

После анализа структурных колонок пласта можно приступать к определению мощности угля, породных прослоев, включаемых в подсчет, и расчету средней зольности по плаstopересечению.

Расчет среднепластовой зольности углей (A_3^d) по пластопересечению с учетом 100 % засорения внутрипластовыми прослоями породы осуществляется методом средневзвешенного арифметического со взвешиванием частных значений зольности (A_i^d) по мощности (m_i) и кажущейся плотности (d_a^d), участвующих в расчете пачек углей и пород, по формуле

$$A_3^d = \frac{A_1^d m_1 d_a^d(1) + A_2^d m_2 d_a^d(2) + \dots}{m_1 d_a^d(1) + m_2 d_a^d(2) + \dots}, \quad (2.3)$$

где A_i^d , m_i и d_a^d – зольность, мощность и кажущаяся плотность угля i -й пачки.

Аналогичным образом для каждого пластопересечения подсчитывается и средняя зольность чистых угольных пачек (расчет ведется по формуле (2.3) без учета входящих в пласт породных прослоев).

После выделения принимаемых в подсчет запасов пачек и расчета зольности формируется окончательный вид структурных колонок, приведенный на рис. 2.5. Построение колонки выполняется, как правило, в масштабе 1:100, а сами они размещаются либо на отдельных листах графических приложений, либо (при возможности) на полях подсчетных планов.

Над колонкой (которая иногда именуется «стопкой») 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. Внизу под колонкой, в случае выполнения детализации пласта при каротаже (обеспечивающей повышенную точность определения мощности), ставится соответствующий условный знак.

Справа от колонки приводятся нормальные мощности пачек угля (0,75 и 1,40 м) и рядом с ними, через дефис – нормальные мощности керна угля (0,52 и 1,05 м на рис. 2.5). С некоторым смещением от них указываются нормальные мощности прослоев (0,24 м на рис. 2.5) и, через дефис, нормальные мощности поднятого керна (0,21 м на рис. 2.5).

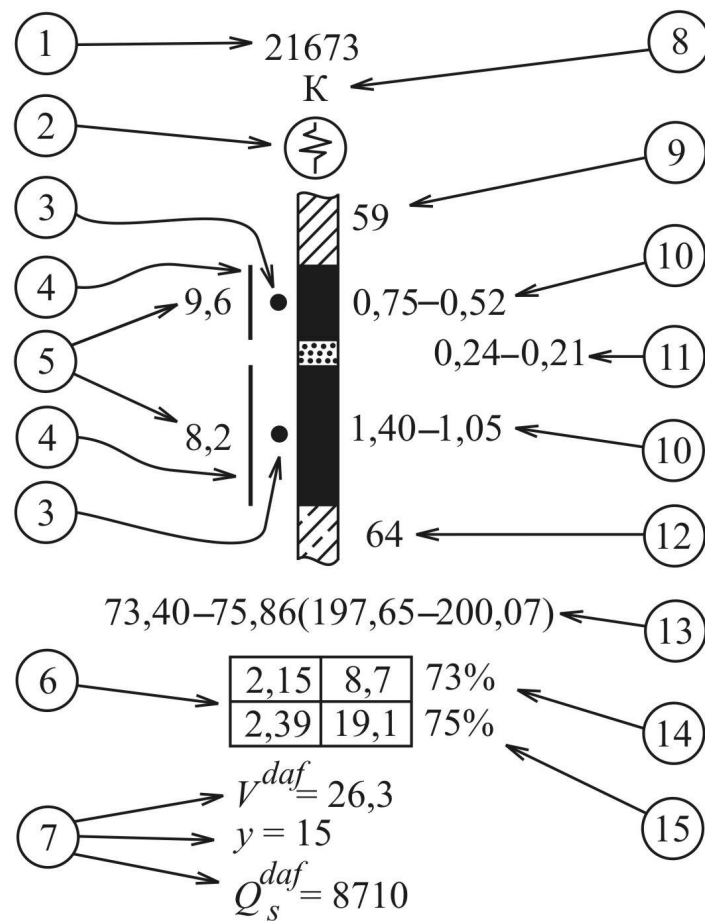


Рис. 2.5. Структурная колонка пласта:

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 прося 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. 2.5). 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.

Под колонкой отдельной строкой показываются осевые глубины скважины, на которых она встретила кровлю (73,40 м) и почву (75,86 м на рис. 2.5), и, в скобках, абсолютные высотные отметки точек их встречи. Ниже приводятся данные о мощности и зольности угольных пачек и пласта (в случае, если эти данные были приняты для подсчета запасов, они обводятся рамкой), под которыми указываются значения основных показателей качества угля.

До начала подсчета запасов угля необходимо проанализировать имеющиеся подсечения на предмет ураганных значений, которые, применительно к угольным месторождениям, именуются аномальными. Ограничение ураганных (аномальных) значений на угольных месторождениях не производится – они полностью исключаются из подсчета запасов. В отличие от рудных и россыпных месторождений, для которых существует целый ряд методик выбраковки ураганных значений, аналогичных общепринятых методов для угольных месторождений не существует. Для практических целей можно рекомендовать следующий порядок действий по выделению аномальных замеров.

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

По результатам геометрического моделирования потенциально аномальным замером следует признавать тот, вокруг которого замыкаются две и более изолинии признака, имеющие рациональное сечение [12].

Это сечение устанавливается в соответствии с «Методическими рекомендациями по выбору сечений...» [3]. Если изолинии замыкаются вокруг группы замеров, то ни о какой аномальности не может идти речи. Например, для условий на рис. 2.6, *а* потенциально аномальным должен быть признан замер 1,27 м, тогда как замеры 2,74 м и 2,81 м на рис. 2.6, *б* не подлежат отбраковке. На практике выполнять построение изолиний признака нет необходимости, достаточно определить рациональное сечение изолиний и выделить те замеры, величина которых отличается от соседних более чем на удвоенную величину этого сечения.

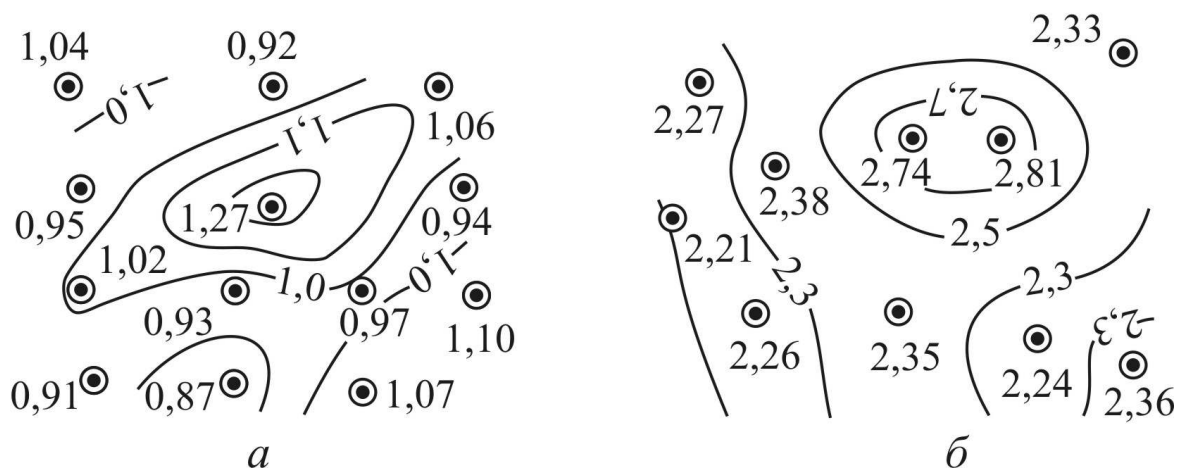


Рис. 2.6. Выделение потенциально аномальных замеров

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

К первой относятся замеры, содержащие технические ошибки, такие как неправильность определения принятого угла встречи угольного пласта скважиной, недостоверное определение мощности бурением при отсутствии каротажа и низком выходе керна, определение 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 «аномалий», факт наличия которых фиксируется разведочными скважинами. Например, наличием конкреций либо локальной карбонатизации угольного слоя, расположением пластопересечений в зонах влияния нарушений и т. д.

Третья группа аномалий приурочена к зонам аномального поведения пласта, предположительно распространенным на весьма ограниченной площади. Забегая несколько вперед и с некоторыми упрощениями, можно сказать, 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:

$$V = S\bar{m} = S \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \sum_{i=1}^n m_i \frac{S}{n}. \quad (2.4)$$

Из формулы (2.4) следует, что существующая 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. Выделение подобных замеров является творческой эвристической задачей. В качестве формализованной формы ее решения может рассматриваться метод И. Д. Когана. В соответствии с ним к уравненным относятся замеры, включение которых в подсчет запасов увеличивает среднее значение признака на определенную величину (10 или 20 %) в сравнении со средним, установленным без ее учета. Для угольных месторождений можно установить величину такого повышения равной 10 % для запасов категории А и 20 % для остальных категорий.

Аномальными замерами первой и второй указанных групп могут признаваться как наибольшие, так и наименьшие значения признаков, а третьей группы – только наибольшие.

К числу весьма эффективных методов выделения аномальных замеров относится и метод уравнивания сети геологоразведочных измерений, однако практического применения он пока не получил в связи с обязательностью применения ЭВМ.

Результаты выделения аномальных значений отражаются на структурных колонках и подсчетных планах (аномальные значения параметров не обводятся рамкой, в отличие от значений, принятых в подсчет запасов). Причины отнесения замеров к аномальным обязательно указываются в специальных таблицах расчета средних значений мощности и зольности по подсчетным блокам. Например: «зольность по скв. 2859 не принята – низкий выход керна, отсутствие каротажа», «мощность по скв. 47829 не принята – пласт вскрыт не на полную мощность» (для аномалий первой группы), «... – наличие конкреций», «... – висячем крыле нарушения II» (для аномалий второй группы), «... – не характерна» (для аномалий второй группы).

2.3. Кажущаяся плотность угля

Для определения кажущейся плотности угля необходим кусочек ненарушенного угля размером не менее 1 см^3 . Сам метод определения достаточно трудоемок и выполняется в 10–15 % от общего количества отобранных на участке проб. Зольность же угля в обязательном порядке определяется в каждой отобранной пробе. Для контроля представительности проб, в лаборатории, одновременно с кажущейся плотностью определяются максимальная влагоемкость, зольность и действительная плотность.

Многочисленными работами по исследованию качества углей Кузбасса установлена практически линейная зависимость кажущейся плотности угля от его зольности. Конкретный вид данной зависимости устанавливается для участка разведки и впоследствии используется для определения кажущейся плотности угля для выделяемых участков подсчета запасов (геологических блоков). Кроме того, очень хорошо коррелируют между собой значения кажущейся и действительной плотности.

Установление зависимости осуществляется путем построения графика взаимосвязи кажущейся плотности и зольности угля (рис. 2.7). Для контроля на том же графике отражается и зависимость действительной плотности угля от зольности. Как правило, эта плотность превышает действительную на $0,02\text{--}0,10 \text{ м}^3/\text{т}$.

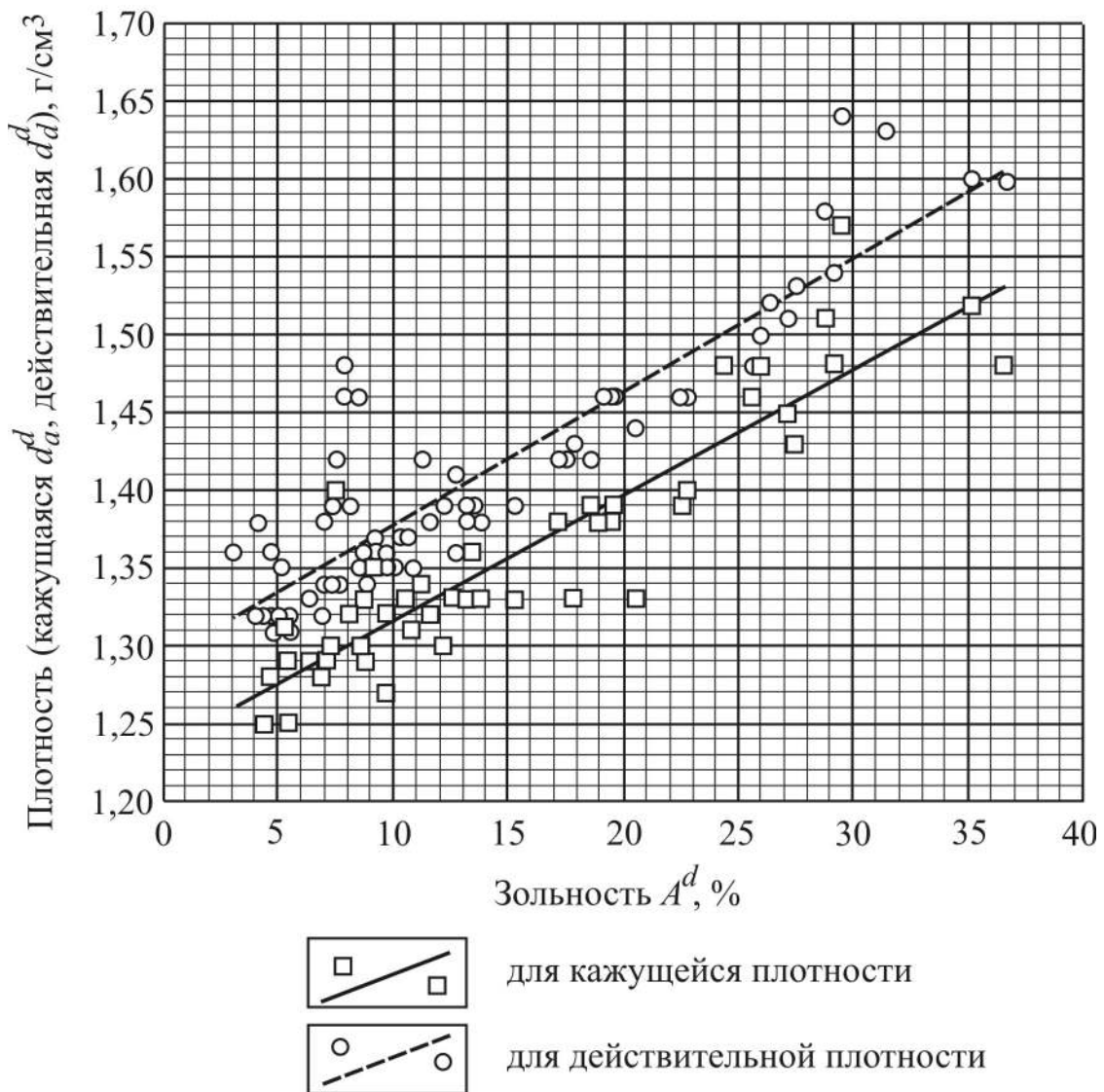


Рис. 2.7. Зависимость кажущейся и действительной плотности от зольности

При построении графиков используются стандартные методики выбраковки отдельных значений, при этом дополнительными контрольными параметрами при отбраковке также служат действительная плотность и максимальная влагоемкость.

После построения графика из него легко получить графическим путем кажущуюся плотность угля для любого значения зольности в целях последующего ее использования при подсчете запасов угля.

Указанные графики отстраиваются отдельно для каждого пласта (в случае одинакового марочного состава – для группы пластов) с разделением, при наличии, на участки распространения углей различных марок. Кроме того, в Кузбассе дополнительно группируют угольные пласты по содержанию мацералов группы инертинита с отличием крайних значений не более 5 %.

Установление линейной зависимости выполняется, как правило, «на глаз», и ее аналитическое описание (в виде формулы) обычно не производится. Ранее, для построения графика, область данных разбивалась на частные области по интервалам зольности (5–10, 10–15 % и т. д.) и для каждой области определялись средние значения зольности и кажущейся плотности, т. е. применялись принципы упрощенных методов теории корреляции (корреляционная таблица). Эти точки и служили основой для построения графика зависимости. В последние годы для построения графика используются широко известные методы корреляционного анализа, реализованные, например, в табличном редакторе (Excel), позволяющие аналитически выразить изучаемую зависимость и оценить тесноту связи (в Excel, стандартно, оценивается коэффициент детерминации, равный квадрату коэффициента корреляции или корреляционного отношения). В случае, если установить зависимость между кажущейся плотностью и зольностью не удастся («облако» точек имеет форму круга), в качестве величины кажущейся плотности для рассматриваемого участка принимается ее среднее арифметическое значение. Подобное решение может быть принято, когда коэффициент корреляции между кажущейся плотностью и зольностью не превышает 0,5 (слабая связь).

В редких случаях, особенно для незначительных по площади участков, количество прямых определений плотности может оказаться недостаточным для надежного установления рассматриваемой зависимости. В такой ситуации используются данные предыдущих исследований по месторождению в целом, а также результаты обобщающих научно-исследовательских работ. Для Кузбасса объем работ прежних лет вполне достаточен, чтобы мотивированно обосновать вид указанной зависимости для любого участка недр.

Серьезные исследования взаимосвязи кажущейся и действительной плотности углей Кузбасса были проведены в середине прошлого века Э. М. Пахом. На основе большого количества анализов углей разной степени метаморфизма он предложил применять, в случаях, когда кажущаяся плотность не определялась или изучалась лишь по малому количеству проб, в условиях наличия данных о зависимости действительной плотности от зольности, следующую формулу для перехода от действительной плотности d_d^d к кажущейся d_a^d :

$$d_a^d = d_d^d - a, \quad (2.5)$$

где a – среднестатистическая разность между плотностями, принимаемая в соответствии с табл. 2.2.

Таблица 2.2

Среднестатистическая разность
между кажущейся и действительной плотностью угля

Значения « a », г/см ³	Условия примечания
0,06	Спекающиеся угли при геотермическом градиенте менее 3,5 °С на 100 м
0,07	Неспекающиеся угли II–V стадий метаморфизма, тощие угли VI стадии метаморфизма
0,08	Спекающиеся угли при геотермическом градиенте более 3,5 °С на 100 м, полуантрациты (стадия VII–VIII), газовые на грани полной потери спекаемости
0,10–0,15	Длиннопламенные угли (только по аналогии с соседними месторождениями)

2.4. Структурная карта пласта

Графической основой подсчета запасов является структурная карта пласта, обеспечивающая возможность выделения и измерения площадей контуров подсчета и определения углов падения пласта в них.

В зависимости от угла падения пласта структурная карта пласта выполняется на горизонтальную (обычно при углах падения менее 45°) или вертикальную плоскость. В первом случае карта именуется структурным планом, во втором – проекцией пласта на вертикальную плоскость.

На структурном плане пласта отображаются положения устьев скважин, разведочных плаstopодсечений (с указанием высотных отметок точек встречи скважиной почвы пласта), мощности пласта и пачек угля, выход пласта под наносы, изогипсы почвы пласта, оси пликтивных нарушений и линии скрещения пласта с дизъюнктивными нарушениями. Построение изогипс осуществляется методом разрезов (ступенчатых отметок), подробно изложенным в учебном пособии «Построение гипсометрических планов угольных пластов» [11]. Принимаемое для построений сечение изогипс пласта должно обеспечивать возможность определения отметок пласта, находящихся между изогипсами, путем линейной интерполяции между ними. Исполнение данного условия гарантирует и достоверное определение углов падения пласта в контуре подсчета запасов.

Конкретная величина сечения определяется в соответствии с «Методическими рекомендациями по выбору сечений...» [3]. Величина сечения, установленная на их основе, является предельно допустимой, что предопределяет возможность использования сечений меньшей величины.

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.

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.

На практике комплект графической документации геологического отчета может содержать как структурные, так и подсчетные планы пластов. Так как графическая нагрузка подсчетного плана дублирует структурный, в современной практике (что следует признать правильным) последний отдельно не представляется. Характерные примеры фрагментов графической основы подсчетных планов представлены на рис. 2.8.

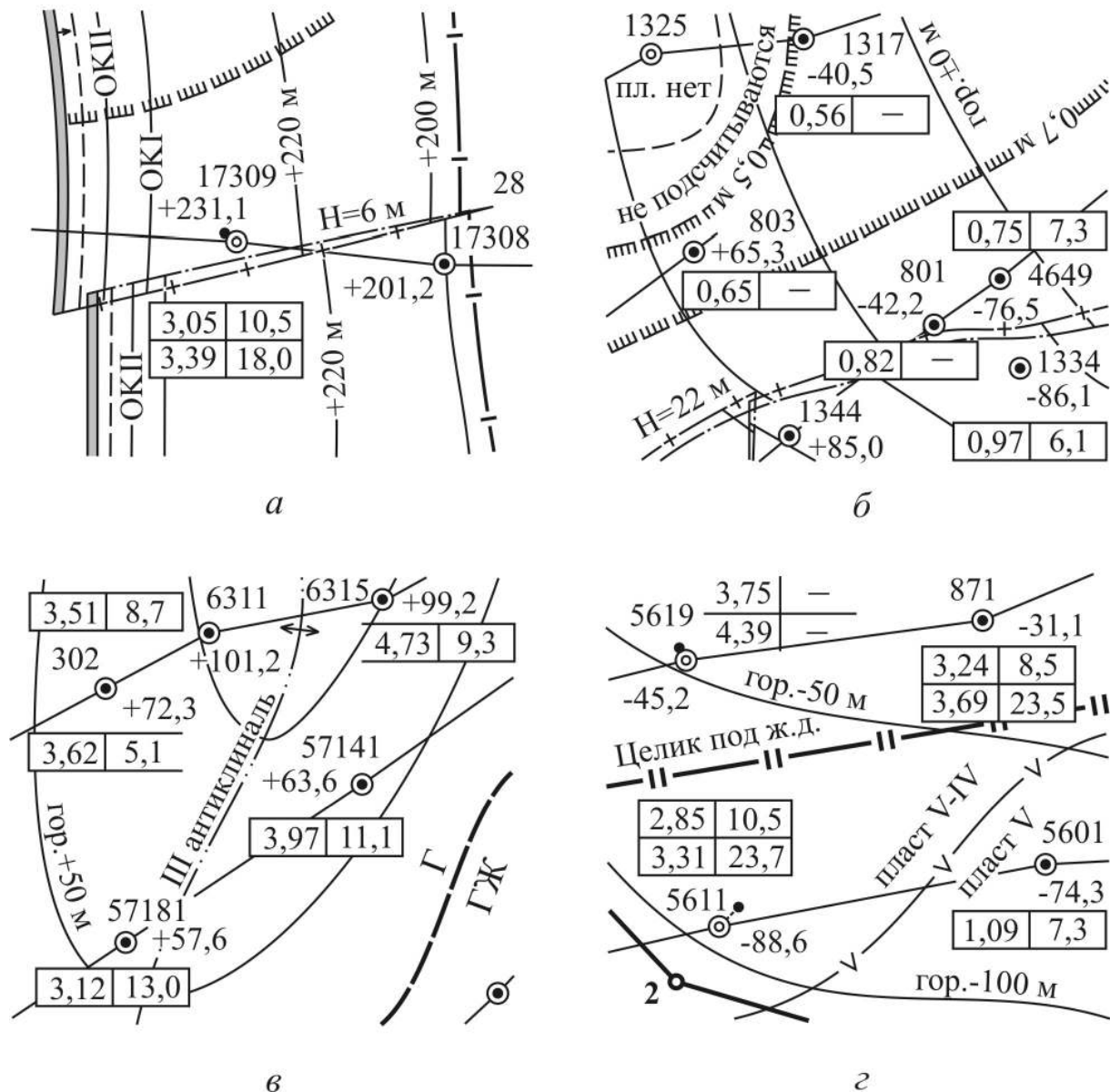


Рис. 2.8. Характерные примеры графической основы подсчетных планов

При построении планов используются специальные условные обозначения, перечень которых обязательно приводится в геологическом отчете. Рекомендуемый их вид приведен на рис. 2.9.

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).

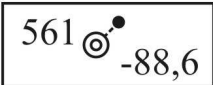
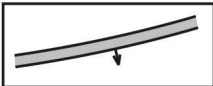
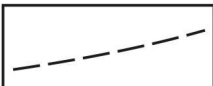
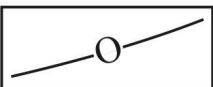
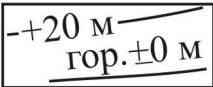
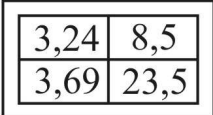
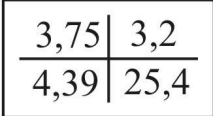
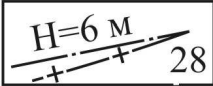
	положение устья скважины и точки плаstopодсечения (вертикальная скважина), номер скважины и высотная отметка почвы пласта в балтийской системе
	положение устья скважины и точки плаstopодсечения (наклонная скважина)
	выход пласта под наносы
	граница распространения негодного угля
	граница распространения 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
	лицензионные границы участка недр

Рис. 2.9. Условные обозначения на подсчетных планах

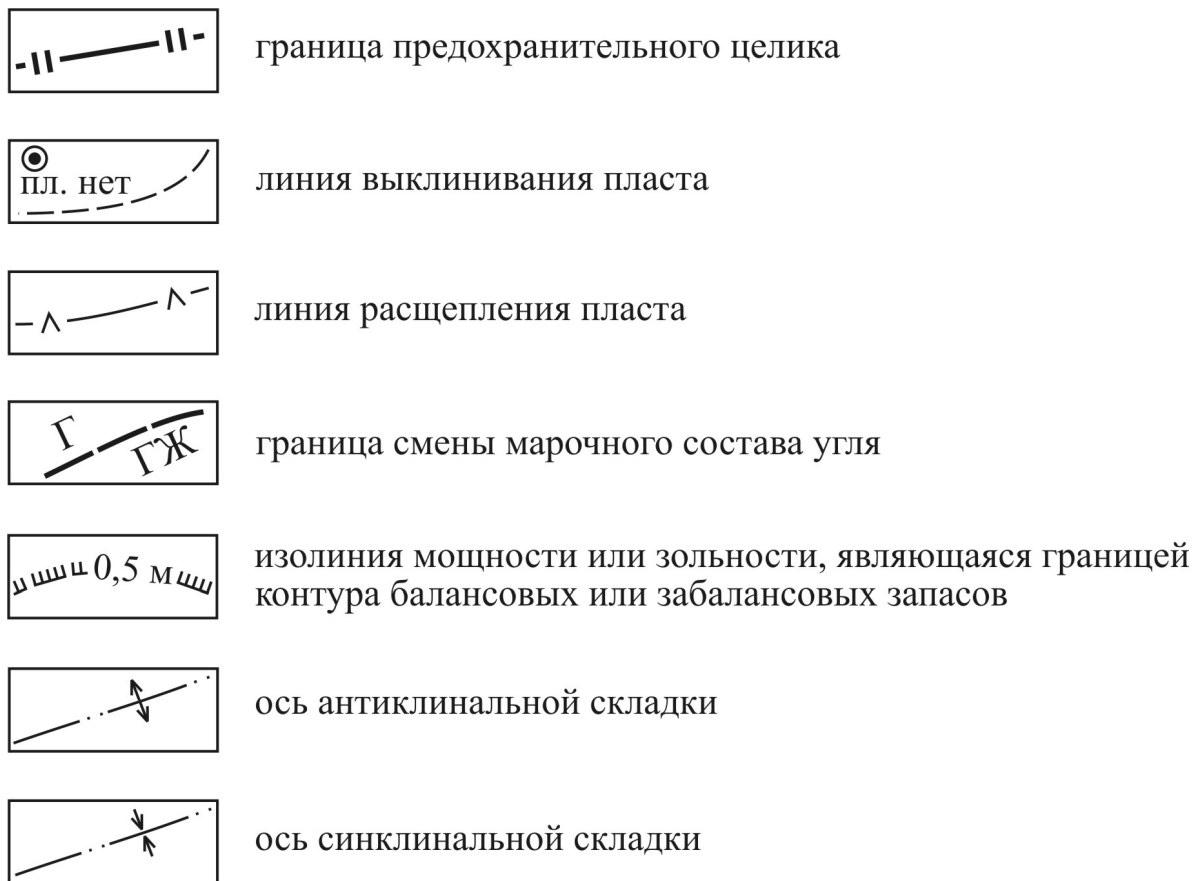


Рис. 2.9. Условные обозначения на подсчетных планах
(продолжение)

Рядом с каждым плаstopодсечением 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. 2.8, а), в противном случае рамка таблицы не изображается (скважина 5619 на рис. 2.8, з). 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. 2.10) его подсчетный план мог бы быть представлен двумя деталями: деталь 1 (висячее крыло нарушения H) и деталь 2 (лежачее крыло нарушения H). Необходимость выделения деталей определяется в каждом конкретном случае индивидуально, исходя из необходимости обеспечения удобства восприятия горно-графической документации.

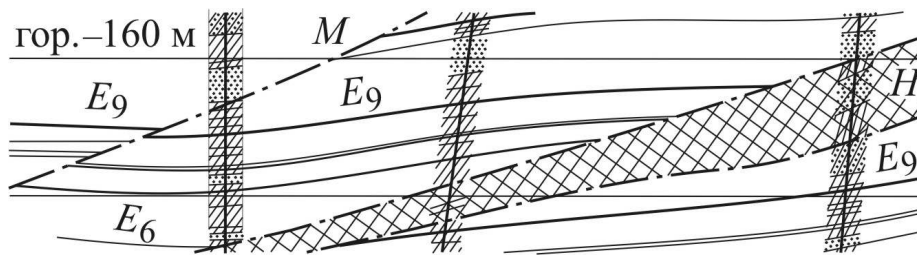


Рис. 2.10. Фрагмент геологического разреза по XI–V разведочной линии участка «Осинниковский Восточный»

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.

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. 2.11).

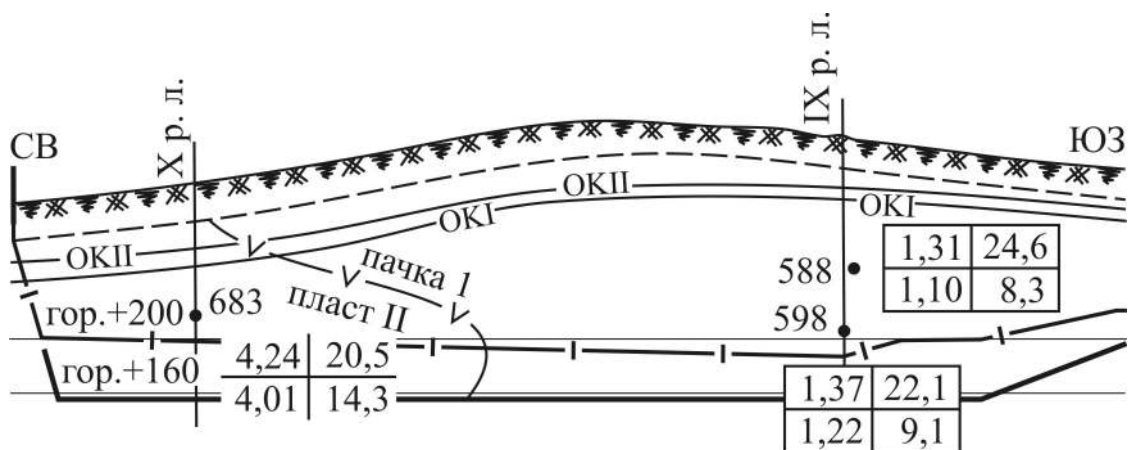


Рис. 2.11. Пример графической основы подсчета запасов пласта в проекции на вертикальную плоскость

Очень часто графическая основа такого подсчета также именуется подсчетным планом, что является терминологической ошибкой. Ее правильное наименование – проекция 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.

Важной особенностью вертикальных проекций является то, что в зависимости от ориентировки плоскости проецирования на плане расстояние между точками графической основы вдоль направлений линий горизонтов будет изменяться. Неучет этого обстоятельства приводит к методическим ошибкам при подсчете запасов. Как отмечалось во введении, для вычисления объема тела полезного ископаемого в пределах подсчетных блоков определяется их истинная площадь. Эта площадь рассчитывается путем умножения измеренной площади проекции на секанс двугранного угла между плоскостью пласта и плоскостью проекции. Для горизонтальных проекций этот угол равен углу падения пласта.

Для вертикальных проекций это равенство соблюдается только в случае, если ориентировка вертикальной плоскости проекции совпадает в плане с ориентировкой линии простирания пласта. Если такого совпадения не наблюдается (а это имеет место практически во всех случаях), то для пересчета измеренных площадей необходимо учитывать два угла: угол падения пласта и угол между линией простирания и плоскостью проекции. Так на рис. 2.12 хорошо видно, что площадь и даже конфигурация проекции (контур $A'B'C'D'$) одного и того же фрагмента пласта ($ABCD$) существенно зависят от положения плоскости проектирования.

На практике данное обстоятельство учитывается следующим образом: расстояние между разведочными линиями на вертикальной проекции определяется не по прямой, а криволинейно – по выходу угольного пласта под наносы (вверху) и на нижний горизонт (внизу). Однако такой подход приемлем только при относительной выдержанности направлений выходов пластов.

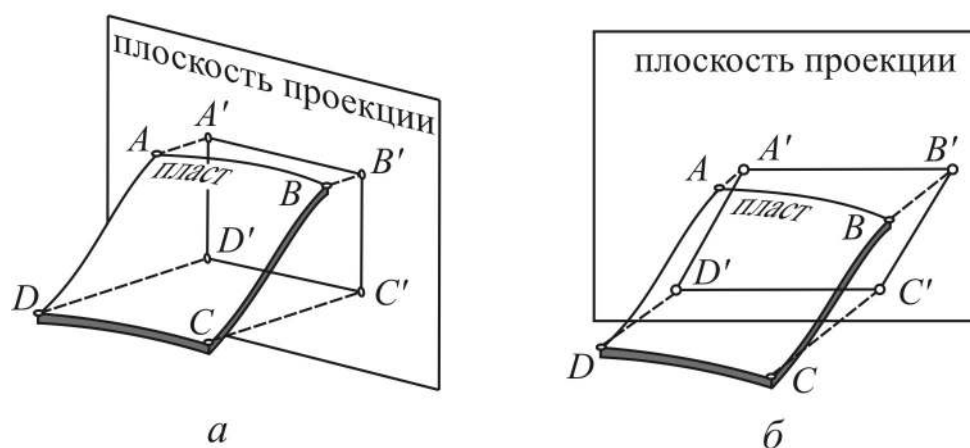


Рис. 2.12. К необходимости учета ориентации вертикальной плоскости проекции

При сложной конфигурации линий выходов необходимо указывать положение принятых плоскостей проектирования на планах горизонтов и выходов пластов под наносы.

Для обеспечения полной корректности подсчета запасов в проекции на вертикальную плоскость рекомендуется осуществлять построение изолиний расстояний почвы пласта от заданной вертикальной плоскости проектирования.

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

На плане выходов пластов под наносы (рис. 2.13) намечается положение вертикальной плоскости проектирования – прямая AB , примерно параллельная направлению преимущественного простираия пластов. Фиксируются точки E_1 , E_2 и т. д. ее пересечения с разведочными линиями и измеряются острые углы α_1 , α_2 и т. д. между нею и направлениями разведочных линий. При проведении линии AB нет необходимости обращать внимание на то, по какую сторону от линии выхода пласта под наносы она будет находиться, т. к. это приводит лишь к возможности появления изофронталей с нулевыми и отрицательными значениями фронтальных расстояний.

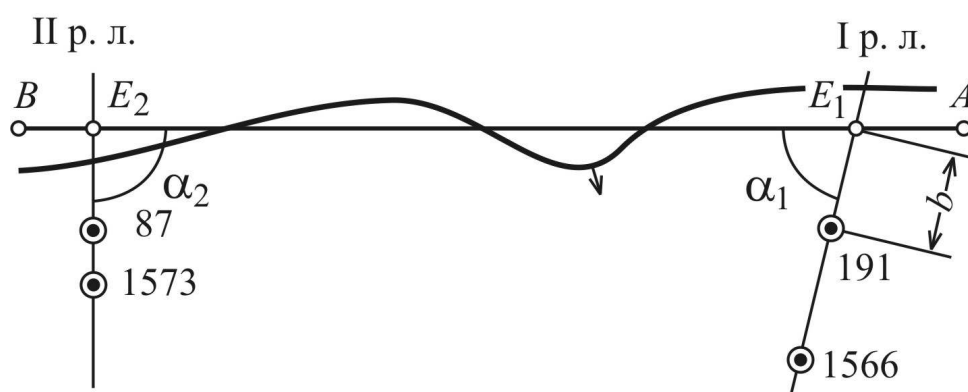


Рис. 2.13. Построение следа плоскости проектирования на плане выходов пластов под наносы

Точки $E_1, E_2, \dots$ переносятся на геологические разрезы и через них проводится след пересечения разреза с плоскостью проектирования – вертикальные линии E_1T_1, E_2T_2 и т. д. (рис. 2.14).

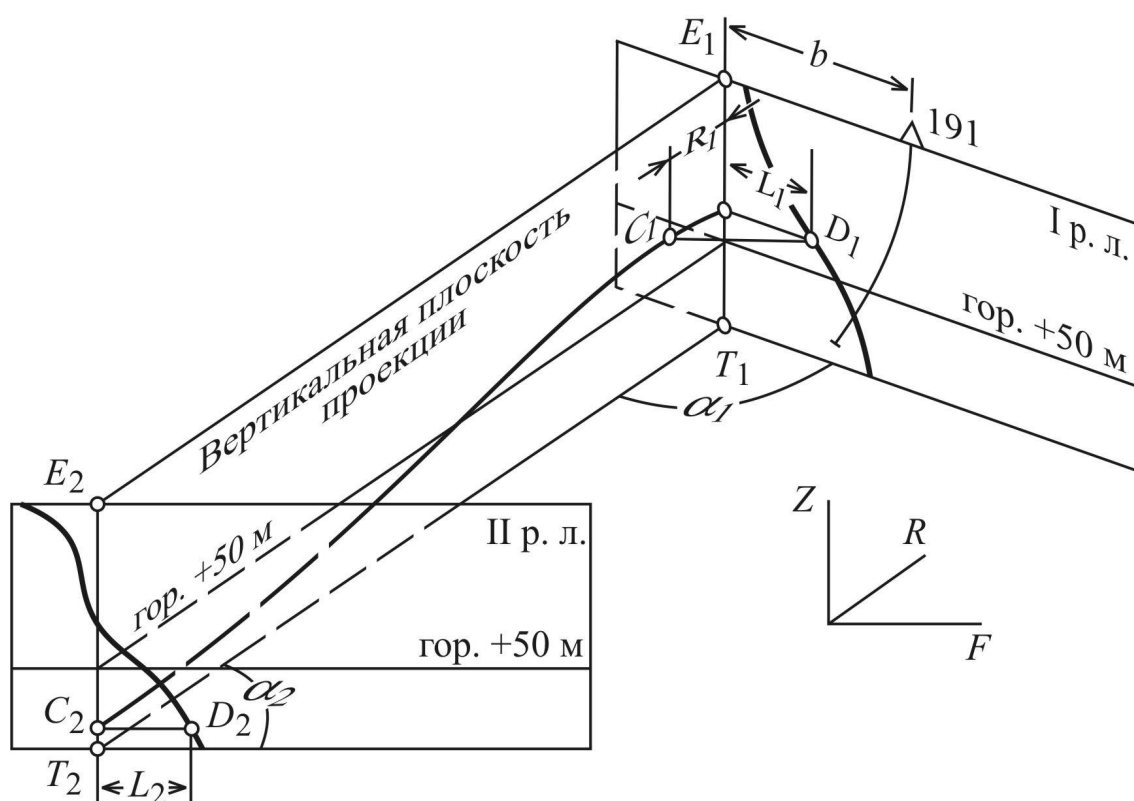


Рис. 2.14. Построение изофронталей пласта

В качестве опорных точек для переноса используются устья разведочных скважин, показываемых, как известно, одновременно на разрезах и на планах. То есть перенос осуществляется путем откладывания на разрезе от устья опорной скважины (например, от скважины номер 191 на разведочной линии I на рис. 2.14) расстояния (измеренного на карте выходов пластов под наносы) до точки пересечения плоскости проектирования и разведочной линии (расстояния b на рис. 2.14). На разрезах отыскиваются принадлежащие почве пласта точки $D_1, D_2, \dots$, удаленные от плоскости проекции на расстояние, равное значению отстраиваемой изофронтальной F (определяемое по направлению нормали к плоскости проектирования).

Поскольку фактически направления расположения плоскости проекции и линий разрезов далеко не всегда ортогональны (например, I р. л. на рис. 2.13), точки D_i отыскиваются на разрезах как точки, удаленные от вертикальных линий E_iT_i на расстояния L_i (рис. 2.14), определяемые индивидуально для каждого i -го разреза по формуле

$$L_i = \frac{F_i}{\sin \alpha_i}. \quad (2.6)$$

Естественно, что в случае, если $\alpha_i = 90^\circ$ (как у разреза по II р. л. на рис. 2.13), то $L_i = F_i$. Используя показанную на разрезах сетку высот, можно измерить высотные отметки всех выделенных точек D_i и перенести их с разрезов на вертикальную плоскость проектирования в соответствующие точки C_i .

В случае если угол $\alpha_i = 90^\circ$, то точка D_i (например, точка D_2 на рис. 2.14) будет проектироваться в точку C_i (C_2 на рис. 2.14), находящуюся точно на линии E_iT_i и имеющую высотную отметку, равную ранее определенной отметке точки D_i . В противном случае (если $\alpha_i \neq 90^\circ$ – точки D_1 и C_1 на рис. 2.14) соответствующие точки C_i будут, имея равную с D_i отметку, смещены относительно линии E_iT_i на расстояние R_i , вычисляемое по формуле

$$R_i = F_i \operatorname{ctg} \alpha_i. \quad (2.7)$$

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

При разведке пластов крутого падения, помимо разрезов и подсчетных планов в проекции на вертикальную плоскость, геологоразведочными организациями выполняется и построение планов отдельных горизонтов, при этом возникает дополнительная информация, не учитываемая вышеописанной методикой.

При наличии погоризонтных планов положение проекции вертикальной плоскости проектирования переносится на каждый из них (линии AB , $A'B'$ – рис. 2.15).

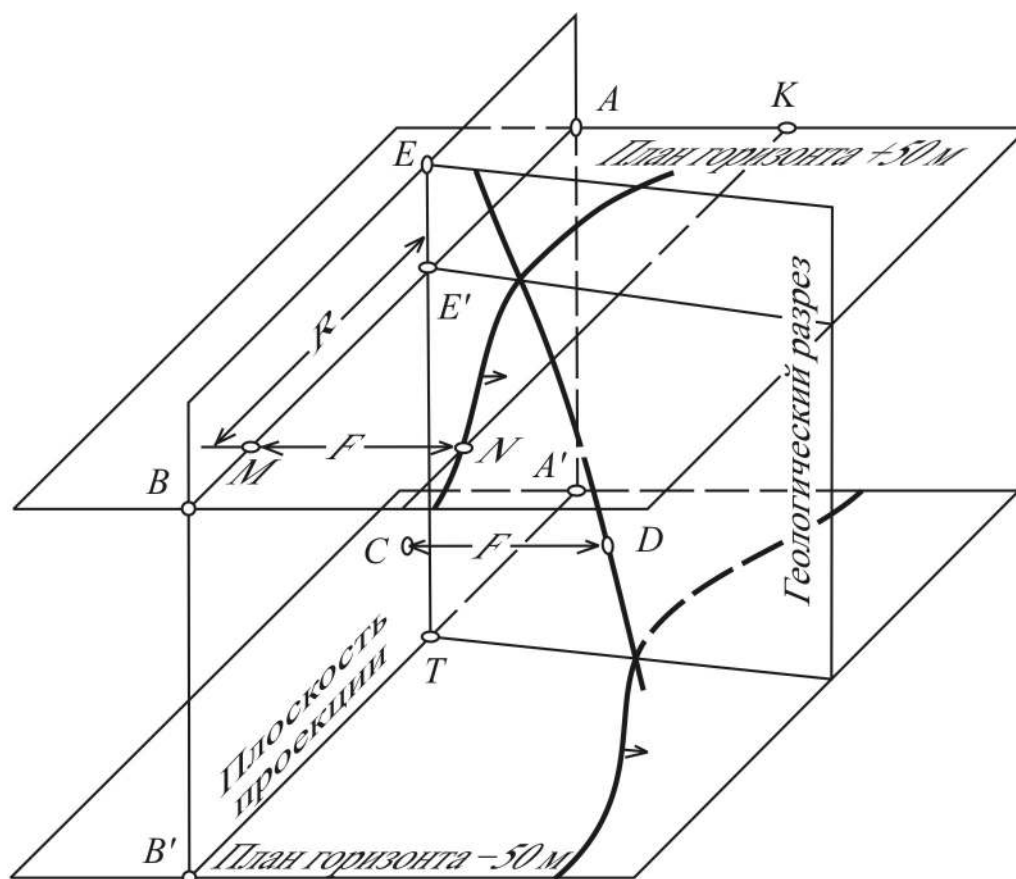


Рис. 2.15. Использование погоризонтных планов при построении изофронталей

На каждом погоризонтном плане, параллельно линии его пересечения с плоскостью проекции, проводится линия (NK на рис. 2.15), удаленная от нее на расстояние F , равное значению отстраиваемой изофронталей.

На этой прямой отыскивается точка N пересечения изофронталы с линией выхода пласта на горизонт (разумеется, таких точек может быть несколько, либо для рассматриваемой величины F она может вообще отсутствовать). Точка N проектируется на плоскость проекции в точку M . Производится измерение расстояния R от точки M до линии пересечения ET плоскости проекции с ближайшим геологическим разрезом. По значению расстояния R и отметке погоризонтного плана точка M переносится на вертикальную плоскость проекции (рис. 2.16).

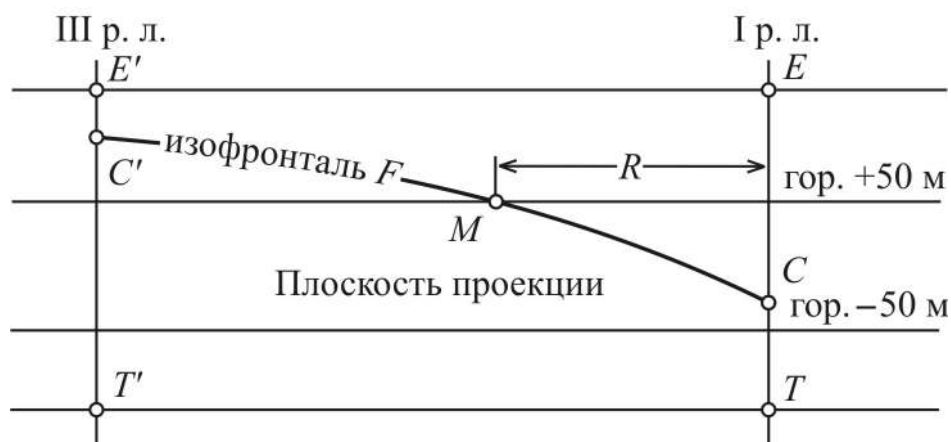


Рис. 2.16. Использование, при построении изофронталей, дополнительных точек, получаемых с помощью погоризонтных планов

Через точки типа C (определенные по геологическим разрезам в ходе применения ранее описанной общей методики построения фронтальной проекции) и точки типа M проводится соответствующая изофронталь.

Таким образом, наличие погоризонтных планов позволяет уточнить положение изофронталей в интервалах между разведочными линиями. В случае, когда залегание пласта осложнено складчатой структурой, точки типа M могут встречаться на плане горизонта несколько раз.

Пусть, например, на горизонте ± 0 м (рис. 2.17) одновременно встречаются две точки (M и M_1), удаленные от плоскости проекции на расстояние F . Причем на вышележащем и нижележащем горизонтах точки, удаленные на данное расстояние, вообще не встречаются. Ясно, что в этом случае изофронталь F должна иметь эллипсовидную форму.

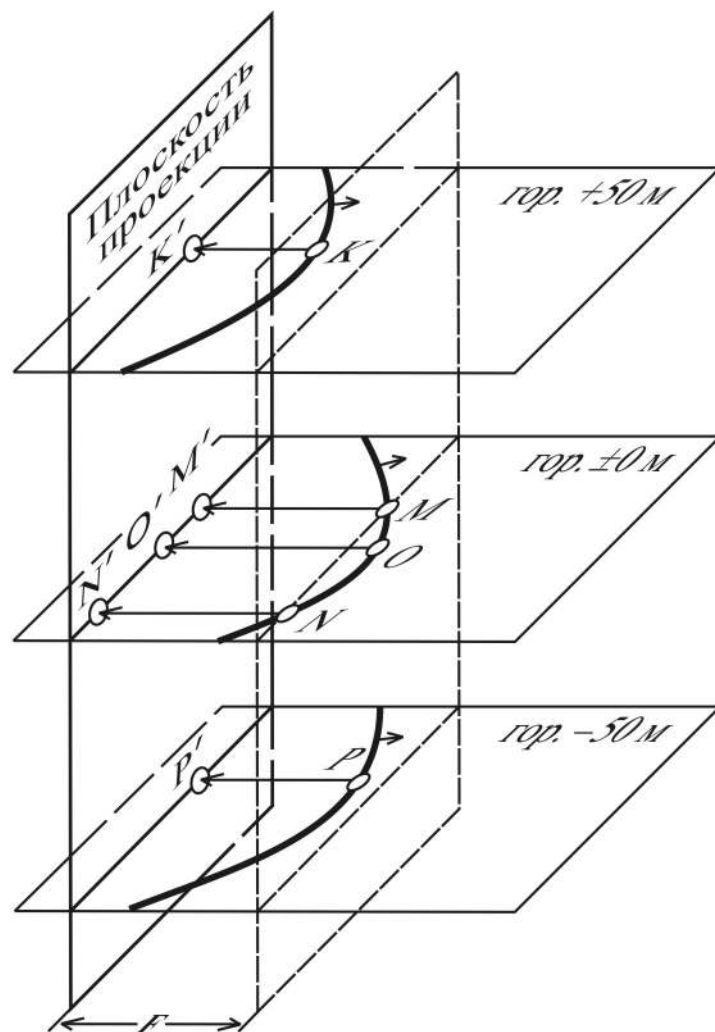


Рис. 2.17. Подготовка данных для построения замкнутой изофронталы

Для ее построения на горизонте ± 0 м выбирается дополнительная точка O , находящаяся между точками M и M_1 и наиболее удаленная от плоскости проекции. На соседних горизонтах также отмечается положение дополнительных точек P и K , аналогичных по расположению точке O .

Все выделенные точки переносятся на плоскость проекции (рис. 2.18). При этом рядом с точками выписываются величины их удаления от плоскости проекции, измеренные на погоризонтных планах. Затем проводятся вспомогательные направления $K'O'$ и $P'O'$ и путем интерполяции на них находятся точки V и W , имеющие ожидаемое удаление F (50 м в примере) от плоскости проекции. Положение изофронталы фиксируется кривой, плавно соединяющей точки M' , M'_1 , V и W .

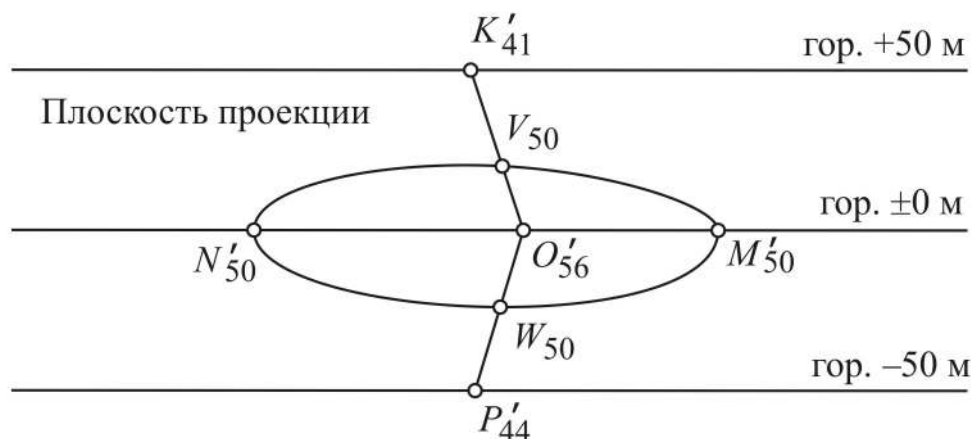


Рис. 2.18. Построение «замкнутой» изофронталы

На рис. 2.19 приведена фронтальная модель гипсометрии пласта Кемеровского, построенная по описанной выше методике.

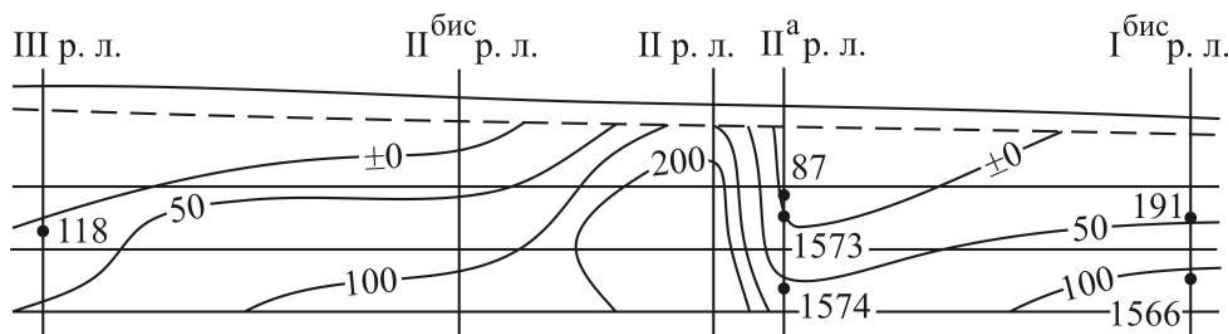


Рис. 2.19. Вертикальная проекция пласта Кемеровского

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

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

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

2.5. Построение изолиний кондиционных значений

Перед началом процедуры подсчета запасов на подсчетный план обязательно выносят контур выклинивания пласта и границы балансовых и забалансовых запасов.

Контур выклинивания пласта представляет собой изолинию нулевой мощности пласта. В подавляющем большинстве случаев эта изолиния отстраивается методом «из середины». Для этого скважины (одна или несколько), где пласт отсутствует, соединяются с расположенными рядом «угольными» скважинами. Расстояния между ними (пары скважин 2330 – 2331, 2330 – 2621 и 2330 – 2620 на рис. 2.20) делятся пополам (точки *A*, *B* и *C* на рис. 2.20). Через полученные точки проводится плавная кривая, которая будет являться искомой изолинией с нулевой мощностью пласта.

При построении линии выклинивания не следует принимать во внимание скважины, расстояние до которых существенно превышает расстояние до ближайших (например, применительно к рис. 2.20, при выполнении построений не следует принимать во внимание направление между скважинами 2330 и 2622).

Построение границ, которые являются изолиниями кондиционных параметров пласта (мощности пласта и породных прослоев, зольности), производится методом многогранников. Порядок построения предусматривает выполнение нескольких этапов.

1. На графической основе выделяются скважины, между которыми может пройти данная изолиния.

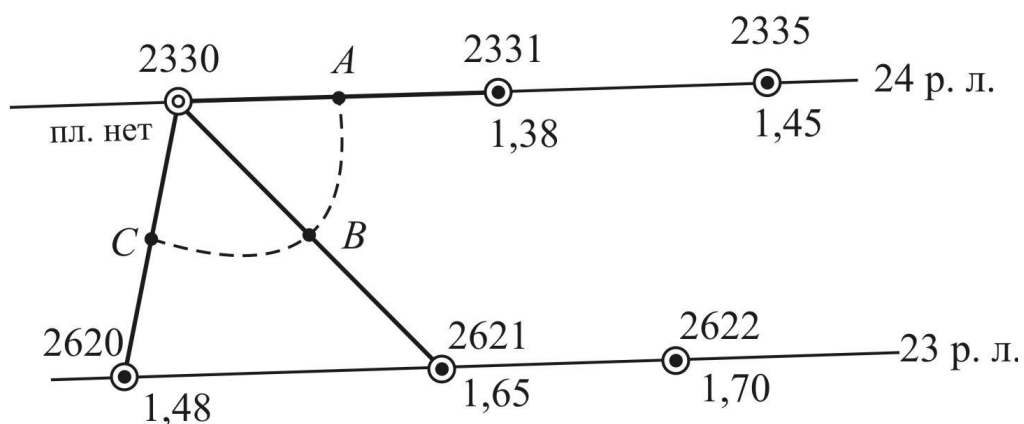


Рис. 2.20. Построение линии выклинивания пласта

2. Выявляются и оконтуриваются участки неопределенности в положении изолинии (ситуация, когда возникают два варианта построения изолинии). Так на рис. 2.21, *а* изолиния мощности 1,0 м может занимать два различных положения (пунктирная и штрихпунктирная линии).

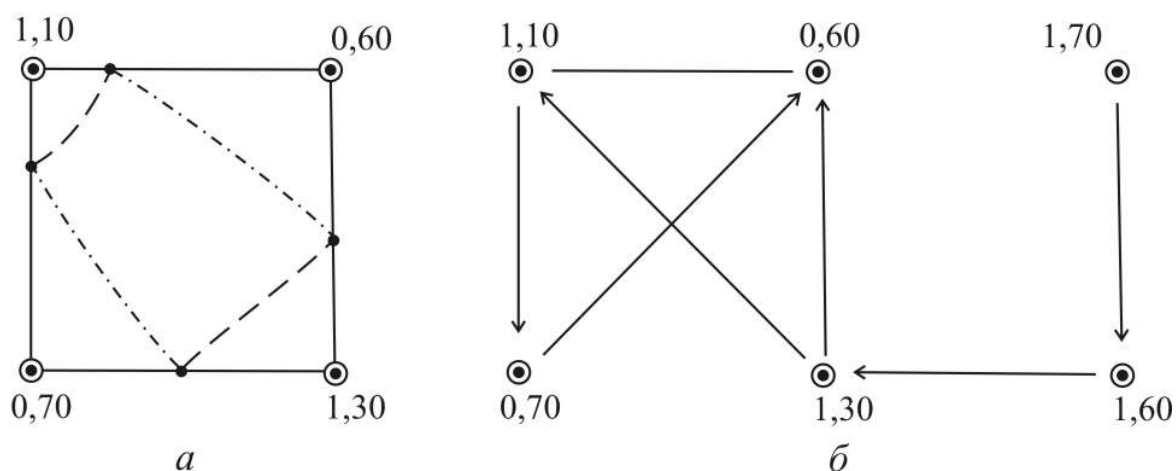


Рис. 2.21. К выявлению участков неопределенности

Выделение участков неопределенности производят методом А. И. Осецкого. Для этого сеть замеров зрительно разделяют на сеть четырехугольников. В каждом четырехугольнике от скважины с максимальным значением признака производят обход вершин четырехугольников в направлении последовательного уменьшения его величины (стрелки на рис. 2.21, *б*).

Если при обходе произошло пересечение направлений (левый четырехугольник на рис. 2.21, б), то имеет место неопределенность построений, если не произошло, то она отсутствует.

Выделенные по методу А. И. Осецкого четырехугольники неопределенности должны пройти дополнительную проверку: на участках неопределенности значение признака, равное значению изолинии, должно встречаться между всеми парами скважин, расположенными по контуру четырехугольника.

3. Отстраивается предварительное положение изолинии. Построение изолинии вне участков неопределенности разберем на примере построения изолинии 1,3 м (рис. 2.22).

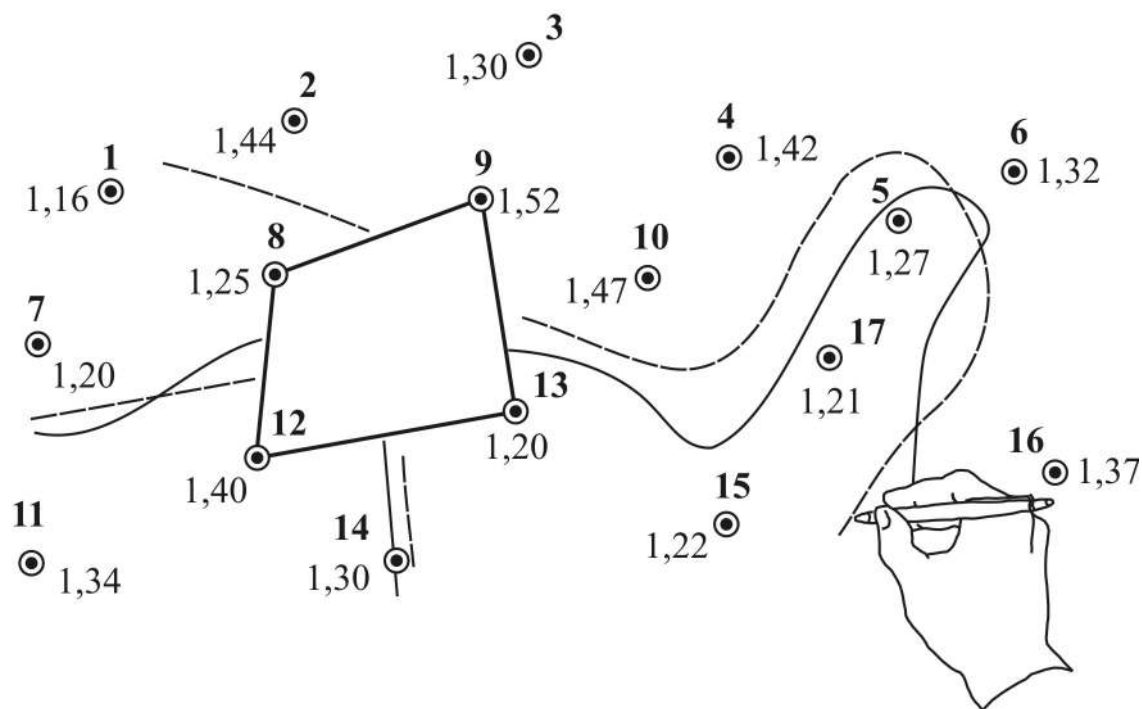


Рис. 2.22. Предварительное построение изолиний

Во-первых, выделяется участок неопределенности (скважины 8, 9, 13 и 12).

Во-вторых, схематически намечается положение изолиний (пунктирная линия на рисунке). Для этого выбирается произвольная пара скважин (например, 15 и 16 на рис. 2.22), между которыми проходит отстраиваемая изолиния (удобнее, если эта пара расположена ближе к границам участка).

Между скважинами выбранной пары устанавливается карандаш и определяется, с какой стороны от него находятся значения признака меньше значения отстраиваемой изолинии (на рис. 2.22 – слева). Далее начинают движение карандаша таким образом, чтобы меньшие значения признака всегда находились от него по ту же сторону, что и в начале движения. Движение карандаша завершается при подходе к участку неопределенности или к границе участка. Затем отыскивается другая пара замеров, между которыми также должна проходить изолиния (например, между скважинами 7 и 11), и действия повторяются.

4. Положение отстраиваемой изолинии уточняется с помощью линейной интерполяции. Обычно она выполняется методом совмещенного разреза по парам замеров, между которыми проходит схематически изображенная изолиния. Рассмотрим порядок выполнения интерполирования указанным способом на примере установления положения изолинии 1,3 м между скважинами № 10 и № 13. Точки производства замеров соединяются между собой (рис. 2.23). Для каждого замера находится разность между значением признака в нем и величиной значения, ожидаемое положение которого отыскивается путем интерполирования (1,3 м в примере). Для скважины 13 эта величина составляет –10 см, для скважины 10 – +17 см. Из скважин опускают перпендикуляры к соединяющей их линии, направленные в разные стороны от нее. На этих перпендикулярах откладывают (в произвольно выбранном масштабе) указанные разности признака и полученные точки соединяют. Пересечение двух построенных прямых дает положение точки *A*, значение признака в которой будет соответствовать искомой изолинии. В целях обеспечения необходимой точности ее графического определения, масштаб выбирается таким образом, чтобы угол α между прямыми превышал 10° . Обычно выбирают масштабы 1:1, 1:10. Для разных пар скважин может приниматься различный масштаб.

Установив ожидаемое положение изолинии между всеми парами скважин, проводят соединяющую их плавную кривую – собственно изолинию (сплошная линия на рис. 2.22). При выполнении интерполяции в контуре между «угольными» и «безугольными» скважинами интерполяция производится между «угольными» скважинами и точками, расположенными на линии выклинивания.

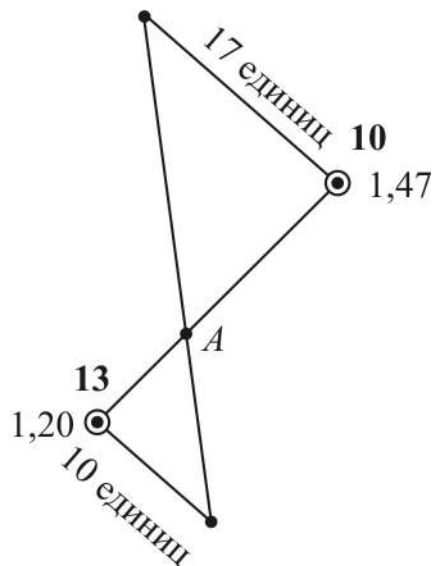


Рис. 2.23. Интерполирование способом совмещенного разреза

5. Разрешается неопределенность в поведении изолиний в пределах участков неопределенности. Наиболее распространенный способ ее разрешения базируется на принципе «ожидания неприятностей». Он состоит в том, что принимается такой характер поведения изолиний, при котором площадь некондиционных запасов максимальна. Например, для условий рис. 2.21, *a* может быть принят один из двух вариантов поведения изолиний (рис. 2.24, *a* и 2.24, *б*).

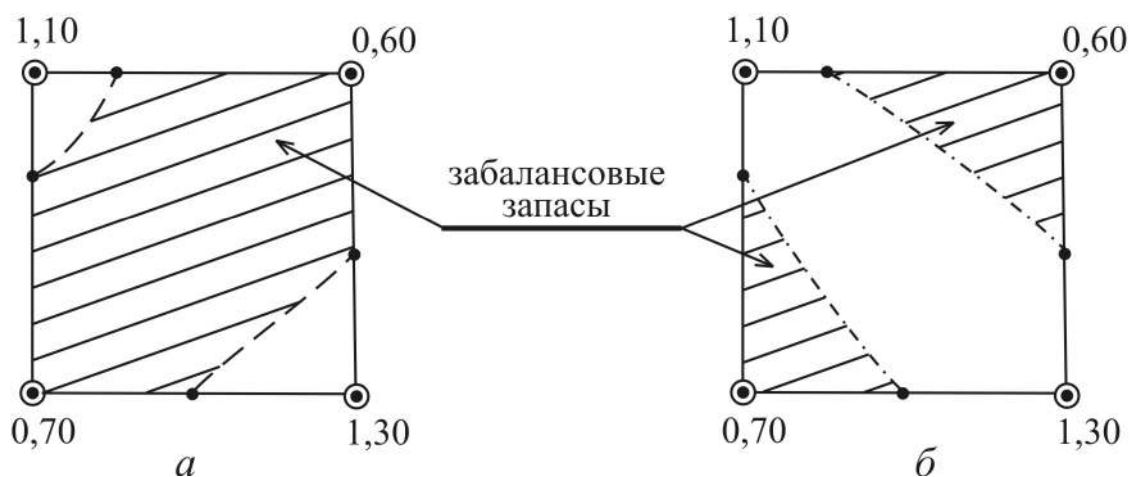


Рис. 2.24. Разрешение неопределенности на основе принципа «ожидания неприятностей»

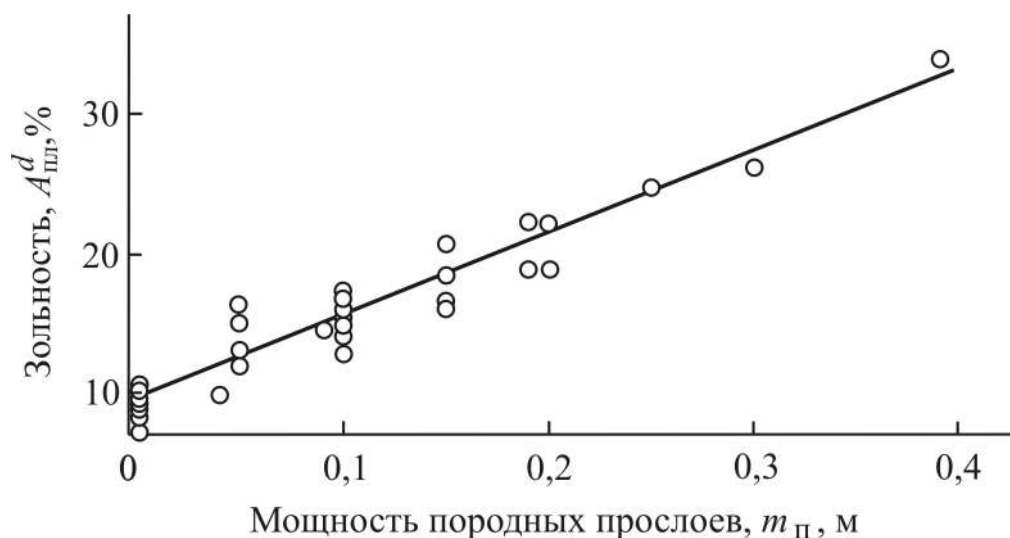
В случае принятия варианта, отображенного на рис. 2.24, *а*, площадь распространения некондиционных запасов будет максимальна. При выборе варианта поведения изолиний может учитываться и ориентация зоны распространения некондиционных запасов. Например, если простирание пласта совпадало бы с направлением замеров 1,10 – 1,30 м, то в пределах контура балансовых запасов (на рис. 2.24, *б*), при прочих условиях, мог бы быть подготовлен выемочный столб. В противном случае (рис. 2.24, *а*), такая возможность отсутствует.

Понятно, что при планировании развития горных работ «цена» ошибки варианта рис. 2.24, *а* значительно выше ошибочных построений по другому варианту, следовательно, он и должен быть принят в качестве окончательного.

Второй, редко применяемый, прием разрешения неопределенности состоит в использовании коррелированных признаков (метод использования поверхности – «лидера»). При его применении стараются отыскать такой признак (будем называть его коррелируемым), который был бы статистически связан с изучаемым (например, пластовая зольность пластов сложного строения, как правило, хорошо коррелирует с суммарной мощностью породных прослоев). Основная идея приема состоит в том, что если между измеренными в одних и тех же точках двумя признаками существует тесная зависимость (коэффициент корреляции более 0,6), то и их топографические поверхности должны быть подобны. Это подобие может использоваться для разрешения выявленной неопределенности, но только в случае, если в пределах рассматриваемого участка неопределенности коррелируемая поверхность (поверхность – лидер) имеет однозначное поведение. Например, при построении изолинии зольности 25 % пласта 19 в пределах шахты «Костромовская» был выделен участок неопределенности.

По результатам статистических исследований (рис. 2.25) было установлено, что между пластовой зольностью ($A_{пл}^d$) и мощностью породных прослоев ($m_{п}$) пласта существует тесная корреляционная связь (коэффициент корреляции – 0,95) вида:

$$A_{пл}^d = 9,6 + 59,6m_{п} . \quad (2.8)$$



2.25. Зависимость между пластовой зольностью и мощностью породных прослоев для пласта 19

Исходя из вида зависимости, в среднем, зольность 25 % имеет место при мощности породных прослоев 0,26 м. Отстроив изолинию мощности породных прослоев, устанавливаем, что ее поведение имеет однозначный характер и, следовательно, в качестве наивероятнейшего направления изолиний зольности необходимо принять такое, которое соответствовало бы направлению изолинии мощности прослоев 0,26 м.

Третий используемый прием разрешения неопределенности основывается на декомпозиции признаков. Он применяется при геометризации нормальных мощностей и показателей качества пластов сложного строения. Применение метода разберем на простом примере. Допустим, при геометризации мощности пласта сложного строения выявлен участок неопределенности.

В этом случае в его пределах отстраиваются изолинии мощностей каждой пачки (или суммы мощностей угольных пачек), каждого породного прослоя (или суммы мощностей прослоев). Если неоднозначность в построении этих изолиний отсутствует, то искомую поверхность изомощностей получают как сумму отстроенных поверхностей.

И, наконец, последний четвертый прием основан на симметричности геопоя, на существование которой, по устному заявлению проф. В. А. Букринского, указывал еще П. К. Соболевский.

Разрешение неопределенности производится в этом случае, исходя из проведения специально отстраиваемых соседних изолиний. Если в их поведении не наблюдается неопределенности, то разумно предположить, что и искомая изолиния будет занимать субпараллельное им положение. Разумеется, применение этого приема допустимо лишь в случае высокой выдержанности положений изолиний.

После разрешения неопределенности в поведении изолинии, производится уточнение ее положения с помощью интерполяции. Пусть по итогам разрешения неопределенности на участке, показанном на рис. 2.24, принят первый вариант (рис. 2.24, а). По этому варианту отстраиваемая поверхность в пределах участка неопределенности имеет вогнутую форму, схематически представленную в аксонометрической проекции на рис. 2.26, б. В соответствии с этим в качестве направления, по которому допускается интерполяция, рассматривается только направление между скважинами B и D . Это направление прочерчивается на плане и на середине его показывается точка E , величина признака в которой, при использовании линейной интерполяции, будет равна полусумме его значений в скважинах B и D (0,65 в рассматриваемом примере). Далее выполняется интерполяция вдоль направлений $E - A$ и $E - C$ и находятся точки, значения признака в которых равно искомому. Через них и через аналогичные точки, полученные из интерполирования вдоль направлений сторон четырехугольника контура неоднозначности, проводятся плавные кривые – искомые изолинии.

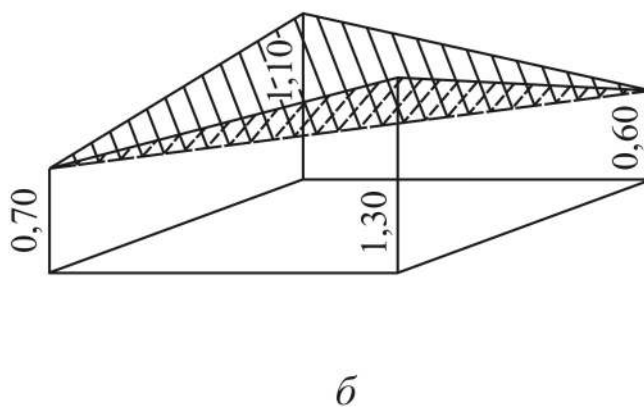
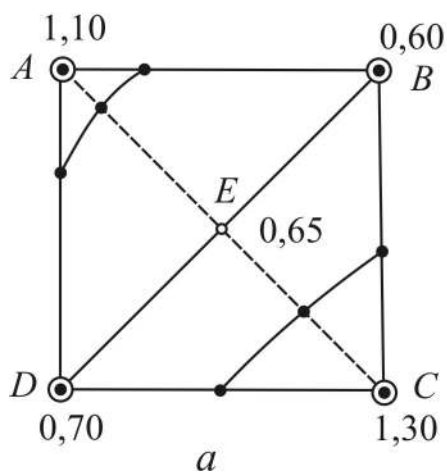


Рис. 2.26. Построение изолиний в пределах участка неопределенности

На практике нередко возникают ситуации, когда доля площадей участков неопределенности достигает значительных величин (до 30 %). Отсюда следует, что имеющая неформальный характер задача наиболее объективного разрешения возникающих неопределенностей в поведении изолиний является весьма значимой. Особо следует подчеркнуть, что существующие программные продукты, обеспечивающие построение изолиний, не в состоянии разрешать возможную неоднозначность построений в пакетном режиме и просто игнорируют возникающие проблемы. Поэтому графические построения с использованием компьютерных технологий в обязательном порядке должны проверяться автором подсчета для исключения ошибок неоднозначности.

При построении изолинии такого параметра, как пластометрический показатель y , который используется для определения марочного состава угля, часто возникают существенные затруднения в определении ее положения из-за целочисленного характера значений y . При возникновении трудностей рекомендуется использовать следующий простой прием. Если, например, не удастся выполнить построение изолинии $y = 10$ мм, то отстраиваются две формально некорректные по величине дополнительные изолинии – 9,5 и 10,5 мм. После этого искомая изолиния отстраивается путем ее расположения на середине между дополнительными, которые впоследствии удаляются с плана.

Рассмотренные методы построения изолиний основаны на предположении о том, что существующая сеть скважин имеет густоту, обеспечивающую правомерность интерполирования между ними.

Однако такая плотность сети достигается далеко не во всех случаях, а сам факт достижения такой плотности является одним из признаков, по которым осуществляется классификация запасов по степени их достоверности. Вместе с тем проведение изолиний – границ кондиций должно выполняться даже в ситуации отсутствия правомерности интерполяции. Как правило, подобные границы устанавливаются также на основе интерполяции, что в целом некорректно. В условиях отсутствия правомерности интерполяции можно говорить лишь о вероятном нахождении такой границы где-то в пределах интервала между скважинами.

Наиболее корректным методом построения такой границы является описанный выше метод «из середины». Отметим, что построение изолиний – границ в условиях отсутствия правомерности интерполяции (как методом «из середины», так и интерполяции) предполагает необходимость решительного сглаживания отстраиваемых линий для исключения всякого рода деталей, реальное существование которых весьма сомнительно.

Следует заметить, что в настоящее время разработано достаточно много различных алгоритмов компьютерного построения изолиний признаков. Их практическое применение, безусловно, обеспечивает существенное сокращение трудозатрат на выполнение всех видов построений и полностью исключает возможность ошибок расчетных процедур. При этом, однако, следует иметь в виду, что построение изолиний не является сугубо математической задачей, а относится к классу горно-геометрических и геологических задач, решение которых предусматривает максимально возможное использование косвенных признаков, вскрытых геологических закономерностей поведения угольного пласта в пространстве недр. Необходимо помнить, что экономический эффект, достигаемый на стадии подсчета запасов за счет компьютерных алгоритмов построений изолиний, не идет ни в какое сравнение с тем ущербом, который может иметь место на стадии разработки месторождения в связи с наличием ошибок таких построений. В связи с этим результаты компьютерного построения изолиний, выполнение которых следует приветствовать, подлежат обязательному глубокому анализу и, при необходимости, корректировке.

3. МЕТОД И СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ УГЛЯ

3.1. Метод геологических блоков

В практике подсчета запасов всех видов твердых полезных ископаемых используется единственный метод подсчета запасов, именуемый методом геологических блоков.

Его сущность состоит в разделении всего контура подсчета на систему однородных по группе параметров участков, именуемых геологическими подсчетными блоками. При этом количество запасов в пределах каждого блока может определяться с помощью различных способов. В практике разведки угольных месторождений наиболее распространены два традиционных способа: среднего арифметического и вертикальных разрезов.

Сущность способа среднего арифметического состоит в том, что сложное тело полезного ископаемого, ограниченное в пределах рассматриваемого геологического блока снизу и сверху геометрически неправильными поверхностями топографического порядка, трансформируется в равновеликую по объему «пластину», площадь которой равна площади подсчетного контура пласта, угол наклона – среднему углу падения пласта, а толщина соответствует средней нормальной мощности пласта.

Способ вертикальных разрезов применяется для условий сложнодислоцированных месторождений. При его реализации объем полезного ископаемого определяется между двумя геологическими разрезами. Для этого по каждому из разрезов предварительно определяется количество угля, находящееся в пределах вертикально расположенной пластины, имеющей площадь, равную сечению пласта в плоскости разреза, и толщину 1 м.

Несколько упрощенно: объем угля, заключенный в пределах между разрезами, определяется путем перемножения среднего ожидаемого значения этих запасов между разрезами на среднее расстояние между ними.

Отметим, что в случае, если подсчет запасов в пределах геологического блока может быть выполнен обоими указанными способами подсчета, предпочтение отдается способу среднего арифметического.

Не возбраняется и использование иных, нетрадиционных способов подсчета (например, кригинга, блуждающего окна в сочетании с методом объемной палетки и другими).

Однако результаты подсчета запасов нетрадиционными способами должны обязательно сравниваться с результатами применения традиционных. Такое сравнение выполняется в пределах участков, характеризующихся наибольшей сложностью определения подсчетных параметров (с неравномерной сетью разведочных пересечений, наличием локальных аномалий параметров и т. д.). При наличии на месторождении отработанных участков сравнение методов подсчета запасов должно быть обязательно произведено и по представительной части отработанного контура при условии доказанной их аналогии в геологоструктурном строении. Многочисленными исследованиями отечественных и иностранных ученых установлено, что для условий угольных месторождений методы кригинга не только не имеют каких-либо преимуществ перед указанными традиционными, но, в ряде случаев, приводят к некорректным результатам.

Возвращаясь к предмету рассмотрения, следует отметить, что главное требование, предъявляемое к выделяемому подсчетному блоку, состоит в достижении его однородности по группе параметров. Поэтому блоки должны обязательно характеризоваться:

- близкой степенью разведанности и изученности параметров, определяющих количество и качество угля;
- однородностью геологического строения, незначительной (не влияющей на технологию и эффективность горных работ) изменчивостью мощности, внутреннего строения пластов, их состава и состояния, основных показателей качества и технологических свойств угля;
- выдержанностью элементов залегания пластов, приуроченностью блока к единому структурному элементу (крылу, замковой части складки, тектоническому блоку);
- выдержанностью горно-геологических условий ведения горных работ;
- общностью горнотехнических условий разработки и промышленной значимости.

Главным условием правильности выполнения подсчета запасов методом геологических блоков является корректное выделение их границ.

Построение границ блоков осуществляется путем последовательного разделения подсчетного контура на однородные по приведенным характеристикам участки.

На первом этапе работы осуществляется выделение близких по степени разведанности участков пласта. Характерная ошибка, которая допускается при подсчете запасов, состоит в том, что во многих случаях вначале осуществляется выделение блоков, а лишь затем – их категоризация. Тем самым нарушается корректность блокировки запасов, предполагающая выделение блоков в пределах контуров близкой степени разведанности и изученности параметров.

Введение в действующую классификацию запасов нового требования по обязательному применению при категоризации запасов количественных и вероятностных оценок точности и достоверности определения основных подсчетных параметров существенно упрощает решение задачи блокировки.

В этих целях целесообразно предварительно производить построение картограммы достоверности запасов пласта. На такой картограмме, которую допустимо выполнять несколько схематично в мелком масштабе, должны указываться полученные по результатам количественной и экспертной оценки предварительные границы контуров различных категорий запасов.

На втором этапе, в пределах равнодостоверных контуров пласт последовательно разделяется на более мелкие участки границами, которые исполняют роль обязательных границ блоков.

К ним относятся:

- линии расщепления пласта;
- изолинии признаков – параметров кондиций (т. е. границы различной балансовой принадлежности запасов);
- границы смены марочного состава;
- оси крупных пликтивных складок;
- линии обреза пласта крупными дизъюнктивными нарушениями;
- границы утвержденных предохранительных целиков;

– границы зон распространения негодных и окисленных углей (с выделением для участков, на которых предполагается ведение открытых горных работ, границ распространения углей I и II групп окисления, если их совместный подсчет не предусмотрен утвержденными в установленном порядке параметрами кондиций);

– технические границы добывающих предприятий (на основе которых осуществляется разделение запасов участка на запасы, расположенные в технических границах ведения горных работ, и расположенные вне технических границ, т. е. между лицензионными и техническими границами).

Дополнительное продолжение «дробления» участков на блоки может осуществляться путем принятия в качестве границ рабочих горизонтов будущих предприятий (в случае, если они уже определены, например, при подсчете запасов участков – «прирезок» к действующим шахтам) и участков, отработка которых предполагается по различным технологическим схемам (например, открытыми и подземными работами, длинностолбовыми и короткозабойными технологиями и т. д.).

После завершения второго этапа предварительные границы участков равной достоверности могут корректироваться путем некоторого понижения предполагаемой достоверности запасов. Такое перемещение необходимо для исключения появления блоков сложной формы и незначительных размеров, самостоятельное выделение которых не имеет практического значения. Например, при выявлении в контуре запасов категории В незначительного по площади фрагмента, действительно отвечающего по изученности требованиям категории А, повышенная степень его разведанности никак не может быть учтена в процессе проектирования горного предприятия и поэтому является бессмысленной.

На третьем этапе блокировки производится дальнейшее «дробление» блоков, при выполнении которого руководствуются требованиями к размерам блока, особыми условиями категоризации запасов и спецификой применения принятых способов подсчета. При этом в качестве границ блоков дополнительно используются линии, соединяющие точки плаstopодсечений.

Максимальный размер блока лимитируется количеством его запасов. Согласно пункту 71 «Методических рекомендаций...» [4] максимальный размер запасов в блоке не должен превышать проектную годовую производственную мощность шахты или разреза.

В большинстве случаев проектная мощность предприятия оговорена в условиях лицензии на право пользования недрами и затем уточняется в ТЭО постоянных разведочных кондиций, предшествующих подсчету запасов.

В дальнейшем большинство недропользователей выполняют различного рода предпроектные проработки, уточняющие экономическую целесообразность отработки отдельных участков месторождения тем или иным способом с определением наиболее рационального объема добычи. Но все эти проработки должны базироваться на блокировке, ранее прошедшей государственную экспертизу при утверждении запасов, и предполагать в дальнейшем проверку и подтверждение целесообразности «оперативного изменения состояния запасов».

При отсутствии данных об ожидаемом годовом уровне добычи вполне корректно использовать известную формулу Тейлора, связывающую объем балансовых запасов предприятия (БЗ, т) с рациональным сроком его эксплуатации (Т, лет):

$$T = 0,2\sqrt[4]{БЗ}. \quad (3.1)$$

Установив предполагаемый срок освоения участка и разделив на него ожидаемый объем промышленных запасов (ПЗ), можно оценить ориентировочную мощность предприятия и принять ее в качестве предельного объема запасов подсчетного блока.

Объем промышленных запасов, с достаточной для целей рассматриваемой оценки точностью, может быть определен путем умножения балансовых запасов в границах предприятия на поправочный коэффициент. Величину этого коэффициента для условий подземной добычи угля можно рекомендовать равной 0,7 для месторождений 1-й, 0,6 – для 2-й и 0,5 – для 3-й группы сложности. При условии ведения открытых горных работ этот коэффициент можно принимать равным 0,85.

Например, при объеме балансовых запасов 100 млн т рациональный срок службы предприятия составит 20 лет, а годовая мощность (при условии ведения подземных работ на месторождении 2-й группы сложности) – 3 млн т. Именно 3 млн т и будут являться, в этом случае, предельным объемом подсчетного блока.

Минимальные размеры блока не лимитируются. Ранее существовавшими рекомендациями предусматривались ограничения на величину минимальной длины стороны блока (50 мм в масштабе подсчетного плана). Введение данного ограничения было напрямую связано с технологией определения площадей блоков с помощью планиметра и преследовало цель обеспечения необходимой относительной точности измерений. В настоящее время, когда определение площадей преимущественно осуществляется аналитическими методами (например, с использованием возможностей системы AutoCAD), данное требование утратило свое значение.

По существующим правилам при подсчете запасов угля площадь подсчетного блока округляется до целого значения тысяч квадратных метров. Соответственно минимальный размер подсчетного блока должен быть заметно больше 1 тыс. м². Поэтому наличие значительного количества блоков площадью от 0,5 до 5,0 тыс. м² может приводить к существенной ошибке в количестве запасов угля, вызванной влиянием процедур округления.

В любом случае, при выделении подсчетных блоков в пределах участков, однородных по перечисленным выше параметрам, не следует стремиться к формированию чрезмерно малых по размерам блоков.

Как уже отмечалось, определенные дополнительные требования к блокам предъявляются и при их отнесении к различным категориям запасов.

В качестве границы блоков категории А не могут использоваться изолинии кондиций мощности пласта и показателей качества угля. Запасы в мелких изолированных, а также остроугольных блоках по категории А не оцениваются. Непосредственно под наносами запасы категории А допускается выделять только при надежно установленном положении выхода пласта, а также границ зоны окисления углей.

Для разрабатываемых выдержанных пластов на месторождениях с крутым залеганием толщи при условии выдержанности геологического строения и качества угля допускается экстраполяция запасов категории А по падению от фронта горных работ на глубину, соответствующую одному эксплуатационному горизонту. При ненарушенном залегании выдержанных пластов допускается совмещение границ подсчетных блоков с изогипсами пласта или эксплуатационными горизонтами.

Контур подсчета запасов категории В по выдержанным и относительно выдержанным пластам допускается несколько расширить в пределах ограниченной зоны экстраполяции, обоснованной в каждом конкретном случае геологическими критериями и данными геофизических исследований. Размер этой зоны нормативно не лимитируется, однако на практике максимальную ее величину можно принимать равной одной трети расстояния между разведочными линиями внутри блока. В направлении зон тектонических нарушений, расщепления и выклинивания пластов, ухудшения качества углей и горно-геологических условий ведения горных работ экстраполяция не допускается.

В пределах выделенных блоков категорий А и В оценивается выдержанность мощности и зольности пласта. Для этого рассчитывается стандарт σ в блоке по ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}. \quad (3.2)$$

где P_i – значение признака (мощность, зольность) в точке замера; $\bar{P}$ – среднеарифметическое значение признака в контуре подсчетного блока, определенное по результатам n измерений.

При расчетах σ необходимо использовать результаты всех замеров, признанных достоверными с точки зрения надежности выполненных измерений. К ним следует отнести не только все замеры, принятые для расчета подсчетных параметров по блоку, но и замеры, не учтенные при подсчете запасов в связи с их расположением в зонах локальных аномалий.

В связи с этим используемые в формулах средние величины признаков могут отличаться от впоследствии принятых для подсчета запасов.

В случае, если подсчетный блок расположен в пределах контура запасов категории А, значения каждого достоверного результата измерений должны отвечать условию

$$\bar{P} - 2\sigma \leq P_i \leq \bar{P} + 2\sigma, \quad (3.3)$$

а если в пределах контура запасов категории В, то условию

$$\bar{P} - 3\sigma \leq P_i \leq \bar{P} + 3\sigma. \quad (3.4)$$

Необходимость оценки выполнения неравенств (3.3) и (3.4), осуществляемой при выделении блоков категорий А и В, вытекает из требований, сформулированных в «Методических рекомендациях...» [4], введенных в действие с января 2008 года (ранее эти требования отсутствовали).

Поскольку к официально определяемым относятся только запасы чистых угольных пачек, то к оцениваемым по условиям (3.3) и (3.4) признакам должны относиться только мощности и зольность этих пачек.

В некоторых случаях для выдержанных по мощности пластов и при невысоких колебаниях зольности чистых угольных пачек рассматриваемые неравенства могут не выполняться, несмотря на явное постоянство этих параметров. Данное обстоятельство является следствием математического содержания используемых вычислительных процедур и никак не связано со смысловым характером предъявляемых требований.

Для его учета целесообразно оговорить особое правило определения минимально возможного значения стандарта σ . Если по формуле (3.2) его величина будет меньше технической погрешности определения параметра в скважинах, то в качестве величины σ следует принимать величину этой погрешности.

Величина погрешности может быть установлена по результатам сопоставления материалов горных и геологоразведочных работ. При отсутствии таких данных могут использоваться средние бассейновые значения.

Для Кузбасса эти погрешности составляют: для зольности чистых угольных пачек $\pm 2\%$, для их мощности ± 15 см. Если по выделенным блокам условие (3.3) или (3.4) не выполняется, то следует попытаться изменить контуры блока с тем, чтобы добиться выполнения требований этих условий. Если этого не удастся достичь, то необходимо снизить категорию запасов блока.

Отдельные дополнительные требования к подсчетным блокам возникают и при использовании того или иного способа подсчета запасов, сущность которых будет рассмотрена ниже.

3.2. Отображение положения границ подсчетных блоков на планах и вертикальных проекциях

Выделенные границы подсчетных блоков отображаются на подсчетных планах и на вертикальных проекциях условными знаками (рис. 3.1).

Каждому подсчетному блоку присваивается номер. В Кузбассе сложились определенные правила их нумерации. Блоки марочных углей нумеруются арабскими цифрами, окисленных углей – буквами русского алфавита. Нумерация блоков осуществляется в пределах пласта, т. е. на разных пластах могут встречаться блоки с одними и теми же номерами. Номер блока заключается в рамку, имеющую вид окружности. Для подсчетных блоков балансовых запасов используется одинарная рамка – окружность (например, блок 5 на рис. 3.1), для забалансовых – двойная (например, блок 7 на рис. 3.1).

Слева от номера блока указывается категория запасов, а справа – указывается средний угол падения пласта в нем.

Под номером блока в форме таблицы приводятся подсчетные значения мощности пласта, чистых угольных пачек и их зольности, определенные в ходе подсчета запасов.

Порядок расположения данных в таблице соответствует ранее описанному для отдельных пластоподсечений.

В случае подсчета запасов в блоке методом вертикальных разрезов данные об угле падения и мощностях могут иметь несколько условный характер или вообще не указываться.

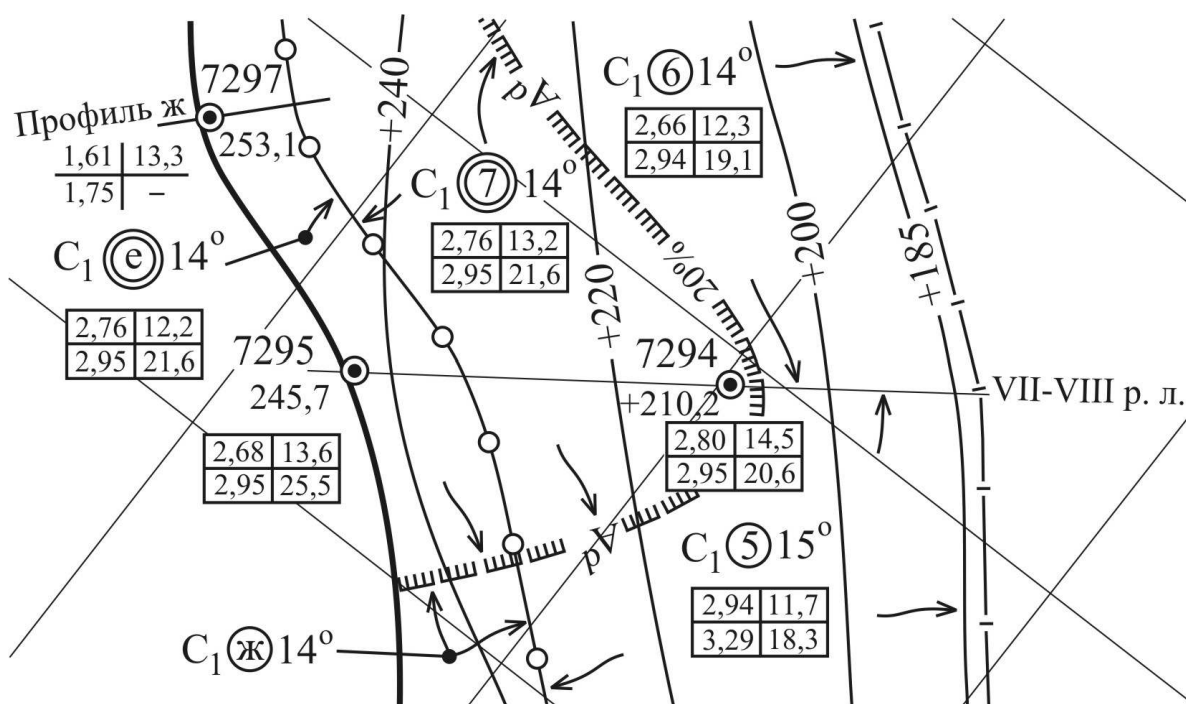


Рис. 3.1. Обозначения границ подсчетных блоков

Границы блоков показываются линиями точек (например, между подсечениями по скважинам 7293 и 7284 на рис. 3.2, б). Однако в случае, если эти границы совпадают с какими-либо уже указанными границами и линиями (горизонтами, разведочными линиями, изолиниями кондиционных параметров и т. п.), точечные линии не проводятся.

Для того чтобы однозначно указать на то, что эти границы и линии одновременно являются и границами подсчетных блоков, показываются стрелки, направленные к ним от мест размещения вышеуказанных характеристик блока. Стрелки отображаются фрагментарно и обычно имеют криволинейную форму с тем, чтобы не спутать их с какими-либо иными условными знаками (рис. 3.1 и 3.2, б).

При использовании способа среднего арифметического, при подсчете запасов мощных пластов пологого и наклонного залегания в зоне, примыкающей к границе окисления, возникает необходимость выделения специальных вытянутых блоков.

Это связано с тем, что положение границы зоны окисления на плане отображается в качестве линии пересечения этой границы с почвой пласта (точки А на разрезе и на плане на рис. 3.2).

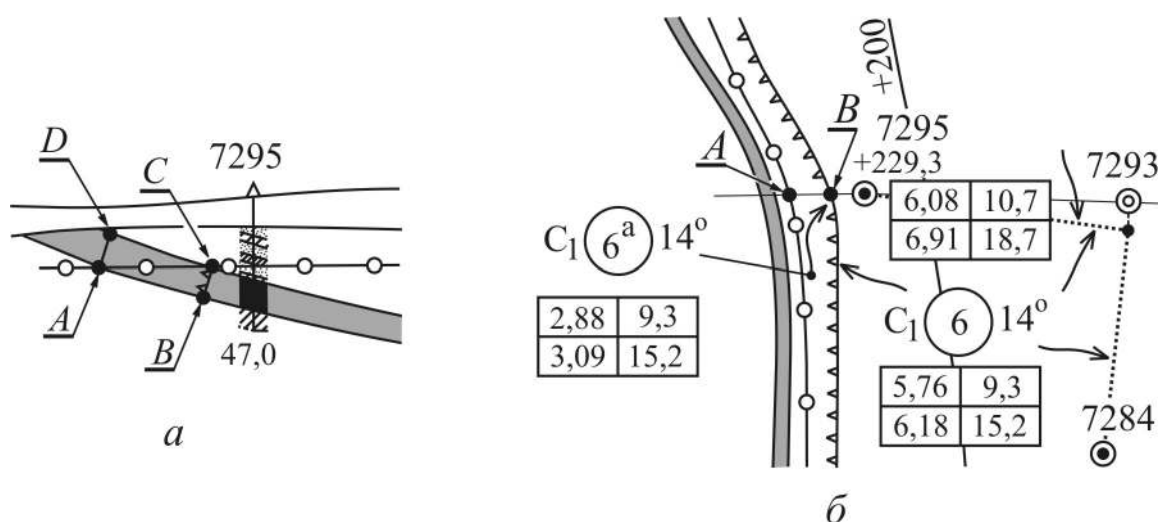


Рис. 3.2. Выделение дополнительных «переходных» блоков в районе границы зоны окисления

Если вести последующие расчеты именно с использованием этой границы, то часть окисленных углей (в сечении треугольника ADC на рис. 3.2, *a*) будет ошибочно отнесена к марочным. Поэтому в данном случае выделяются своеобразные «переходные» блоки, имеющие в сечении форму треугольника.

Номера переходных блоков обычно совпадают с номерами основных блоков с добавлением к ним буквенного индекса или «штриха». Верхней границей таких блоков является граница зоны окисления, проведенная через точки типа A , а нижней – проекция линии пересечения границы зоны окисления с кровлей пласта, проведенная через точки типа B (рис. 3.2). Положение нижней границы показывается на плане условным знаком, представляющим собой линию с треугольными зубцами, направленными в сторону зоны окисления (рис. 3.2, *б*). Этим же условным знаком на разрезах показываются нормали CB (рис. 3.2, *a*).

Для учета треугольного вида сечения такого «переходного» блока в разрезе мощность пласта в его пределах уменьшается в два раза в сравнении с фактической (блоки 6^a и 6 на рис. 3.2, *б*). На рис. 3.2 видно, что в пределах выделенного «переходного» блока марочных углей 6^a существует и аналогичный ему по форме «переходный» блок окисленных углей.

Формально выделение «переходных» блоков необходимо осуществлять при любой мощности пласта. Однако с практической точки зрения их выделение имеет смысл осуществлять в случае одновременного выполнения двух условий:

- средняя площадь треугольников ABC на разрезах должна превышать 100 м^2 ;
- расстояние между точками B и A на плане более $0,5 \text{ см}$ в масштабе плана.

Альтернативой описанному варианту выделения границ является способ «средней линии». Он состоит в том, что контур подсчетного блока в районе рассматриваемой границы проводится не по почве пласта или кровле пласта, а по середине расстояния между ними (для рис. 3.2 такая линия проводится через середины расстояний между точками A и B). В этом случае «переходных» блоков просто не образуется. При использовании этого способа на подсчетном блоке, помимо положения границы окисления, линией точек показывается граница блока, соответствующая положению «средней» линии.

В целом процесс выделения подсчетных блоков относится к разряду творческих задач, опыт решения которых формируется в ходе практической деятельности и «отшлифовывается» в процессе учета замечаний государственной геологической экспертизы.

3.3. Определение площадей подсчетных блоков и средних углов падения пласта в них

Практически все способы подсчета запасов подразумевают необходимость определения площадей проекций различных контуров.

В настоящее время подготовка графических материалов для подсчета запасов осуществляется преимущественно с использованием средств вычислительной техники (в Кузбассе наиболее популярной является система AutoCAD и производные от нее системы, например «САМАРА»). Эти средства имеют в своем составе специальные «инструменты», обеспечивающие вычисление площадей контуров проекций по известным формулам аналитической геометрии. Использование подобных «инструментов» обеспечивает высокое качество измерений и является, безусловно, предпочтительным.

Однако специалист не может быть «заложником» программных продуктов и должен уметь, при необходимости, обходиться и без них. При наличии подсчетных планов, представленных только в графической форме, и в условиях отсутствия целесообразности выполнения трудоемких работ по их оцифровке, для определения площадей используются планиметры. Продолжающийся выпуск этих приборов и постоянное их совершенствование ведущими мировыми производителями (например японскими «Тамауа Technics» и «Plancom») свидетельствует о том, что их практическое применение по-прежнему остается актуальным.

При измерении площади планиметром осуществляется, как минимум, двукратный обвод измеряемого контура. Разность получаемых при этом значений определяется технической погрешностью измерений.

Для механических полярных планиметров эта точность оценивается в 0,3 %, для электронных – от 0,2 % (полярные планиметры) до 0,1 % (роликовые). При этом надо иметь в виду, что в соответствии с пунктом 6.10 ОСТ 68-16-02 Федеральной службы геодезии и картографии России паспортная погрешность измерения площадей планиметрами определяется на основе шести обводов достаточно значимой площади – 100 см². По этому показателю, а следовательно, по точности, планиметры делятся на три группы: с погрешностью $\pm 0,2$; 0,5 и 1,0 %.

Многочисленными исследованиями установлено, что указанные параметры точности могут распространяться только на площади, не превышающие 10 см². Кроме того, планиметрирование существенно вытянутых площадей и остроугольных контуров сопровождается наиболее значительными погрешностями.

Для практических целей можно использовать рекомендации, изложенные в ОСТ 56-109-99 Федеральной службы лесного хозяйства России, в соответствии с пунктом 5.3.1.3 которого точность определения площадей контура зависит от величины измеряемой площади (табл. 3.1).

По пункту 5.3.1.3 указанного ОСТа при определении площади контура путем его разделения на простейшие геометрические фигуры (треугольники, прямоугольники и трапеции) т. н. геометрическим способом обеспечивается несколько иная точность измерений (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Нормы точности измерения площадей
с помощью планиметра по ОСТ 56-109-99

Площадь участка, см ²	до 1,0	1,1–5,0	5,1–10,0	свыше 10,1
Норма точности, %	±4,0	±2,5	±2,0	±1,5

Таблица 3.2

Нормы точности измерения площадей
геометрическим способом по ОСТ 56-109-99

Площадь участка, см ²	до 1,0	1,1–2,0	свыше 2,1
Норма точности, %	±2,5	±2,5	±1,5

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что измерение контуров площадью до 5 см² следует осуществлять геометрическим способом, остальных – с помощью планиметра. Геометрическим способом следует измерять и площади фигур вытянутой формы (обычно при соотношении протяженности контура к его ширине более чем 1:4).

Как правило, к вытянутым контурам относятся зоны распространения окисленных углей (особенно в пределах ранее упомянутых «переходных» блоков).

Геометрическим способом также измеряются площади сечения угольных пластов на геологических разрезах в пределах участков моноклиналильного их залегания и в пределах замковых частей складок при отсутствии явного роста мощностей в них (используемые при подсчете запасов способом вертикальных разрезов). Поскольку мощность большинства пластов не может быть точно отображена на геологических разрезах масштабов 1:1000 и 1:2000, площадь сечения определяется путем перемножения протяженности участка пласта вдоль него на среднюю нормальную мощность, установленную по разведочным пластопопечениям, характеризующим рассматриваемый контур. Площади сечений мощных пластов сложной морфологии определяются, в зависимости от их величин, геометрическим способом (с разделением на правильные фигуры) либо планиметрированием.

При производстве измерений площадей планиметром в качестве предельных допустимых расхождений результатов двух измерений контура можно, с учетом требований ОСТ 56-109-99, при уровне вероятности 0,67, принять величину 3 % для контуров площадью от 5 до 10 см² и 2 % для остальных.

С практической точки зрения, учитывая точность картирования линий – границ подсчетных блоков, применение специальных высокоточных приемов планиметрирования (например, способ А. Н. Савича) представляется нецелесообразным.

Измеренные на планах и вертикальных проекциях площади контуров подсчета S (при подсчете запасов способом среднего арифметического) переводятся в их истинные значения $S_{\text{и}}$ с использованием средних углов падения δ пласта в их пределах:

– при выполнении измерений на горизонтальной проекции

$$S_{\text{и}} = \frac{S}{\cos \delta} = S \sec \delta; \quad (3.5)$$

– при выполнении измерений на вертикальной проекции

$$S_{\text{и}} = \frac{S}{\sin \delta} = S \operatorname{cosec} \delta. \quad (3.6)$$

В отдельных случаях при вычислении «истинных» площадей пластов между изогипсами брахиморфных складок может использоваться способ В. И. Баумана, предложенный еще в 1908 году. В отличие от подходов, реализуемых формулами (3.5) и (3.6), его применение не накладывает условия постоянства угла падения пласта в пределах измеряемого контура.

При его реализации площадь S , заключенная между изогипсами (рис. 3.3), определяется ранее описанными способами. Затем на плане проводится ряд прямых линий, ориентированных по падению пласта (линии AB , FD и т. д.). Расстояние между соседними изогипсами делится пополам, в результате чего определяется положение «срединных» точек (C , K и т. д.), через которые проводится «срединная» изогипса (пунктирная линия на рис. 3.3) и измеряется ее длина L .

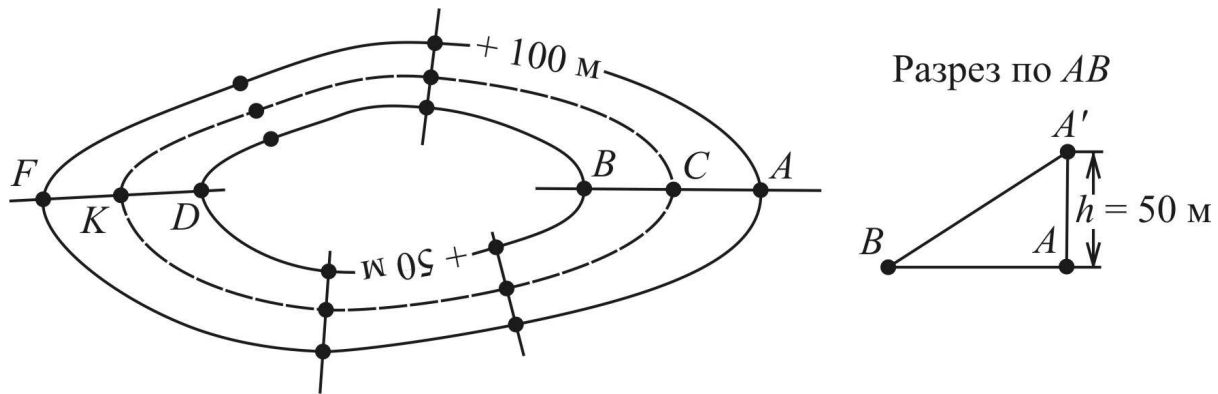


Рис. 3.3. Определение «истинной» площади пласта способом В. И. Баумана

На основании теоремы Пифагора и методологии интегрирования (рис. 3.3) следует, что истинная площадь поверхности может быть определена по формуле

$$S_{\text{и}} = \sqrt{S^2 + (hL)^2} \quad , \quad (3.7)$$

где S – площадь между изогипсами; h – сечение изогипс.

Несложно заметить, что правомерность применения формулы (3.7) достигается только в условиях рационального сечения изогипс.

Применение метода В. И. Баумана допустимо и при определении «истинных» площадей между фрагментами изогипс.

Порядок построений и расчетов в этом случае аналогичен описанному выше и иллюстрируется рис. 3.4.

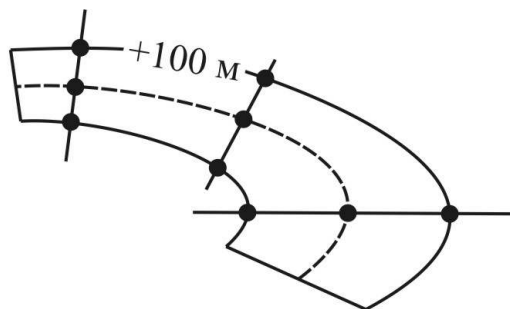


Рис. 3.4. Определение «истинной» площади пласта между фрагментами изогипс способом В. И. Баумана

С помощью рассматриваемого способа можно осуществить определение «истинной» площади и в пределах замковых частей брахиморфных складок.

Пусть, например, требуется определить истинную площадь пласта в пределах контура изогипсы $+50$ м (рис. 3.5). Для этого на оси складки определяется положение точки A , имеющей минимальную высотную отметку (в случае антиклинальной складки – максимальную отметку). Положение этой точки устанавливается путем построения вспомогательного разреза по направлению оси складки (рис. 3.5). При построении используются данные о положении двух-трех изогипс пласта. В случае если ось имеет сложный криволинейный характер, такой разрез строится не путем проектирования (как на рис. 3.5), а в форме «развертки». Установленное на разрезе положение точки A переносится на план. На разрезе графически определяется ожидаемая высотная отметка точки A . В примере точка A расположена на 15 м ниже изогипсы $+50$ м, имеет отметку $+35$ м.

Далее, через середины нескольких отрезков (точки C , K), проведенных из точки A до пересечения с горизонтом $+50$ м, проводится «среди́нная» изогипса и измеряется ее длина L . Измеряется площадь S проекции контура, заключенного в пределах изогипсы $+50$ м.

«Истинная» площадь контура определяется по формуле (3.7), но величина h при этом полагается равной разности отметки точки A и горизонта, т. е. 15 м.

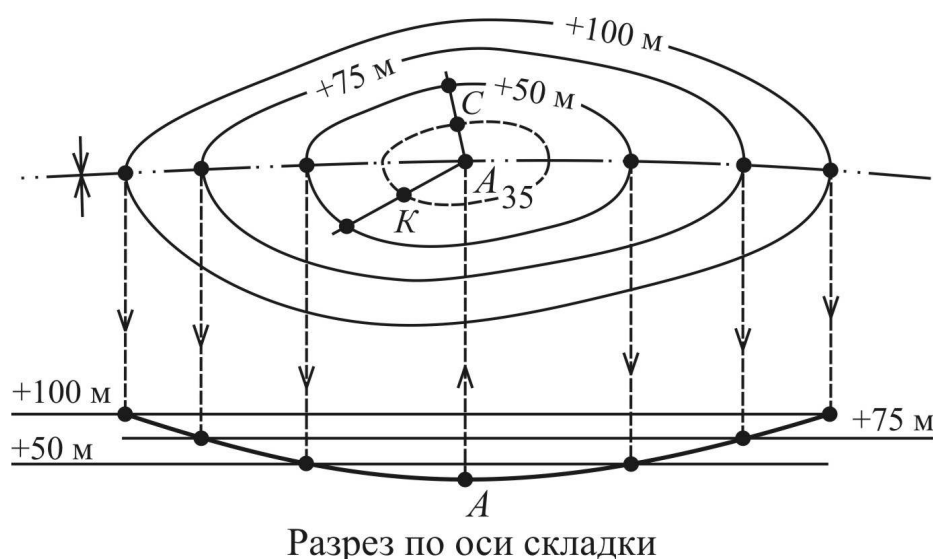


Рис. 3.5. Определение «истинной» площади в пределах замковой части брахиморфной складки способом В. И. Баумана

Необходимо заметить, что не следует «увлекаться» применением приведенного способа определения «истинной» площади, т. к. он, в условиях приближенности положений изогипс, во многих случаях создает лишь иллюзию высокой точности вычислений. Поэтому описанный способ определения площадей замковых частей брахиморфных складок целесообразно использовать только при высокой точности горно-геометрических построений, соответствующих требованиям категории А.

Следует еще раз напомнить, что в современных условиях измерение площадей планиметром или геометрическим способом следует производить только при отсутствии возможности использования аналитического способа, реализуемого с помощью средств вычислительной техники.

Определение углов падения пласта в пределах контура подсчета выполняется двумя основными способами.

Первый из них применяется в условиях наличия изогипс пласта (изофронталей для вертикальных проекций), отстроенных при их рациональном сечении.

В этом случае с достаточной для практических целей точностью угол падения поверхности пласта (δ) в любой точке, расположенной между изогипсами может устанавливаться по заложению a между ними:

$$\delta = \arctg \frac{h}{a}, \quad (3.8)$$

где h – сечение изогипс.

Порядок определения среднего угла падения рассмотрим на примере. Пусть требуется определить средний угол падения пласта в контуре подсчета запасов $ABCD$, показанном на рис. 3.6.

Эта задача может быть решена путем реализации последовательности действий двух равноправных вариантов.

Первый вариант применяется в случае, если расстояние между соседними изогипсами либо примерно постоянно, либо изменяется закономерно. Он состоит в том, что между всеми парами изогипс находятся величины их средних заложений (a_1, a_2, a_3 и a_4 на рис. 3.6). Места измерения заложений выбираются на глаз, что вполне допустимо, учитывая существование погрешностей в положении изогипс.

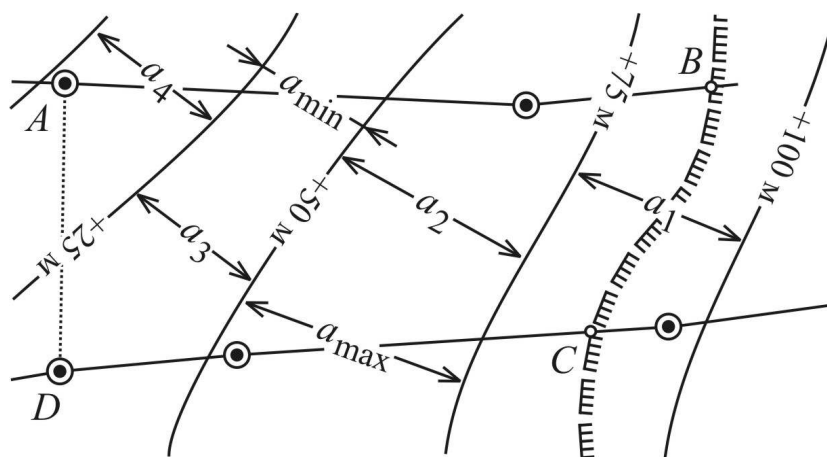


Рис. 3.6. Определение среднего угла падения пласта по заложению изогипс (1 вариант)

Как правило, линия, по направлению которой измеряется среднее заложение, делит участок между изогипсами на фрагменты с примерно равными мощностями.

После установления средних заложений между изогипсами находят их средневзвешенную величину. При ее определении в качестве весов используются площади, заключенные между изогипсами. При этом точное измерение площадей не производят, ограничиваются их примерной относительной оценкой.

Так для условий примера (рис. 3.6) следует рассуждать следующим образом. Примем площадь наименьшего участка оценки, расположенного ниже горизонта +25 м (там где измерено заложение a_4) за 1, тогда площадь между изогипсами +25 и +50 м можно принять равной 3 (она примерно в три раза больше площади предыдущего контура), между +50 и +75 м – 4 и выше горизонта +75 м – 2. Тогда средневзвешенное значение заложения составит:

$$a = \frac{2a_1 + 4a_2 + 3a_3 + 1a_4}{11}.$$

После вычисления среднего заложения a по формуле (3.8) производится определение среднего угла падения. Кроме вычисления среднего угла падения в пределах участка устанавливаются максимальное и минимальное значение углов (в целях установления диапазона их изменения в пределах геологического блока, на величину которого при подсчете запасов способом среднего арифметического накладываются определенные ограничения).

Для этого в пределах участка устанавливаются величины максимального и минимального заложения ($a_{\max}$ и $a_{\min}$ на рис. 3.6), по которым определяются соответствующие им углы падения. Во многих случаях, при «спокойном» залегании пласта, в качестве среднего значения заложения справедливо принимать среднее из максимального и минимального их значений.

В случае если на участке наблюдаются существенные и малозакономерные изменения заложений, их среднее значение определяется несколько иным образом: весь участок мысленно разбивается на примерно равные по площади участки, в каждом из которых измеряется величина заложения. В качестве средней величины принимается их среднеарифметическое значение. Реализация этого варианта действий иллюстрируется рис. 3.7.

Несложно заметить, что и во втором варианте определения среднего заложения фактически также имеет место расчет средневзвешенного значения, которое обеспечивается выполнением различного количества измерений на участках между изогипсами, имеющими различные площади.

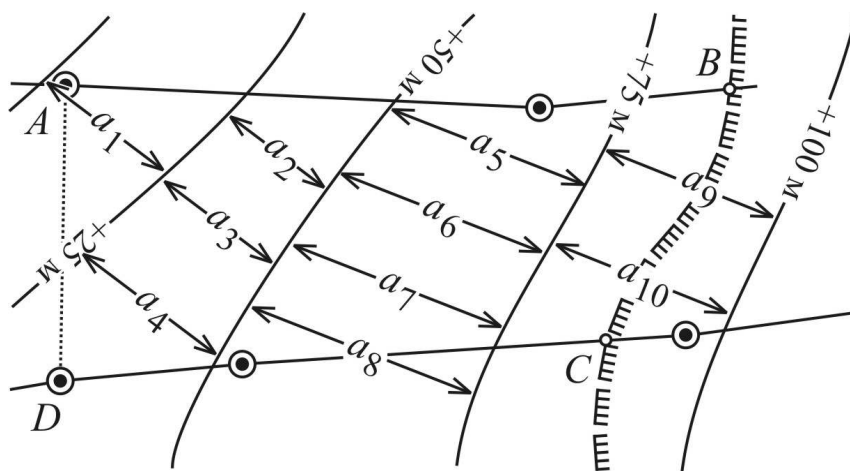


Рис. 3.7. Определение среднего угла падения пласта по заложению изогипс (2 вариант)

В большинстве случаев при расчете среднего значения угла падения (и его максимального и минимального значений) используются не заложения, а непосредственные значения углов падения, определяемые по гипсометрическому плану с помощью специальной 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 h (рис. 3.8). Под нижней линией (AC) располагается собственно панель линейки.

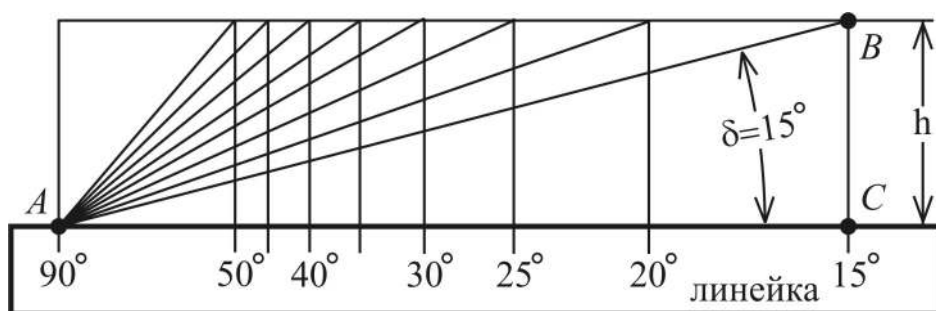


Рис. 3.8. Разметка линейки заложений

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 δ серия наклонных прямых вида AB .

Каждая из точек типа B проецируются на панель линейки в точки C , положение которых соответствуют делениям шкалы углов падения пласта. Измерение углов падения пласта между изогипсами производится следующим образом (рис. 3.9).

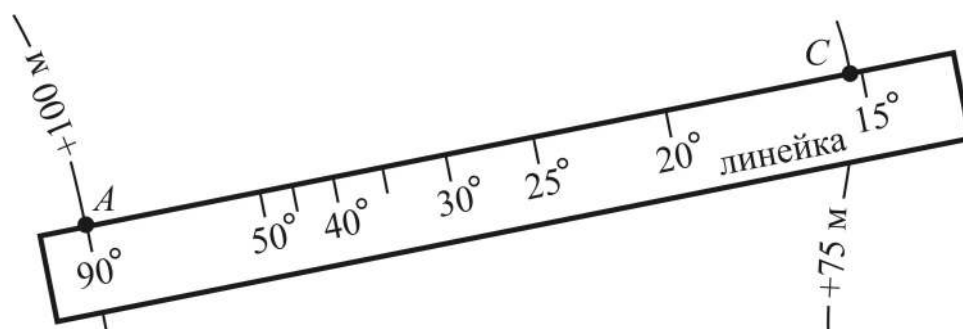


Рис. 3.9. Определение углов падения поверхности с помощью линейки заложений

Линейка располагается между изогипсами по направлению линии падения пласта таким образом, чтобы точка A шкалы (90°) совпала с одной из изогипс. На линейке отыскивается положение точки C , совпадающей со следующей изогипсой, и определяется соответствующий ей отсчет – искомый угол падения пласта (на рис. 3.9 он равен 15°).

При построении и использовании линейки следует иметь в виду неравномерный характер ее шкалы, в силу чего целесообразно выполнять шкалу с величиной шага в 2° .

Все действия по определению среднего угла падения пласта в подсчетном контуре выполняются аналогично действиям, описанным выше применительно к измерению заложений.

При выполнении подсчета запасов на вертикальной проекции, при условии отстроенной системы изофронталей, для определения среднего угла падения пласта выполняются действия в соответствии с описанным выше порядком. В этом случае измеряются заложения (или углы) между изофронталами, и, естественно, что результатом будет не угол падения пласта, а зенитный угол. Для перехода к углу падения необходимо вычесть величину полученного зенитного угла из 90° .

Если построение изофронталей, в связи с условиями залегания пласта крутого и крутонаклонного залегания, не выполнялось, то определение среднего угла падения пласта осуществляется на геологических разрезах.

Для этого находят средние углы падения пласта на обрамляющих подсчетный контур разрезах (в пределах распространения контура по глубине). Измерения могут выполняться в двух вариантах.

При относительной выдержанности углов может проводиться вспомогательная линия, зрительно имеющая тот же угол падения, что и пласт в целом (линия CD на разрезе по 2 р. л. – рис. 3.10).

В математическом плане это действие эквивалентно аппроксимации кривой линии (положения почвы пласта) с помощью прямой. Угол падения этой прямой δ измеряется транспортиром и принимается в качестве искомого среднего угла.

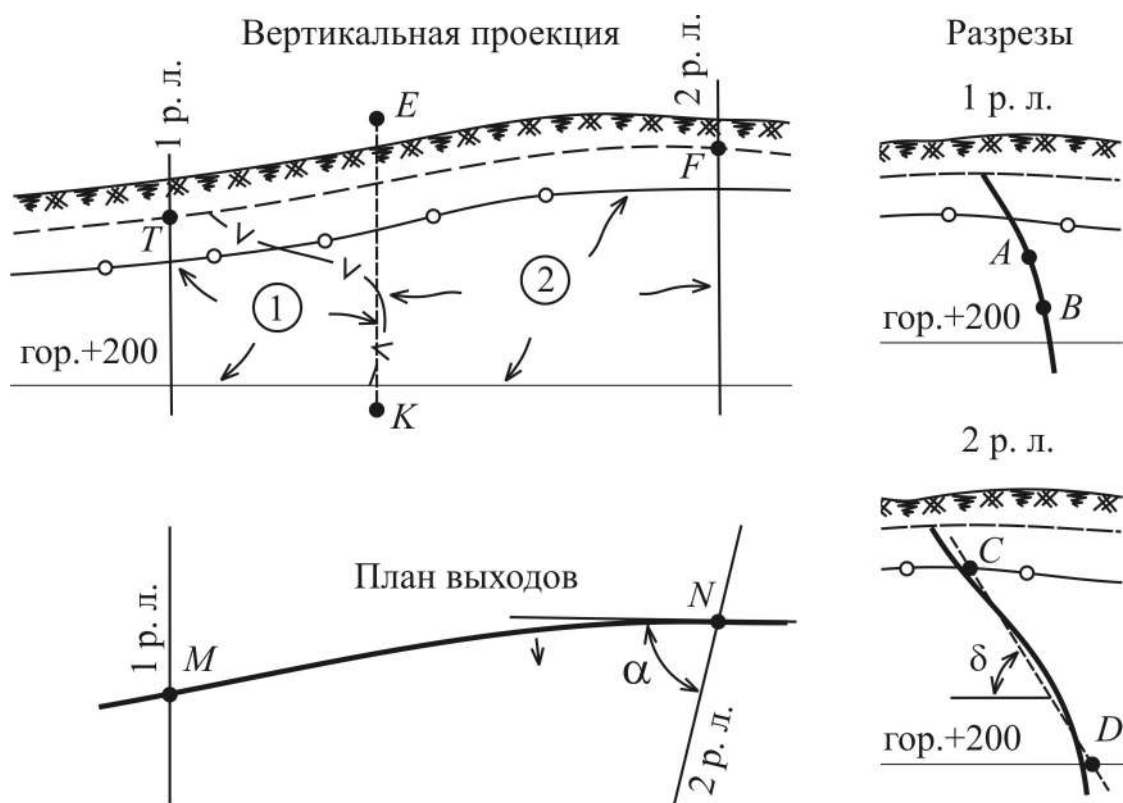


Рис. 3.10. Определение среднего угла падения с помощью разрезов

Второй вариант измерений состоит в зрительном разбиении на несколько отрезков с измерением углов в их центрах (в точках A и B на разрезе по 1 р. л. – рис. 3.10). Среднеарифметическое значение полученных таким образом углов принимается в качестве среднего угла падения по разведочной линии.

Значение полученного среднего угла падения пласта по разрезу корректируется с учетом неперпендикулярности разреза и плоскости проекции.

Для этого на плане измеряется острый угол между направлением плоскости проекции и линией геологического разреза (угол α на плане выходов на рис. 3.10).

Как уже отмечалось, построение вертикальной проекции выполняется путем «развертки» (т. е. горизонтальное расстояние между точками T и F на вертикальной проекции принимается равным расстоянию между одноименными точками M и N на плане, измеренному, в данном случае, вдоль направления кривой – выхода пласта под наносы – рис. 3.10).

В этой ситуации угол α измеряется между направлением линии геологического разреза и касательной к «кривой» выхода пласта под наносы в точке их пересечения.

Пересчет измеренного среднего угла падения пласта по разрезу (δ_p) в его истинное значение (δ) производится по формуле

$$\delta = \arctg \frac{\operatorname{tg} \delta_p}{\cos(90^\circ - \alpha)}. \quad (3.9)$$

В случае если угол α превышает 80° , расчеты по формуле (3.9) не производятся и угол падения δ принимается равным δ_p . По завершении определения средних углов по разведочным линиям рассчитывается средний угол падения в подсчетном контуре.

Если контур ограничивается разведочными линиями (что имело бы место в случае, когда подсчетный блок объединял бы оба показанных на рис. 3.10 подсчетных блока 1 и 2), в качестве среднего угла падения по блоку принимается среднеарифметическое значение углов падения по линиям.

В случае если границы контура расположены между разведочными линиями (блоки 1 и 2 на рис. 3.10), учитывается степень их удаления от профилей. Этот учет осуществляется по следующей схеме.

Пусть требуется установить средний угол падения пласта в блоке 1 (рис. 3.10). Этот блок распространяется от разведочной линии 1 примерно на третью часть расстояния между линиями (до пунктирной линии EK на рис. 3.10). По результатам определений средний угол δ_1 по 1 разведочной линии составил 73° , а δ_2 по 2 линии – 58° . Тогда, предполагая линейный характер изменения углов падения, можно предположить, что угол падения пласта по сечению EK должен (по линейной интерполяции) составить:

$$\delta_{EK} = \delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \frac{1}{3} = 73^\circ + (58^\circ - 73^\circ) \frac{1}{3} = 68^\circ.$$

Отсюда следует, что средний угол падения пласта по блоку 1 следует принять как среднее между углами по 1 разведочной линии и по сечению EK (δ_{EK} и δ_1), т. е. равным 71° , а угол в блоке 2 – как среднее между углами по линии 2 и по сечению EK (δ_{EK} и δ_2), т. е. равным 63° .

При расположении подсчетного контура во внутренней части интервала между разведочными линиями (т. е. когда ни одна из них не является границей блока) проводятся два обрамляющих его дополнительных сечения (типа EK), по каждому из которых находятся значения углов падения, среднее между которыми и будет являться искомым углом.

При ограничении контуров подсчета по глубине расчет среднего угла падения выполняется аналогичным образом. Однако средние углы падения пластов по разрезам определяются только в пределах горизонтов распространения блоков (т. е. в пределах контура $AFTB$ – рис. 3.11). Для этого точки A , B и F , T , положение которых определяется на вертикальной проекции, предварительно переносятся на разрезы.

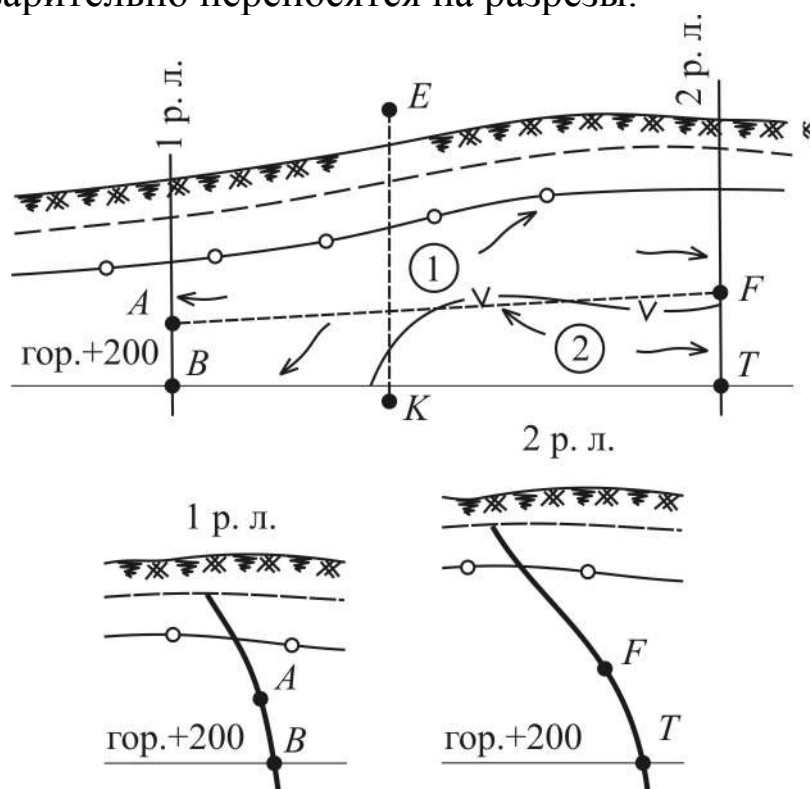


Рис. 3.11. Определение среднего угла падения с помощью разрезов при ограничении границ контура подсчета по глубине

Отметим, что если существуют серьезные сомнения в линейном характере изменения углов падения между разведочными линиями, то угол падения по дополнительному сечению EK устанавливается путем прямых измерений, выполняемых по дополнительно отстраиваемому разрезу по этому сечению. Построение разреза выполняется с использованием планов выхода пласта под наносы и на отдельные горизонты (погоризонтные планы).

3.4. Способ среднего арифметического

Количество запасов, находящихся в пределах геологического блока, может подсчитываться различными способами.

В технической литературе способ среднего арифметического применительно к подсчету запасов в контуре выделенного однородного геологического блока часто именуется «способом геологических блоков».

Подобная терминология представляется не вполне корректной, т. к. обладает признаками тавтологии. Поэтому при изложении материала используются два понятия: метод и способ. К сожалению, два этих понятия до сих пор не имеют однозначной трактовки и даже используются в качестве синонимов. Однако, следуя за рядом лингвистов, под методом должно понимать совокупность известных приемов и правил изучения объекта, а под способом – сущность этих приемов и правил. С этой точки зрения формально можно говорить как о методе, так и о способе геологических блоков, вкладывая в них несколько различное содержание. Однако, в целях избежание путаницы, следуя за В. А. Букринским [1], мы будем называть описываемый ниже подход именно способом среднего арифметического, понимая, что данный способ применяется для определения количества запасов при использовании метода геологических блоков.

Общие формулы подсчета запасов способом среднего арифметического имеют вид:

– при подсчете запасов на горизонтальной проекции:

$$Q = \overline{m} \overline{d}_a^d S \sec \overline{\delta}; \quad (3.10)$$

– при подсчете запасов на вертикальной проекции:

$$Q = \overline{m} \overline{d}_a^d S \operatorname{cosec} \overline{\delta}, \quad (3.11)$$

где $\overline{m}$ – принятая к подсчету средняя нормальная мощность пласта угля в блоке; $\overline{d}_a^d$ – принятая к подсчету средняя кажущаяся плотность угля в блоке; S – площадь проекции подсчетного блока; $\overline{\delta}$ – принятый к подсчету средний угол падения пласта в блоке.

Перечисленные четыре параметра именуются «подсчетными параметрами» блока.

В случае если при определении площади блока использовался способ В. И. Баумана, вместо произведения площади на функцию угла падения в формулах (3.10) и (3.11) используется определенная с его помощью «истинная» площадь блока.

По каждому выделенному в соответствии с правилами, изложенными в подразделах 3.1 и 3.2, подсчетному блоку определяются максимальные и минимальные величины углов падения ($\delta_{\max}$ и $\delta_{\min}$) и средний угол падения $\bar{\delta}$.

Несложно заметить, исходя из приведенных формул (3.10) и (3.11), что криволинейный фрагмент поверхности пласта в пределах подсчетного блока заменяется на фрагмент плоскости с углом падения равным $\bar{\delta}$. Несомненно, что это приводит к определенным погрешностям подсчета, в связи с чем возникает задача установления допустимого диапазона изменения углов падения пласта в пределах блока. Однозначные рекомендации на этот счет отсутствуют. Известная «Методика разведки угольных месторождений Кузбасса» (1978 г.) [8] содержит рекомендации о необходимости деления пласта на участки подсчета с различием в углах падения в $2-3^\circ$ (для блоков, по которым углы падения превышают 6°). Это требование представляется чрезмерно жестким (т. к. указанный диапазон углов находится в пределах технической погрешности их определения по геологическим разрезам).

Для обоснования рекомендаций по допустимому колебанию углов падения пласта рассмотрим рис. 3.12, на котором изображено сечение пласта по некоторому направлению.

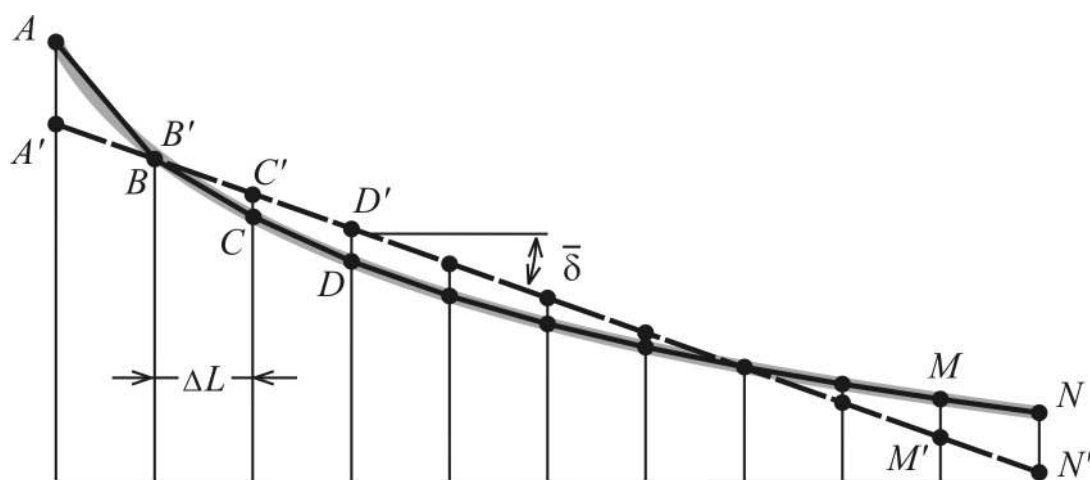


Рис. 3.12. К определению допустимого колебания углов падения пласта в пределах подсчетного блока

Собственно поверхность пласта в пределах подсчетного блока может быть представлена системой таких разрезов, удаленных друг от друга на расстояние, например, 1 м. Поэтому выводы, полученные от рассмотрения каждого их таких разрезов, могут быть отнесены и к поверхности пласта.

«Разобьем» пласт на равные отрезки протяженностью ΔL ($\Delta L \rightarrow 0$). В пределах таких отрезков сечение криволинейной поверхности пласта может быть, без значимой потери точности, заменено системой прямолинейных отрезков $AB, BC, CD, \dots MN$. Сумма длин этих отрезков (соответствующий интеграл) является оценкой «истинной» длины фрагмента пласта по направлению разреза. Как уже отмечалось, при подсчете запасов рассматриваемым методом криволинейный фрагмент пласта заменяется плоскостью, имеющей в разрезе форму прямой $A'N'$. При осуществлении такой замены длины отрезков $A'B', B'C', C'D', \dots M'N'$ будут постоянны и могут как превышать (например, отрезки MN и $M'N'$), так и быть меньше (например, отрезки AB и $A'B'$) «истинных» длин отрезков, определенных вдоль пласта. Сумма отрезков $A'B', B'C', \dots$ является оценкой «линейной» длины фрагмента пласта по направлению разреза при условии представления его как фрагмента плоскости.

Предположив определенный характер динамики изменения углов падения пласта по интервалам ΔL , можно определить отношения «истинных» и «линейных» длин пласта и установить на их основе допустимое колебание углов падения пласта (размах между $\delta_{\max}$ и $\delta_{\min}$) в пределах подсчетного блока (рис. 3.13). В качестве средних допустимых отклонений этих длин в сечении принята величина 1 % для блоков категорий А и В и 2 % – для блоков остальных категорий.

Практическое использование представленных на рис. 3.13 графиков осуществляется в следующем порядке.

В пределах блока устанавливается максимальное фактическое значение угла падения $\delta_{\max}$. Расчетная допустимая величина минимального значения угла падения $\delta_{\min}$ устанавливается по величине $\delta_{\max}$ по приведенным на рис. 3.13 графикам (например, для условий категории А при максимальном угле 40° она составляет 24° , а для категории C_1 – 17°).

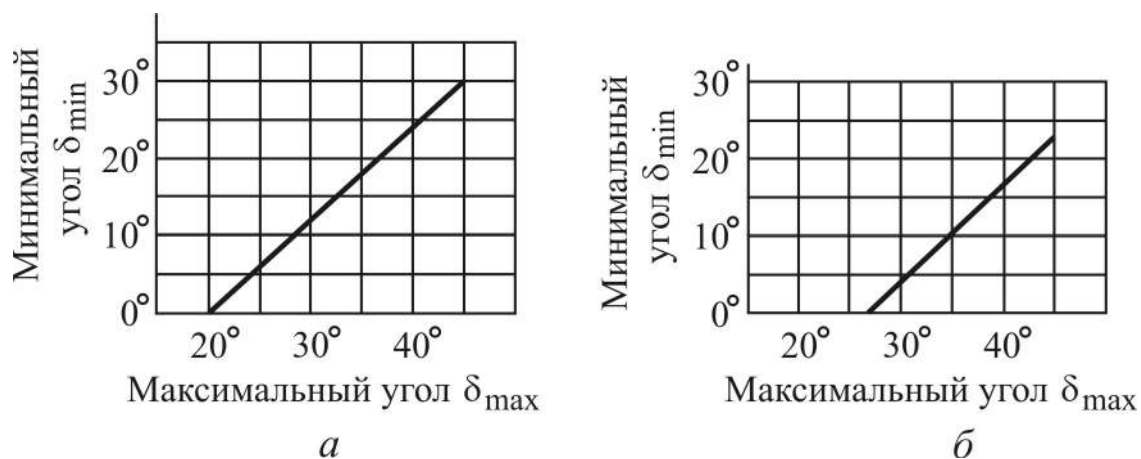


Рис. 3.13. Допустимое изменение углов падения в блоке:
а – для категорий А и В; *б* – для категорий С₁ и С₂

Из рис. 3.13 следует, что при максимальном угле падения в блоках категорий А и В в 20°, а для блоков категорий С₁ и С₂ в 27° минимальные их значения могут быть любыми.

Отметим, хотя это и очевидно, что применение графиков, приведенных на рис. 3.13, корректно только в условиях, когда подсчетный блок расположен в пределах одного крыла складки.

Если расчетная величина минимального угла падения в подсчетном блоке окажется меньше, чем ее фактически измеренное значение, то с рассматриваемых позиций такой блок следует признать корректным и он может быть принят в подсчет запасов.

В случае если подсчетный блок оказывается некорректным, то его площадь следует либо уменьшить (в целях удаления из него контуров с неприемлемыми значениями граничных углов), либо отдельно определять площади для различных его частей (обычно разделенных горизонтами – так называемый подсчет площадей по горизонтам). Например, если по условиям изменения углов падения показанный на рис. 3.14, *а* блок № 6 будет признан некорректным, его можно разделить на два блока (№ 6 и № 7 – на рис. 3.14, *б*).

Однако если подобное деление будет приводить к возникновению чрезмерно малых по размерам блоков, то допустимо сохранение единого блока № 6 при вычислении его площади по горизонтам.

Например, можно подсчитать площадь блока ниже горизонта +50 м (рис. 3.14, а) и выше него (измерив соответственно площади проекций фрагментов и углы падения пласта в них). При этом в качестве общей площади блока № 6 принимается сумма истинных площадей фрагментов.

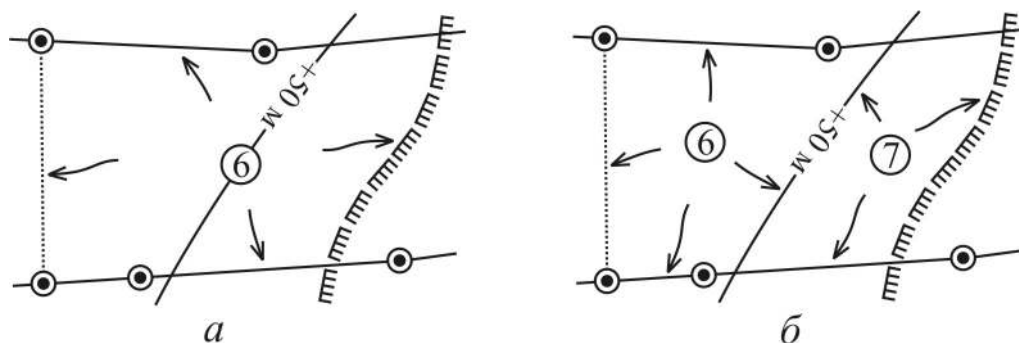


Рис. 3.14. Корректировка границ блока в связи с неприемлемым колебанием углов падения

При выполнении графических материалов в проекции на вертикальную плоскость предельные значения углов падения в блоках также оцениваются с использованием графиков, приведенных на рис. 3.13. Однако все ограничения выполняются не по углам падения, а по их дополнениям до 90° (т. е. по зенитным углам).

Например, если максимальный угол падения пласта в блоке категории В составляет 65° , то его дополнение до 90° равно 25° . Согласно графику (рис. 3.13, а) допустимый минимальный зенитный угол в блоке равен 6° , а угол падения – 84° . Таким образом, для рассматриваемого примера углы падения в блоке могут изменяться от 65 до 84° .

В случае если истинная площадь блока определялась с использованием способа В. И. Баумана, то проверку диапазона изменения углов падения в его пределах выполнять нет необходимости.

Применение метода среднего арифметического предполагает возможность изменения границ блоков, ранее осуществленных в соответствии с правилами, изложенными в подразделах 3.1 и 3.2. Такие изменения являются окончательными и не изменяются в ходе дальнейших работ.

Промежуточные результаты измерений и вычислений площадей и углов падения пластов в официальных геологических отчетах не отражаются. Однако они должны быть оформлены в виде, обеспечивающем их оценку без участия авторов подсчета в случае предъявления требований к их представлению со стороны органов государственной геологической экспертизы.

После завершения процессов определения истинной площади блока приступают к расчету подсчетной мощности.

Хотя рассматриваемый способ подсчета запасов и именуется методом среднего арифметического, принимаемая к подсчету мощность далеко не всегда равна формально вычисленной средней величине из числа ее замеров, относящихся к контуру подсчета запасов. Отметим, что во всех дальнейших рассуждениях и расчетах используются только мощности пласта, признанные в соответствии с подходами, изложенными в подразделе 2.2, достоверными и представительными, (т. е. без учета аномальных, нехарактерных, замеров и замеров, содержащих грубые технические ошибки измерений). Для более глубокого смыслового понимания описываемых ниже процедур рекомендуется вновь вернуться к подразделу 2.2, обратив особое внимание на пояснения, иллюстрированные формулой (2.4).

На первом этапе работы выделяются замеры, которые могут быть отнесены к рассматриваемому подсчетному блоку. В их качестве используются не только замеры, попадающие на границу и в контур блока (например, скважины № 1 – 6 на рис. 3.15), но и расположенные за его пределами (скважина № 7 на рис. 3.15). Последние принимают для подсчета, если они обеспечивают равномерное размещение замеров по площади блока. Предельное удаление таких скважин от границ блока не лимитируется и оценивается интуитивно. В качестве определенного ориентира может быть использовано условие, в соответствии с которым такие замеры не должны быть удалены от границ блока далее, чем ближайшие к ним «внутренние» замеры блока. Например, замер по скважине № 7 на рис. 3.15 включается в расчет подсчетной мощности по блоку в связи с тем, что он удален от границы блока (изогипсы +50 м) на расстояние, сопоставимое с расстоянием от нее до ближайшей «внутренней» скважины блока № 4, и его учет обеспечивает равномерность сети измерений.

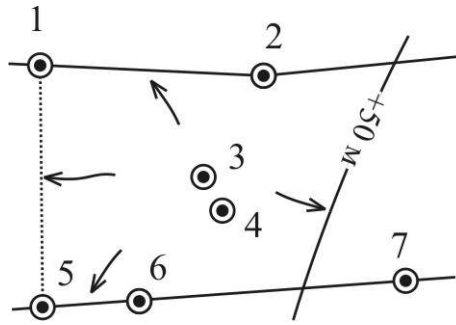


Рис. 3.15. Выделение относящихся к блоку замеров и «кустов» замеров

На втором этапе анализа мощностей по блоку выделяются группы сближенных замеров (которые иногда называют «кустами», например замеры по скважинам № 3 и 4 на рис. 3.15). Глядя на рис. 3.15, невозможно не заметить, что если принять их для расчетов средней (подсчетной) для блока мощности, то в соответствии с иллюстративной формулой (2.4) замеры, произведенные практически в одной и той же точке, будут распространяться на площадь, в два раза большую, по сравнению с другими замерами. В результате произойдет немотивированное геологическими закономерностями смещение оценки подсчетной мощности. Для исключения этого в подсчет принимаются не отдельные, принадлежащие «кусту» замеры, а средняя величина мощности в них.

Третий этап анализа реализуется в случае, если в качестве одной из границ блока выступает изолиния кондиций (рис. 3.16). В данной ситуации использование для расчета подсчетной мощности только замеров, расположенных в балансовом контуре (например, скважин 110, 111 и 112 на рис. 3.16, а), приведет к смещению ее значения в сторону завышения. Для исключения этого применяется система «фиктивных» замеров, значение мощности в которых равно параметру кондиций (изолинии).

Такие «фиктивные» замеры (условно показанные на рис. 3.16 точками Ф1, Ф2 и Ф3) намечаются умозрительно и не наносятся на подсчетный план, поскольку значение имеет не их положение на изолинии, а их количество.

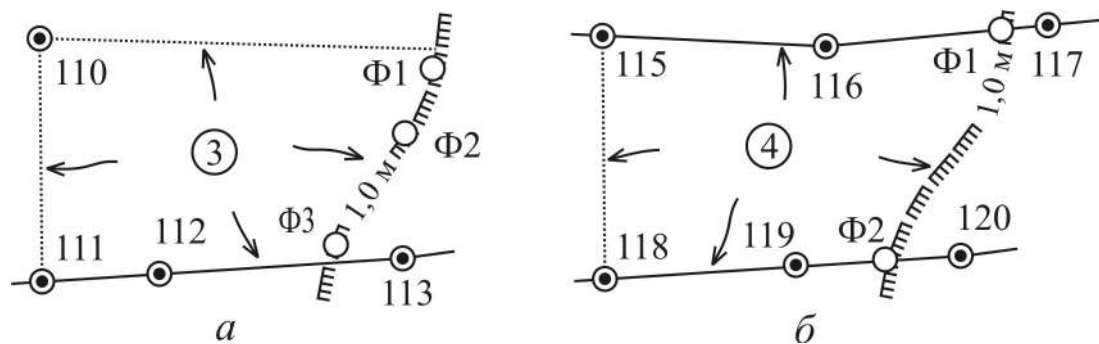


Рис. 3.16. К понятию «фиктивных» замеров (замеров по изолинии)

Принимаемое для подсчета количество «фиктивных» замеров определяется условием обеспечения равномерности размещения точек измерений. Практически, в подавляющем большинстве случаев, число «фиктивных» замеров совпадает с минимальным количеством межскважинных интервалов, использованных при интерполировании, выполняемом для определения положения изолинии.

Например, на рис. 3.16, б при построении изолинии мощности 1 м необходимо выполнить интерполяцию, как минимум, по двум межскважинным интервалам 116 – 117 и 119 – 120. Поэтому в расчетах средней мощности следует учесть два дополнительных «фиктивных» замера Φ1 и Φ2. Как следует из рис. 3.16, б, их введение обеспечивает равномерность размещения точек измерений в пределах блока. Несколько иная картина наблюдается в условиях рис. 3.16, а, где положение изолинии мощности 1,0 м в пределах блока определяется только по одному направлению (112 – 113). Введение в данном случае только одной фиктивной точки (например, Φ3) никак не обеспечивает сколько-нибудь равномерной сети наблюдений. Учитывая то, что практически все скважины блока смещены в сторону наибольших значений мощности, количество «фиктивных» замеров следует принять равным трем. Если попарно мысленно соединить точки фиктивных замеров со скважинами (направления Φ1 – 110, Φ2 – 111, Φ3 – 112), то каждое из них достаточно полно характеризует изменение мощностей по направлению разведочных линий, а их число – изменение по перпендикулярному к нему направлению. Это позволяет утверждать, что принятое число «фиктивных» замеров обеспечивает создание равномерной сети замеров в блоке.

В любом случае установление необходимого количества дополнительных «фиктивных» замеров производится интуитивно, на основании практического опыта. В сложных ситуациях, когда практический опыт исполнителя работ не позволяет однозначно оценить необходимое количество фиктивных замеров, можно использовать горно-геометрическую модель изменения мощности.

Для этого выполняется построение топоповерхности мощности в изолиниях (при их рациональном сечении) с использованием имеющихся измерений (находящихся как в блоке, так и вне него).

Затем на блок накладывается равномерная сетка узлов (рис. 3.17), в каждом из которых определяется (путем интерполяции между изолиниями) ожидаемое значение мощности пласта. Расстояние между узлами принимают несколько меньшее, чем расстояние между изолиниями мощностей.

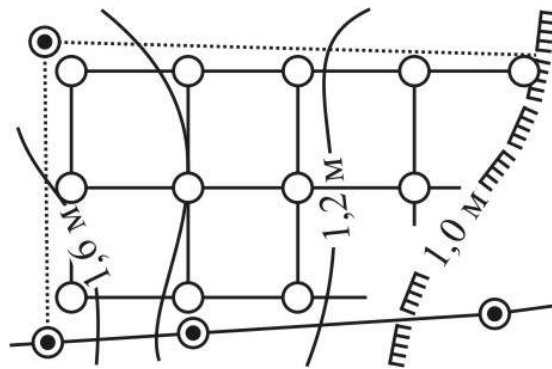


Рис. 3.17. Определение средней мощности по результатам геометризации

Среднее арифметическое значение мощностей в узлах и является, строго говоря, средним значением мощности по блоку. После этого рассчитывается несколько вариантов средних значений мощности в блоке с использованием только данных по скважинам и при различном числе «фиктивных» замеров.

В качестве рационального количества «фиктивных» замеров принимается то из них, при котором средняя мощность будет максимально приближаться к значению, установленному по сети узлов. Еще раз напомним, что такой сложный подход может применяться только при недостаточной опытности исполнителя работ.

Особая ситуация, также связанная с «фиктивными» замерами, возникает при определении подсчетной мощности в блоках забалансовых запасов, ограниченных изолиниями мощности.

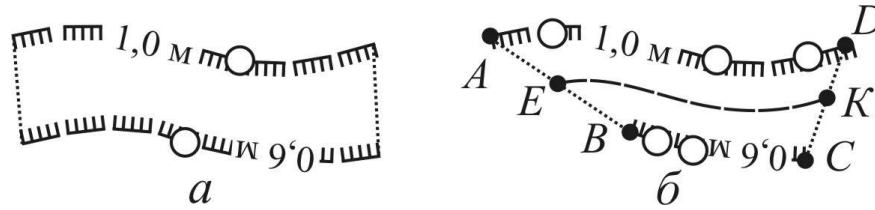


Рис. 3.18. Расчет средней мощности между изоэнергиями в блоках забалансовых запасов

Традиционно средняя мощность пласта в блоке, ограниченном изолиниями признаков – параметров кондиций, осуществляется путем принятия в ее качестве среднего их значения (т. е. использования двух «фиктивных» замеров). Причем, если между изолиниями находится какой-либо фактический замер, его результаты в расчет отдельно не принимаются, поскольку уже использованы при построении изолиний. Например, в качестве подсчетной мощности блока забалансовых запасов, изображенного на рис. 3.18, а, используется величина 0,8 м, полученная как полусумма двух «фиктивных» замеров («изолиния 1,0 м» и «изолиния 0,6 м»). Однако в отдельных случаях такой подход не справедлив. Очевидным следствием принятия в качестве средней мощности полусуммы значений изолиний является предположение, что на одной половине площади блока мощность пласта должна быть больше, а на другой меньше этого среднего. Для примера, показанного на рис. 3.18, б, это условие явно не выполняется. Расположенная на середине между изолиниями 1,0 и 0,6 м пунктирная линия EK (соответствующая по смыслу положению изолинии 0,8 м) делит общую площадь блока на два существенно неравных по площади контура – $ADKE$ и $EKCB$. Отношение площадей этих контуров (которое оценивается визуально) составляет примерно 3:2. Именно это соотношение принимается в качестве соотношения количества фиктивных точек, выделяемых на каждой изолинии.

Таким образом, расчет средней мощности в изображенном на рис. 3.18, б подсчетном блоке следует осуществить по пяти «фиктивным» замерам, три из которых относятся к изолинии 1,0 м и два – к 0,6 м.

Еще раз следует напомнить, что положения точек «фиктивных» замеров на подсчетных планах и вертикальных проекциях не отражаются.

Помимо подсчетных мощностей чистых угольных пачек для каждого подсчетного блока вычисляются аналогичные мощности пласта (с учетом 100 % засорения внутрипластовыми прослоями), а также средние для блоков зольности чистых угольных пачек и пласта в целом. Порядок расчета этих средних полностью идентичен вышеописанному.

Результаты расчетов оформляются в виде таблицы «Расчет средних мощностей и зольностей подсчетных блоков» (табл. 3.3), которая включается в состав табличных приложений к геологическому отчету. В приведенной ниже табл. 3.3 дана колонка с номером «0», которая отсутствует в ее стандартной форме и введена только для разъяснения порядка ее заполнения.

Заполнение таблицы осуществляется по пластам, наименования которых указываются в общей строке (строка 1). В пределах пласта данные группируются по промышленной значимости запасов (балансовые – строка 2 и забалансовые – строка 27), в пределах которых они разделяются на марочные и окисленные (строки 3 и 18).

Для каждого блока указывается его номер и категория. При небольшом количестве замеров мощности (или их полном отсутствии) и при разбиении однородных по мощности контуров на отдельные блоки по не связанным с мощностью причинам (например, в связи с различными углами падения) подсчетная мощность может рассчитываться сразу для группы блоков. В этом случае в графе «Номер блока» перечисляются все блоки, для которых вычисляются подсчетные параметры (строки 19 и 20 – блоки «е» и «к»).

Таблица 3.3

Расчет средних мощностей и зольностей подсчетных блоков

Порядковый номер строки	Номер блока	Категория запасов	Наименование разведочной линии	Номер скважины, зарисовки, пробы, дудки, каналы	Принятая мощность			Принятая зольность		Примечание
					по угольным	с учетом 100 % засорения внут-рипластовыми	прослоями	по угольным	с учетом 100 % засорения внут-рипластовыми	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Пласт 5									
2	Балансовые запасы									
3	Марочный уголь									
4	6	А	XII	3456	1,37	1,37	8,7	8,7	Скв. 3445 (1,42 м) и 1245 (1,34 м) сближены	
5			XII	3487	1,44	1,44	7,9	7,9		
6			к.ш.23	зар. 15	1,29	1,29	–	–		
7			между XI и X	3445, 1245	1,38	1,38	7,3	7,3		
8			Сумма		5,48	5,48	23,9	23,9		
9			Количество		4	4	3	3		
10			Среднее		1,37	1,37	8,0	8,0		
11	Стандарт			0,06						
12	Доп. диапазон			1,25–1,49						

Продолжение табл. 3.3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
13	13	C ₁	ХП	3499	1,24	1,27	9,7	16,2	Скв. 3856 по ХП р. л. (мощность 1,54 м) в под- счет не принята – не ха- рактерна	
14			–	изоляция	1,00	1,00	–	–		
15			Сумма		2,24	2,27	9,7	16,2		
16			Количество		2	2	1	1		
17			Среднее		1,12	1,14	9,7	16,2		
18	Окисленный уголь									
19	е,	C ₁	Х	3499	1,74	1,94	9,7	20,2	Скв. 3491 по Х р. л. (мощность 0,57 м) в под- счет не принята – пласт вскрыт не на полную мощность	
20	к		Х	3455	1,44	1,59	6,9	15,9		
21			IX	3494	1,29	1,42	10,1	19,3		
22			IX	2245	1,61	1,65	7,5	9,4		
23			IX	2289	1,51	1,53	–	–		
24			Сумма		7,59	8,13	34,20	64,8		
25			Количество		5	5	4	4		
26			Среднее		1,52	1,63	8,6	16,2		
27	Забалансовые запасы									
28	Марочные									
29	14	C ₁	–	изоляция	2×1,00	2×1,00	–	–	Зольность принята по блоку 18	
30			–	изоляция	0,60	0,60	–	–		
31			Сумма		2,60	2,60	–	–		
32			Количество		3	3	–	–		
33			Среднее		0,87	0,87	9,3	9,3		

В столбце 3 указываются номера разведочных линий, которым принадлежит пластоподсечение, номер которого указывается в столбце 4. Если замеры расположены вне разведочных линий, то указывается их ориентировочное расположение (например, «между XII и XI р. л.»). При использовании замеров в горных выработках их номеру обычно предшествует наименование замера (например, «зар. 15», т. е. «зарисовка 15» – строка 6, «пр.», т. е. «проба» и т. д.). Место производства таких измерений может конкретизироваться как указанием наименования выработки («к.ш. 23», т. е. «конвейерный штрек 23» – строка 6), так и их расположением относительно разведочных линий (как в строке 7).

Для каждого выполненного измерения приводятся величины мощностей и зольностей (по чистым угольным пачкам и по пласту в целом, т. е. с учетом их 100 % засорения внутрипластовыми прослоями). В случае нахождения внутри блока группы сближенных скважин («куста» скважин) в таблице указываются средние значения параметров по ним. При этом в графе номеров перечисляются все входящие в группу скважины, а в колонке «Примечание» указываются конкретные значения признаков в каждой из них (строка 7). В «Примечании» также указываются все замеры, которые, в соответствии с их расположением на подсчетном плане (вертикальной проекцией), относятся к подсчетному блоку, но не приняты в подсчет. При этом указываются номера, значения признаков и причины их исключения из подсчета запасов в связи с их нехарактерностью или недостоверностью выполненных измерений (например, строки 13 и 19). В случае, особенно часто имеющем место для забалансовых по мощности запасов, расположенных между изолиниями кондиционных мощностей, в «Примечании» указывается источник принятых данных о зольности пласта, если они непосредственно не определялись в блоках (строка 29). Если при расчете средних значений использовались «фиктивные» замеры, то вместо номера замера записывается слово «изолиния» (строки 14, 29, 30). При использовании нескольких одинаковых «фиктивных» замеров в столбцах данных о мощности (зольности) указывается их число, например (строка 29) текст «2×1,00» означает, что к подсчету приняты два «фиктивных» замера мощностью 1,00 м.

После занесения в таблицу всех данных вычисляются их суммы по блокам, количество замеров в них и полученное среднее значение (например, строки 8, 9, 10).

При работе с пластами простого строения колонки, относящиеся к пласту в целом, повторяют значения параметров, указанных в столбцах, относящихся к данным по чистым угольным пачкам (например, колонки 5 и 6 по строкам 4–10).

«Методические рекомендации...» [4] впервые накладывают ограничения на диапазон изменения мощностей чистых угольных пачек в блоке, т. е. требуют выполнения ранее приведенных условий (3.3) и (3.4). Поэтому при расчетах подсчетных мощностей по блокам категорий А и В следует предусматривать две дополнительные строки (строки 11 и 12).

В первой из них указывается величина стандарта σ , определяемая по формуле (3.2). Во второй – допустимый диапазон изменения принятых в расчет мощностей. Так, по рассматриваемому в табл. 3.3 блоку № 6 категории А (строка 4) эти изменения должны находиться в пределах $\pm 2\sigma$ ($\pm 0,12$ м в примере – строка 11). Отсюда следует, что допустимый диапазон мощностей в блоке составит от 1,27 (результат вычитания 2σ из среднего значения 1,37) до 1,47 (результат сложения 2σ со средним значением). Сравнение принятых к расчету значений (колонка 5) с приведенным в строке 12 допустимым диапазоном указывает на исполнение рассматриваемых требований «Классификации запасов...»[2].

После завершения расчетов всех подсчетных параметров блоков (площадей, углов падения, мощностей и зольностей) приступают собственно к подсчету запасов, оформляемому в виде таблицы подсчета запасов (табл. 3.4), которая обязательно включается в состав табличных приложений геологического отчета. Подсчетные значения мощностей и зольностей, а также средне-блочные углы падения пластов указываются на подсчетном плане (вертикальной проекции). Таблица подсчета запасов состоит из 15 граф. Подсчет выполняется по пластам с выделением блоков балансовых и забалансовых запасов, которые, в свою очередь, фрагментируются по марочным и окисленным углям.

Таблица 3.4

Подсчет запасов по угольным пластам

Номер блока, категория	Горизонт	Марка, группа, подгруппа	Площадь подсчета, тыс. м ²	Угол падения, град	Секанс угла падения	Истинная площадь, тыс. м ²	Запасы угольных слоев				Запасы рядового угля по сумме угольных слоев и породных прослоев			
							подсчетная мощность, м	кажущаяся плотность, т/м ³	производительность, т/м ²	запасы, тыс. т	подсчетная мощность, м	кажущаяся плотность, т/м ³	производительность, т/м ²	запасы, тыс. т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пласт 5														
Балансовые запасы														
Марочный уголь														
6-А		Ж	102	18	1,05	107	1,38	1,30	1,79	192	1,38	1,30	1,79	192
7-В	выше ±0 м	Ж	84	21	1,07	90								
	ниже ±0 м		18	32	1,18	21								
	всего		—	—	—	111	1,42	1,31	1,86	206	1,51	1,33	2,00	222

В первой колонке указывается номер блока и присвоенная ему категория запасов.

Вторая графа таблицы («Горизонт») вводится в таблицу по мере необходимости и не является обязательной. Такая необходимость проявляется в двух случаях. Во-первых, при производстве подсчета запасов с их разделением по технологическим горизонтам. Такие горизонты не связываются с конкретными отметками пласта по границам блоков – они означают лишь то, что запасы блока будут отрабатываться с использованием систем вскрывающих выработок, пройденных, например, на горизонтах $+100$ м, ± 0 м и т. д.

Иногда вместо графы горизонт используется выделение групп блоков под единой строкой: «По горизонту $+100$ м» (такая строка могла бы находиться в табл. 3.4 под строкой «Марочный уголь»). Во-вторых, и именно этот случай отображен в примере, колонка «Горизонт» вводится в случае, если в связи с высокой изменчивостью углов падения блок по этому фактору разделяется на отдельные горизонты (как это было ранее иллюстрировано рис. 3.14, а).

Колонка «Марка, группа, подгруппа» содержит указание на соответствующую технологическую оценку угля. В случае если все угли отдельной марки относятся к этой группе или подгруппе, то последние могут отдельно не указываться.

Колонки 4 и 5 содержат информацию о площади проекции блока и о среднем угле падения в нем. Значения площадей округляются до 1 тыс. м², углов – до 1°. В колонку 6 заносится величина секанса угла падения (при подсчете запасов на вертикальную проекцию – косеканса, при соответствующем переименовании заголовка колонки), округленного до одной сотой.

Значение истинной площади (колонка 7) получают путем перемножения колонок 4 и 6. При разделении блока на отдельные горизонты (например, блок 7 в табл. 3.4) графы 4 – 7 заполняются для каждого горизонта (с указанием положения фрагмента, в примере – выше и ниже горизонта ± 0 м), а полученные истинные площади суммируются в строке «всего» и используются для дальнейших расчетов.

В случае если истинная площадь определялась с использованием способа В. И. Баумана, она непосредственно записывается в колонку 7 (колонки 4, 5 и 6 не заполняются). Факт использования данного способа комментируется путем размещения сноски примечания (например, «звездочкой»: 54* для блока 8 в табл. 3.4), собственно которое помещается в конце таблицы: «Определение истинной площади осуществлено способом В. И. Баумана».

Величины подсчетных мощностей переносятся в столбцы 8 и 13 из таблицы «Расчет средних мощностей и зольностей подсчетных блоков».

Значения кажущейся плотности угля (столбцы 9 и 13) преимущественно определяются по графику ее зависимости от зольности (рис. 2.7) по величине среднего значения, рассчитанного в вышеупомянутой таблице. При невозможности построения такой зависимости, как уже отмечалось ранее, используется среднее значение кажущейся плотности по пласту в целом (значения плотности угля для пласта в таблице подсчета запасов будут в этом случае неизменны).

Производительность пласта (колонки 10 и 14) получают путем перемножения цифр в колонках соответственно 8 и 9, а также 12 и 13.

Запасы чистых угольных пачек (колонка 11) и пласта в целом (колонка 15) вычисляются путем перемножения соответствующих истинных площадей и производительностей пласта.

Для выполнения расчетов обычно используется табличный редактор Excel. Характерной ошибкой при его применении является работа без операторов округлений промежуточных расчетов. Поэтому указанные в итоге запасы блока не соответствуют результатам действий с указанными в таблице значениями параметров. Например, если не производить промежуточных округлений, запасы чистых угольных пачек по блоку «е» составят 73 тыс. т (косеканс угла без округления равен 1,05146, истинная площадь – 36,80118, производительность пласта – 1,9912, запасы 73,27851), тогда как с округлением они равны 74 тыс. т. Казалось бы, что получаемая небольшая несогласованность результатов (обычно от 1 до 5 тыс. т, в зависимости от размеров блока) не имеет практического значения.

Однако это не так, поскольку в последующем, при ведении угледобывающим предприятием учета движения запасов по подсчетным блокам, эту разность приходится списывать с баланса. Причем формальные нормативные основания для этого отсутствуют, т. к. ни один из подсчетных параметров не претерпевает при отсутствии промежуточных округлений каких-либо изменений. В связи с этим, при использовании Excel, при выполнении каждой вычислительной процедуры необходимо осуществлять округления результатов с использованием оператора «ОКРУГЛ».

При подсчете запасов пластов простого строения содержание колонок 12–15 дублирует содержание колонок 8–11.

После завершения подсчета запасов по пласту производится определение общего количества запасов с их разделением по промышленной значимости, марочному составу и категориям (табл. 3.4). При необходимости это деление выполняется и для отдельных технологических горизонтов. При наличии учтенных при подсчете запасов охранных целиков под объектами на поверхности указывается сумма находящихся в них запасов с разделением по перечисленным группам. Аналогичным образом выделяются и запасы, находящиеся в пределах известных технических границ предприятия и за их пределами.

3.5. Способ вертикальных разрезов

Способ вертикальных разрезов применяется только в случаях, когда применение вышеописанного способа среднего арифметического невозможно или крайне затруднительно. Такие ситуации возникают, как правило, при подсчете запасов мощных пластов с невыдержанной мощностью и сложными условиями залегания, для которых невозможно определение нормальных мощностей пластов по скважинам. Пример такой ситуации приведен на рис. 3.19.

На практике оба излагаемых способа могут сочетаться. Например, запасы в замке складки могут подсчитываться способом разрезов, а на ее крыльях – способом среднего арифметического.

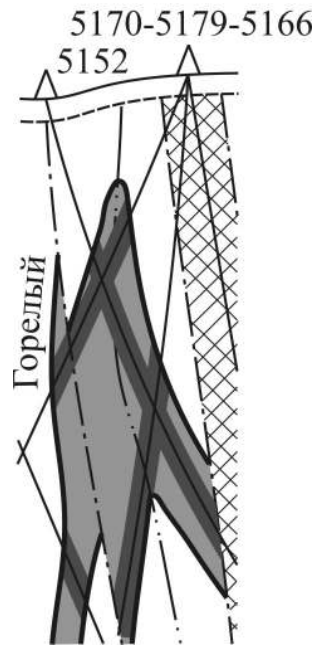


Рис. 3.19. Фрагмент разреза по 37 разведочной линии по участку «Краснобродский Южный 1»

Выделение границ подсчетных блоков при реализации способа разрезов осуществляется в соответствии с принципами, изложенными в подразделах 3.1 и 3.2, однако в качестве основных границ блоков по направлению простирания более широко используются разведочные линии, а по глубине – горизонты.

При необходимости (сложной тектонике, невыдержанной мощности пласта) перед подсчетом может выполняться построение дополнительных разрезов между разведочными линиями. Для этого используются планы выходов пластов под наносы, погоризонтные планы и т. д.

В целом сущность способа разрезов состоит в определении объема полезного ископаемого, заключенного между разведочными линиями (вертикальными разрезами) путем перемножения расстояния между линиями на некоторую усредненную площадь сечения пластов по ним.

Переход от объема угля к весовому количеству осуществляется путем его умножения на кажущуюся плотность, которая определяется тем же способом, что и в способе среднего арифметического. Поэтому при подсчете запасов способом разрезов также подготавливается таблица, эквивалентная табл. 3.3 «Расчет средних мощностей и зольностей подсчетных блоков».

В этой таблице, при наличии тесной зависимости плотности от зольности, производится расчет средней зольности по блоку, а в отдельных случаях и средней мощности (при определении площади сечения пласта путем перемножения мощности на протяженность пласта в сечении разреза, о чем уже говорилось в подразделе 3.3).

Для определения объемов могут использоваться различные расчетные формулы (призматоида, усеченной пирамиды и их варианты с различными поправками): Я. М. Фейгина, В. И. Баумана – для параллельных сечений, А. С. Золотарева, С. С. Изаксона, А. П. Прокофьева, И. Н. Бронштейна и К. А. Семендяева – для непараллельных сечений. Естественно, что все известные подходы обладают различной точностью. Однако при выборе способа подсчета необходимо иметь в виду, что реальная точность подсчета запасов определяется не столько погрешностью расчетных формул, сколько погрешностью геометризации, которая для сложных в геологическом отношении объектов может достигать весьма значительных величин.

Для условий угольных месторождений способ вертикальных разрезов применяется именно на сложных месторождениях, ниже рассматриваются только наиболее распространенные подходы, обладающие вполне приемлемой для практических целей точностью.

При подсчете запасов вертикальными разрезами различают два основных варианта расположения разрезов: параллельное и непараллельное.

Вариант подсчета, ориентированный на параллельные разрезы, используется чаще в связи с принятой для угля конструкцией сетей разведочных скважин.

В этих условиях объем полезного ископаемого, заключенный между разведочными линиями, принято рассчитывать по формуле призматоида, часто называемой формулой трапеций:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} L, \quad (3.12)$$

или формуле усеченной пирамиды:

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} L, \quad (3.13)$$

где S_1 и S_2 – площади пласта в сечениях; L – расстояние между сечениями.

Формулу трапеций (3.12) принято применять при примерно равной площади сечений (рекомендуемое различие в площадях до 40 %), в остальных случаях применяется формула усеченной пирамиды (3.13). Указанное разделение условий применения формул возникло еще в начале прошлого века и диктовалось необходимостью сокращения объемов вычислений в условиях отсутствия вычислительной техники. В современных условиях подобное разделение стало бессмысленным, в связи с чем можно рекомендовать осуществление всех вычислений исключительно по формуле (3.13).

Рассмотрим порядок выполнения расчета объема угля в пределах синклинальной складки между разведочными линиями IV и III (рис. 3.20, *а*). На начальном этапе подсчета определяются площади сечений пласта на разрезах (рис. 3.20, *в, з*): S_1 и S_2 . При подсчете запасов марочного угля площади измерялись бы между нижним горизонтом складки и границей зоны окисления, при подсчете окисленных углей – между границей окисления и границей распространения негодного угля. Если в пределах структуры происходила бы смена марочного состава, то она делилась бы на два подсчетных блока, подсчет сечения по каждому из них осуществлялся бы раздельно. Затем на плане проводятся прямые линии, которые как бы «спрямляют» фактические разведочные линии. Построение таких линий (AB для разведочной линии IV и CD для линии III – рис. 3.20, *б*) выполняется на глаз. Математически эта процедура сродни порядку построения прямой по скважинам – точкам «излома» разведочной линии (их геодезическим координатам X и Y) методом наименьших квадратов.

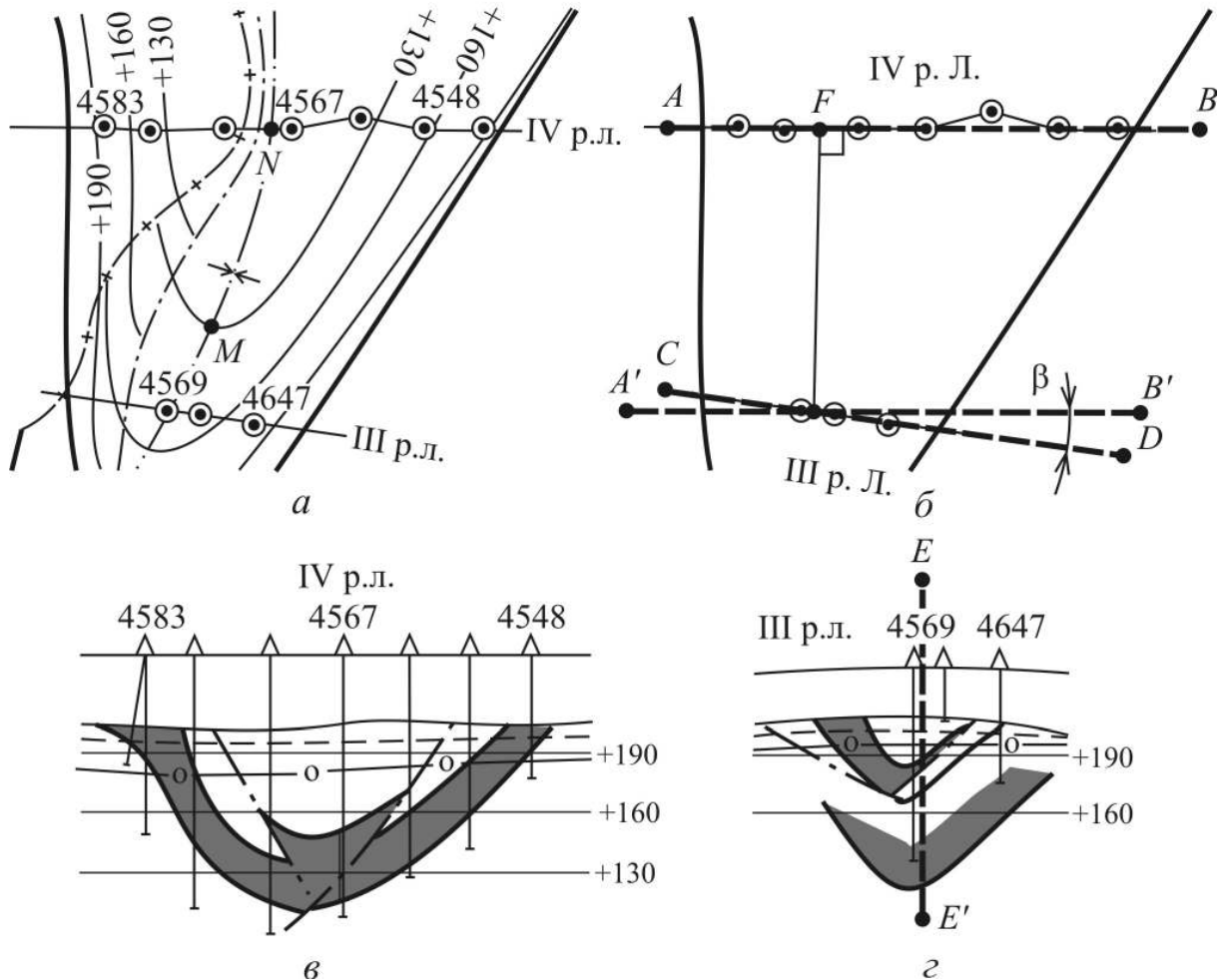


Рис. 3.20. К подсчету запасов способом вертикальных параллельных разрезов

Если линии AB и CD строго параллельны друг другу, то в качестве расстояния между ними L принимается длина заключенного между ними перпендикуляра. Однако «строгая» параллельность сечений – явление крайне редкое. Поэтому в большинстве случаев можно говорить лишь о некоторой степени параллельности, измеряемой величиной угла β , под которым сечения пересекаются. Очевидно, что при непараллельных сечениях возникает неопределенность в выборе направления, по которому должно измеряться расстояние L между ними. Ее разрешение осуществляется на основе следующих соображений.

При допустимой величине угла β одна из линий разреза разворачивается на его величину, в результате чего они становятся параллельными, а направление измерения L – однозначным.

При развороте линии на угол β все расстояния, измеренные вдоль нее, а следовательно, и площадь сечения уменьшаются при ее проектировании на «неподвижную» линию пропорционально косинусу угла β . Фактически корректировка площадей не выполняется, что приводит к возникновению систематической погрешности в подсчете объема запасов. Однако при небольших углах непараллельности сечений она незначительна и полностью «перекрывается» случайными погрешностями геометризации.

При определении допустимого значения угла β можно исходить из того, что, по существующим представлениям, общая погрешность запасов в блоках категории В не должна выходить за пределы 15–25 %, а категории C_1 – от 25 до 40 %. В случае если рассматриваемая систематическая погрешность будет существенно меньше нижних пределов погрешности для указанных категорий запасов, ее можно считать незначимой. Предполагая вполне достаточным четырехкратное соотношение погрешностей, предельным углом непараллельности разрезов в блоках категории В следует признать $\beta = 15^\circ$, а для категории C_1 – $\beta = 20^\circ$.

Измерение фактической величины угла β производится перемещением одной из линий сечения параллельно самой себе до пересечения с другой линией, угол между которыми и будет искомым (на рис. 3.20, б осуществлен перенос прямой AB в положение $A'B'$).

В целом порядок определения расстояния между относительно параллельными сечениями сводится к следующему. Из двух имеющихся сечений выбирается сечение с минимальной площадью пласта в ней (что должно обеспечить минимизацию возможной систематической погрешности) – на рис. 3.20 таким сечением является III разведочная линия.

На этом разрезе (рис. 3.20, г) проводится вертикальная линия EE' , которая делит площадь участка на две примерно равные части. Эта линия рассматривается как ось, вокруг которой целесообразно осуществить разворот разреза на угол β . Положение оси переносится на план (в точку E на рис. 3.20, б). И, наконец, на плане из E опускается перпендикуляр EF на соседнюю линию (AB), длина которого принимается в качестве расстояния между разрезами L .

Результаты подсчета запасов способом параллельных сечений оформляются в виде табл. 3.5. В нее, так же как и в таблицу 3.3, введена колонка с номером «0», которая отсутствует в стандартной форме и используется только для разъяснения порядка заполнения.

Как и при подсчете запасов способом среднего арифметического, таблица фрагментируется по пластам, балансовой и марочной принадлежности запасов (строка 1 и группа ее дополняющих – см. табл. 3.4).

В колонке 1 указывается номер подсчетного блока, а в колонке 3 – наименования разведочных линий, по которым определена площадь сечения пласта. В колонке 2 условным номером обозначается вид используемой для подсчета формулы, расшифровка которого приводится в конце таблицы или непосредственно в тексте отчета. При использовании формулы только одного вида данная колонка может отсутствовать.

В колонку 4 заносится расстояние между линиями, а в 7 – площадь сечения. В колонках 5 и 6 указываются измеренные значения только в тех случаях, когда площадь сечения определяется путем перемножения мощности (колонка 6) на протяженность пласта в пределах разреза (колонка 5).

Так, например, площадь сечения пласта по XX разведочной линии (строка 2) вычислена путем перемножения подсчетной мощности пласта (3,13 м) на его протяженность (341 м), что составляет 1,07 тыс. м². Такой подход используется только для пластов небольшой мощности и для мощных выдержанных пластов. Протяженность пласта измеряется в этом случае вдоль кривой, проведенной между почвой и кровлей пласта. В табл. 3.5 эта кривая упрощенно именуется «Длина крыла».

Величины подсчетных мощностей берутся по результатам расчетов, выполненных в таблице, аналогичной табл. 3.3.

В случае если при переходе от одного разреза к другому наблюдается явно выраженная тенденция изменения мощности, средняя подсчетная мощность для каждого сечения может иметь собственные индивидуальные значения.

Таблица 3.5
Подсчет запасов по угольным пластам способом вертикальных разрезов

Порядковый номер строки	Блок, категория	Способ подсчета	Разведочные линии	Расстояние между линиями	Длина крыла, м	Запасы угольных слоев						Запасы рядового угля по сумме угольных слоев и породных прослоев						Примечание
						Подсчетная мощность, м	Сечение пласта, тыс. м ²	Объем, тыс. м ³	Кажущаяся плотность, т/м ³	Запасы, тыс. т	Подсчетная мощность, м	Сечение пласта, тыс. м ²	Объем, тыс. м ³	Кажущаяся плотность, т/м ³	Запасы, тыс. т			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	Пласт XXXII ...																	
2	13-C ₁	1	XX XXI	234	341	3,13	1,07	201	1,32	265	3,19	1,09	206	1,33	274			
3					215	3,13	0,67			3,19	0,69							
4	14-C ₁	2	XVIII XVII	183			2,54 2,15	430	1,31	563		2,54 2,15	430	1,31	563			
5																		
6	16-C ₁	1	XVII XVI	158			2,15 1,06	248	1,32	327		2,15 1,06	248	1,32	327			
7																		
8	18-C ₁	3	XVI	97			1,06 0,00	34	1,32	45		1,06 0,00	34	1,32	45			
9																		

Способ подсчета: 1 – усеченной пирамиды; 2 – трапеций; 3 – клина

При этом в таблице расчета подсчетных мощностей подсчет проводится раздельно по каждой разведочной линии, входящей в блок (например, указывается: подсчетный блок 34, разведочная линия XXVII).

Если площадь пласта измеряется планиметрированием, то строки колонок 5 и 6 не заполняются, а результаты измерений непосредственно заносятся в колонку 7 (например, строки 4–7).

Кажущаяся плотность угля определяется по тем же правилам, что и в способе среднего арифметического, и может приниматься как постоянной для пласта (или отдельных марок), так и определяться в зависимости от его зольности.

В случае определения площади сечения пласта планиметрированием его зольность с учетом засорения определяется расчетным путем по известной формуле

$$A_3^d = \frac{A_y^d S_y d_y^d + A_{\Pi}^d S_{\Pi} d_{\Pi}^d}{S_y d_y^d + S_{\Pi} d_{\Pi}^d}, \quad (3.14)$$

где A_y^d , A_{Π}^d – зольность; d_y^d , d_{Π}^d – кажущаяся плотность; S_y , S_{Π} – площадь сечения соответственно чистых угольных пачек и пород, засоряющих уголь.

Площадь сечения засоряющих внутрипластовых прослоев только в единичных случаях можно определить планиметрированием.

В большинстве случаев породные прослои не могут быть вычерчены в масштабе чертежа, поэтому для определения их площади следует использовать установленную по скважинам мощность и протяженность. Естественно, что расчеты по формуле (3.14) имеют смысл только в случае, когда кажущаяся плотность определяется по ее зависимости от зольности.

Строки 8 и 9 табл. 3.5 содержат расчеты по «выклинивающимся» сечениям, порядок выполнения которых будет рассмотрен несколько ниже.

Для непараллельных сечений применяется способ влияния площадей сечений (способ А. П. Прокофьева).

Объем между двумя сечениями определяют по формуле

$$V = B_1 \frac{S_1}{H_1} + B_2 \frac{S_2}{H_2}, \quad (3.15)$$

где S_1 и S_2 – площади сечений блока; B_1 и B_2 – площади влияния сечений; H_1 и H_2 – «длины» сечений.

Для выполнения подсчета по каждому сечению определяют площади S_1 и S_2 , как и для параллельных сечений. Для каждого сечения находят крайние точки (A' , C' для сечения по I р. л. и D' , E' для сечения по II р. л. на рис. 3.21, а), которые проектируют на план в точки A , C и D , E . Определяются расстояния между ними – «длины» сечений H_1 и H_2 .

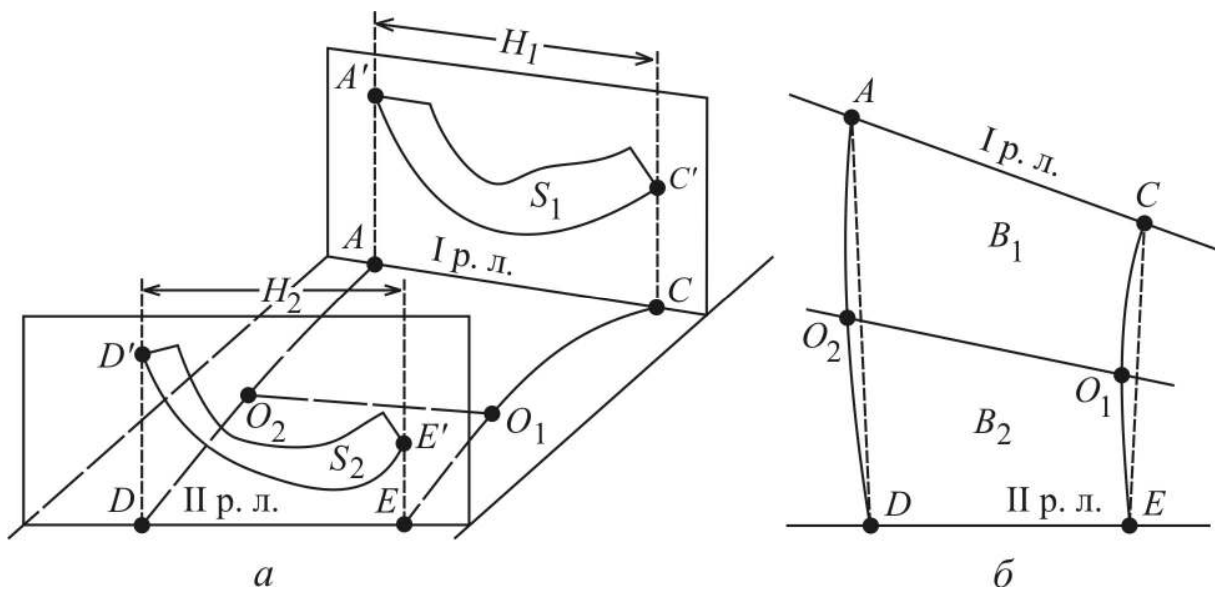


Рис. 3.21. Подсчет запасов способом А. П. Прокофьева

Нетрудно заметить, что частное от деления площади S на «длину» H является ничем иным, как средней вертикальной мощностью пласта в сечении. Каждая из таких мощностей распространяется на площадь ее влияния B (рис. 3.21), в результате чего вычисляются два объема, сумма которых равна ожидаемому объему запасов между двумя разрезами.

Площади влияния B_1 (криволинейный контур ACO_1O_2 на рис. 3.21, б) и B_2 (контур DEO_1O_2) измеряются на плане. Линия O_1O_2 , разделяющая общую площадь на зоны влияния сечений, может быть отстроена одним из двух способов, которые признаются равнозначными.

Первый из них состоит в использовании в качестве границы O_1O_2 биссектрисы угла, который образуют разведочные линии при их продолжении до точки пересечения. Второй – в проведении граничной линии через середины расстояний между одноименными крайними точками сечений (т. е. между DA и EC). Обычно середины определяются на соединяющих крайние точки прямых и только при очень сложном контуре границы блока (кривых DO_2A и EO_1C на рис. 3.21, б) – путем деления пополам указанных кривых.

Подсчет запасов оформляется в виде табл. 3.6, во многом повторяющей табл. 3.5. Главное отличие таблиц состоит в наличии колонок, содержащих данные о площадях влияния сечений (колонок 3) и их длине (колонок 4). Объем запасов (колонок 8) вычисляется по формуле (3.15). При этом следует иметь в виду, что площади сечения в колонке 7 должны быть приведены в тысячах квадратных метров, тогда как при расчете по формуле (3.15) они выражаются в квадратных метрах.

В том случае, когда подсчетный блок располагается между несколькими разведочными линиями, часть его запасов может считаться способом параллельных, а часть – непараллельных сечений. В этом случае в табл. 3.6 делается соответствующая ссылка. Например, для контура блока № 7, подсчет запасов которого выполнен в строках 6 и 7, указывается, что результаты подсчета относятся не к блоку в целом, а лишь к его части.

Подобная «дробимость» способов подсчета запасов вызывает определенные сложности в представлении результатов, путь преодоления которых будет рассмотрен в конце подраздела.

Следует заметить, что подсчет запасов способом А. П. Прокофьева может осуществляться с использованием не горизонтальных, а вертикальных проекций (с целью повышения точности определения площадей влияния сечений). Расчетная схема при этом не претерпевает каких-либо изменений и становится понятной, если развернуть рис. 3.21, а на 90° по направлению движения часовой стрелки.

Таблица 3.6

Подсчет запасов способом площадей влияния сечений непараллельных разрезов

Порядковый номер строки	Блок, категория	Разведочные линии	Площадь влияния, тыс. м ²	Длина сечения	Длина крыла, м	Запасы угольных слоев						Запасы рядового угля по сумме угольных слоев и породных прослоев						Примечание
						Подсчетная мощность, м	Сечения пласта, тыс. м ²	Объем, тыс. м ³	Кажущаяся плотность, т/м ³	Запасы, тыс. т	Подсчетная мощность, м	Сечения пласта, тыс. м ²	Объем, тыс. м ³	Кажущаяся плотность, т/м ³	Запасы, тыс. т			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	Пласт XXII ...																	
2	10-C ₁	XX	116	98	141	2,12	0,30	712	1,31	933	2,22	0,31	753	1,32	994			
3		XXI	103	72	115	2,21	0,25				2,37	0,27						
4	6-C ₁	XIX	57	101			1,03	1069	1,32	1411		1,03	1069	1,32	1411			
5		XV	43	59				0,67					0,67					
6	7-C ₁ часть	XIX	41	87			0,95	1117	1,31	1463		0,95	1117	1,31	1463			
7		XV	49	60				0,82					0,82					

В технической литературе для подсчета запасов между непараллельными сечениями помимо способа А. П. Прокофьева предлагаются и другие, например способ А. С. Золотарева, «половины угла вращения», Е. Д. Кравцова и т. д. Однако все они обладают более высокой сложностью вычислительных процедур, не обеспечивая при этом какого-либо повышения точности подсчета.

На практике нередко встречаются ситуации, когда сечение пласта в пределах контура подсчета запасов выделяется только на одном из разрезов и отсутствует на втором. Например, пусть для условий примера, приведенного на рис. 3.20, требуется подсчитать запасы, расположенные ниже горизонта +130 м. На разрезе по IV разведочной линии (рис. 3.20, в) контур пласта, отвечающий данному условию, существует, и его площадь может быть легко измерена. Однако по разведочной линии III (рис. 3.20, г) весь пласт расположен выше горизонта +130 м и соответствующая площадь сечения пласта по ней отсутствует. В этом случае можно говорить о некоем условном «выклинивании» сечения пласта (разумеется, применительно только к рассматриваемому контуру подсчета запасов).

В этом случае используется формула конуса, клина или призмы. Смысл указанных формул становится более очевиден, если заменить истинное положение пласта на контур «осажденной» мощности. Для «осаждения» на сечение пласта накладывается сеть параллельных вертикальных линий (например, линия AB на рис. 3.22, а), вдоль каждой из которых измеряется вертикальная мощность m . Эти линии проектируются на некоторую горизонтальную линию (ED), от уровня которой откладываются измеренные мощности. В результате возникает серия точек типа B' , через которые проводится граница «осажденного» контура (контур $EB'D$ на рис. 3.22, а). Площадь этого контура S_1 равна площади пласта в сечении разведочной линии, поэтому при подсчете запасов «осаждение» не производится. Формула конуса

$$V = \frac{S_1 L_1}{3} \quad (3.16)$$

применяется в случае, если на некотором удалении L_1 от разведочной линии следует предполагать, что сечение пласта трансформируется в «точку» (рис. 3.22, б).

Именно такой случай будет иметь место в условиях исходного примера, в котором, судя по структурным построениям, в точке M (рис. 3.20, a) замок складки погрузится ниже горизонта +130 м и площадь сечения пласта выродится в «точку». При этом в качестве расстояния L_1 необходимо принять расстояние между точками N и M , измеренное вдоль оси складки.

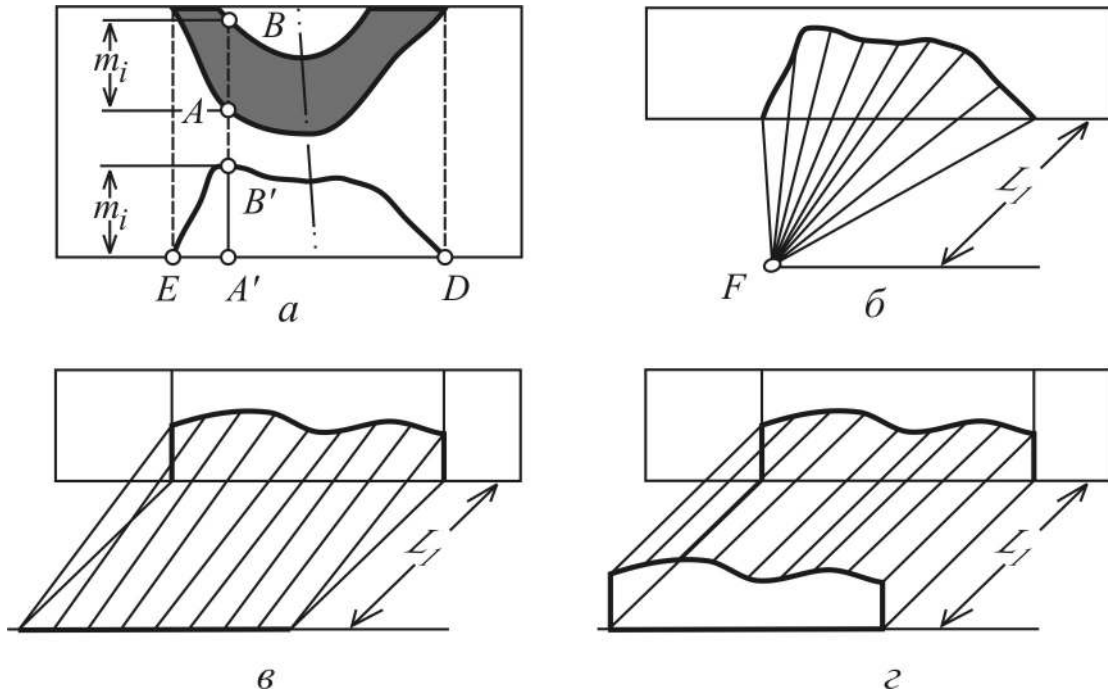


Рис. 3.22. К подсчету запасов при «выклинивании» сечений пласта

При отсутствии структурных или геологических предпосылок к прогнозу конкретного места расположения точки «выклинивания» сечений между разрезами величина L_1 обычно полагается равной половине расстояния между сечениями.

В случае если на некотором удалении от разведочной линии сечение пласта вырождается в линию (например, при «погружении» крыла складки под горизонт), подсчет объема полезного ископаемого производится по формуле клина (рис. 3.22, $в$):

$$V = \frac{S_1 L_1}{2} . \quad (3.17)$$

Помимо «выклинивания» отсутствие сечения пласта может быть связано с его обрезом (например, разрывным нарушением, изолинией кондиций по зольности и т. д.).

В такой ситуации применяется формула призмы, предполагающая неизменность сечения пласта в контуре подсчета (рис. 3.22, з):

$$V = S_1 L_1 . \quad (3.18)$$

Подсчет запасов по формулам (3.16)–(3.18) осуществляется в вышеприведенной табл. 3.5. Ее использование вполне правомерно, т. к. рассматриваемый порядок расчета не накладывает никаких ограничений на степень параллельности разведочных линий в связи с использованием только одной из них.

В рассматриваемом примере он отражен в строках 9 и 10. При этом в графе 3 указывается наименование только одной разведочной линии, по которой известна площадь сечения пласта, а в графе 4 приводится расстояние до точки «выклинивания» сечений. При использовании формул конуса и клина площадь сечения в точке «выклинивания» принимается равной нулю (колонка 7 строка 10). При использовании формулы трапеций площади сечений в строках 9 и 10 будут равны друг другу.

Крайне редко, но все же возникает ситуация, требующая выделения подсчетного блока, который не пересекает ни одной разведочной линии. Задача подсчета запасов решается в этом случае на основе предварительно построенного дополнительного сечения, проходящего, как правило, через центральную часть блока. Его построение осуществляется на основе плана выходов пласта под наносы и погоризонтных планов.

Как уже отмечалось, отдельные фрагменты подсчетного блока могут подсчитываться различными способами. «Разнесение» результатов подсчета запасов одного блока по разным таблицам (3.5 и 3.6) приводит к затруднениям восприятия информации и «запутывает» отчетность. Для исключения этого создают результирующую таблицу (табл. 3.7) и поступают следующим образом.

В первую очередь осуществляют подсчет запасов между непараллельными сечениями и заполняют табл. 3.6. После чего определяют запасы между параллельными сечениями в табл. 3.5, в которую также переносятся данные по блокам и их фрагментам из табл. 3.6.

Таблица 3.7

**Подсчет запасов по угольным пластам
способом вертикальных разрезов (полная форма)**

Порядковый номер строки	Блок, категория	Способ подсчета	Разведочные линии	Запасы угольных слоев		Примечание
					Запасы, тыс. т	
0	1	2	3	...	10	16
	Пласт 74 ...					
1	18—C ₁	4	XX	...	265	подсчет — табл. ...
2			XXI			
3	19—C ₁	4	XVIII	...	563	подсчет — табл. ...
4			XVII			
5		3	XVII	...	327	
6			XVII			
7		3	XVIII	...	890	
8			XVIII			
9	Всего			...	1780	

В строках, соответствующих «переносимым» блокам (или их фрагментам), заполняются только столбцы 1, 2, 3, 10, 15 и 16 (табл. 3.7). В графе «Примечания» помещается указание на номер таблицы, в которой был произведен подсчет запасов.

В примере (табл. 3.7) блок № 18 (строки 1 и 2) был ранее полностью подсчитан методом непараллельных сечений. Аналогично был выполнен и подсчет запасов фрагмента блока № 19 (строки 3 и 4). Запасы, подсчитанные по отдельным фрагментам этого блока, суммируются, а результат помещается в строку «Всего» (строка 9).

После заполнения табл. 3.5 определяют суммы запасов по блокам, относящимся к различным пластам, маркам с учетом их промышленной значимости (так, как это было объяснено применительно к табл. 3.4). Расчет аналогичных сумм по табл. 3.6 не производится.

4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЗАПАСОВ

Задача определения достоверности результатов геологического моделирования месторождения (достоверности запасов) сводится к задаче оценки степени расхождения между реально существующим природным объектом и его моделью [9].

Непосредственное решение задачи в такой постановке невозможно, так как никаких иных сведений об объекте, кроме использованных при создании его модели, не имеется. Поэтому ее решение может осуществляться только косвенными методами.

Один из таких методов содержится в «Методических рекомендациях по проведению горно-геометрической экспертизы достоверности геологоразведочной информации участков угольных месторождений (количественная оценка степени соответствия геологических моделей месторождения угля их истинному строению)» [10], разработанных в 2000 году. В 2007 году экспертно-технический совет ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» рекомендовал их применение при категоризации и подсчете запасов углей на месторождениях Кузбасса и, при соответствующей апробации, на месторождениях прочих угольных бассейнов, а также при государственной экспертизе материалов геологоразведочных работ. Также было признано, что геологоразведочные работы на уголь методически обеспечены в части исполнения требований п. 16 «Классификации запасов...» [2].

В основу содержащихся в «Методических рекомендациях...» [10] методов положены основные аксиомы теории геополя П. К. Соболевского. В соответствии с ними поле геологического показателя должно обладать свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Так как геополе обладает свойством однозначности, то и модель, идеальным образом описывающая его, также должна им обладать. Следовательно, возникновение неоднозначности построений в процессе формирования модели является свидетельством потенциальной неадекватности этой модели и реального объекта.

Неоднозначность любых построений может быть оценена лишь при наличии избыточных измерений или определений. Однако при изучении недр они возникают крайне редко и нежелательны, так как являются следствием переразведки объекта исследований и требуют значительных материальных затрат. Поэтому подход к созданию метода измерения степени неоднозначности модели может основываться на экономически оправданной идее искусственного создания косвенных избыточных определений.

Искусственное создание косвенных избыточных определений в сетях площадных измерений можно осуществлять в пределах контура четырехугольной ячейки сети измерений. Рассмотрим выпуклый четырехугольник с вершинами – точками замеров изучаемого признака (рис. 4.1). В нем можно провести две диагонали, пересекающиеся в общей точке K' . Любой изучаемый признак, в соответствии со свойством однозначности геопоя, должен иметь в точке K одно единственное значение.

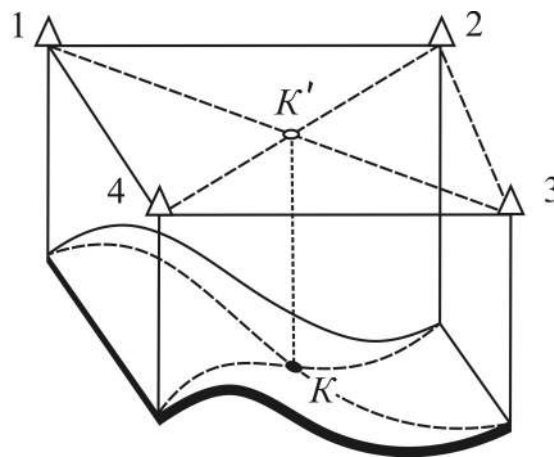


Рис. 4.1. Создание косвенных избыточных определений в четырехугольной ячейке сети разведочных скважин

Используя метод интерполирования, по точности соответствующий методу, примененному при построении анализируемой модели, можно определить значение признака в точке K из каждой диагонали. Теоретически они должны быть равны друг другу. Однако в силу наличия погрешностей измерений и интерполяции их значения не будут совпадать. Поэтому их разность, являясь разностью двух независимых косвенных определений, может рассматриваться в качестве меры неоднозначности модели.

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

$$\lambda_{\text{в}} = \left| [F_1(x) T(\delta_1) - F_2(x) T(\delta_3)] R + (Z_3 - Z_1) F_3(x) + Z_1 - [F_1(x') T(\delta_2) - F_2(x') T(\delta_4)] R' - (Z_4 - Z_2) F_3(x') - Z_2 \right|, \quad (4.1)$$

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

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

$$F_1(x) = (1-x)^2 x; \quad F_2(x) = (1-x) x^2; \quad F_3(x) = (3-2x) x^2. \quad (4.2)$$

Ламбда-критерий оценивает неоднозначность построений гипсометрии пласта в направлении вертикали и для оценки пересчитывается в нормальное к пласту направление:

$$\lambda = \lambda_{\text{в}} \cos \delta_K, \quad (4.3)$$

где δ_K – угол падения пласта в точке пересечения диагоналей.

Ламбда-критерий используется в качестве количественного квалификационного показателя при категоризации запасов по степени достоверности изучения гипсометрии в процессе государственной экспертизы.

По степени достоверности изучения гипсометрии пласта к категории А относятся запасы контуров, в которых ламбда-критерий не превышает 7 м, к категории В – в пределах которых критерий изменяется от 7 до 13 м, и к категории С₁ – при его изменении от 13 до 50 м.

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

$$\Delta = |(P_3 - P_1)x + P_1 - (P_4 - P_2)x' - P_2|, \quad (4.4)$$

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

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

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{\bar{P}}, \%, \quad (4.5)$$

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

$$\bar{P} = \frac{(P_3 - P_1)x + P_1 + (P_4 - P_2)x' + P_2}{2}. \quad (4.6)$$

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

Если иное не оговорено, то допустимая для категории А степень возможности других построений мощности пласта и суммарной мощности породных прослоев (относительный дельта-критерий) составляет соответственно:

- для шахт и разрезов с крутым залеганием пластов соответственно 19 и 26 %;
- для комплексно-механизированных шахт и разрезов, отрабатывающих пласты пологого и наклонного залегания, соответственно 13 и 26 %;
- для прочих шахт с пологим и наклонным залеганием пластов соответственно 26 и 40 %.

Так как реальная сеть геологоразведочных измерений не обеспечивает ее разбиение на четырехугольники абсолютно правильной геометрической формы, то расчет производится только для четырехугольников, отвечающих следующим требованиям:

- точка пересечения диагоналей четырехугольника должна быть удалена от его вершин на расстояние от 0,3 до 0,7 длины каждой диагонали;

- отношение длины наибольшей диагонали к длине наименьшей не должно превышать 2,6;

- внутренние углы четырехугольника должны находиться в пределах от 25 до 155°.

Значения критерия разведанности реально отражают имеющую место неоднозначность моделей только тогда, когда существует правомерность интерполяции значений изучаемого признака в пространстве между замерами, оценка которой должна предшествовать их расчету.

На основании расчета значений критериев разведанности создаются специальные карты – картограммы достоверности или категоризации, на которых условными знаками выделяются контуры с различным уровнем достоверности изучения признака (рис. 4.2). На практике обычно производится построение картограмм достоверности изучения гипсометрии, мощности пласта, зольности угля. В отдельных случаях могут оцениваться и другие показатели, такие как выход летучих, пластометрический показатель u и т. д.

Кроме того, осуществляется построение суммирующей картограммы достоверности запасов. Она строится путем «суммирования» картограмм всех оцененных признаков: каждому контуру присваивается наименьшая степень достоверности, указанная на картограмме достоверности отдельных признаков.

При использовании картограммы достоверности следует иметь в виду, что критерии разведанности являются не более чем инструментом оценки, выполненной с определенной степенью вероятности, т. е. определенным ориентиром. Окончательное решение по категоризации принимается исполнителем работ и отражается путем трансформации суммирующей картограммы в итоговую.

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

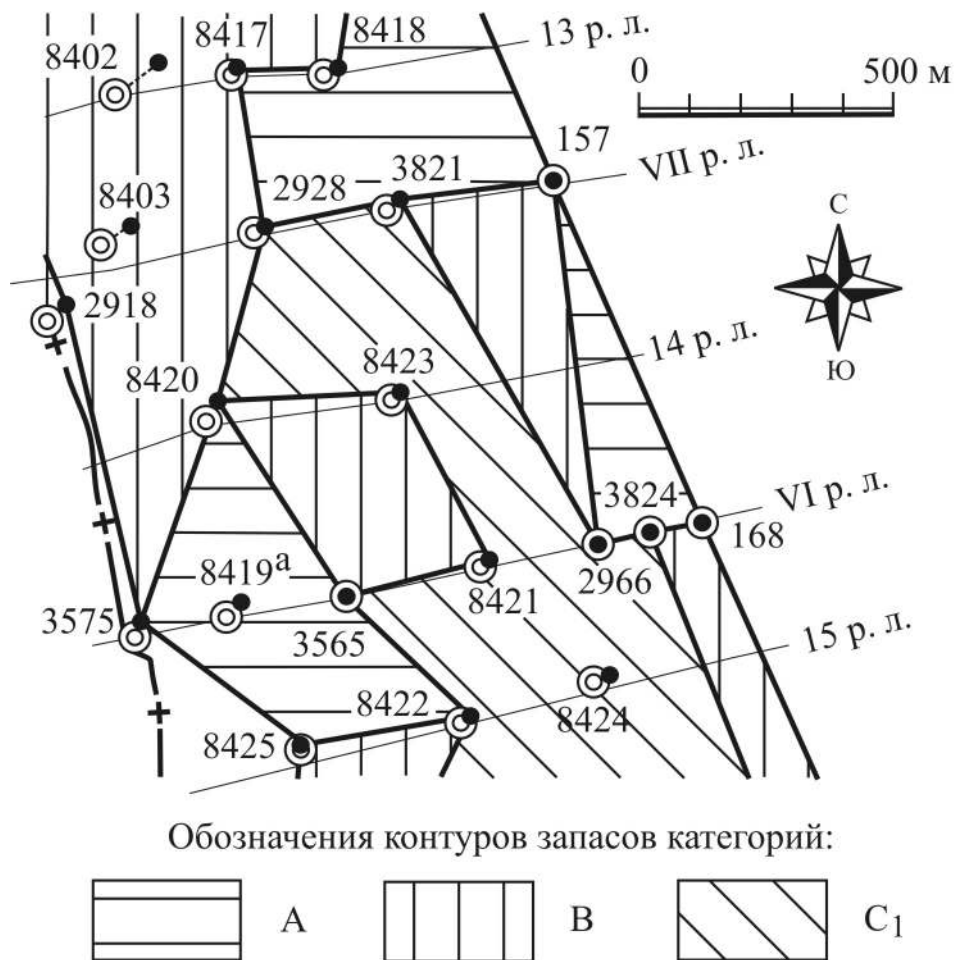


Рис. 4.2. Фрагмент картограммы достоверности изучения гипсометрии пласта XXVII поля шахты «Первомайская»

Например, треугольный контур категории А на рис. 4.2 (скважины 2966 – 3824 – 168 на VI разведочной линии и 157 на VII) выделять не имеет смысла в связи с тем, что его фактическое наличие не может быть объективно учтено при планировании развития горных работ и его имеет смысл перевести в категорию В соседних контуров.

Кроме того, поскольку вышеуказанные требования к форме оценочных блоков не всегда позволяют количественно оценить запасы всей изучаемой площади, например, контур подсчета, расположенный юго-западнее линии скважин 3575 и 8425 (разведочные линии VI и 15 на рис. 4.2), количественно не оценен в связи с конфигурацией разведочной сети. Установление категории таких контуров производится с учетом категорий соседних контуров.

При этом категория контура либо сохраняет категорию соседних (для категорий В и C_1 , границы которых могут, как известно, экстраполироваться за пределы оконтуренных скважинами границ), либо принимается на одну категорию ниже, чем у них. Такое снижение ранга достоверности является обязательным при контакте контура с запасами категории А, для остальных категорий – в зависимости от условий.

Итоговая картограмма используется в дальнейшем при выделении границ подсчетных блоков, а поскольку последние не всегда прямолинейны, то возможно их некоторое несовпадение с контурами оценочных блоков на итоговой картограмме достоверности запасов. Поэтому при указании категории запасов в подсчетном блоке следует ориентироваться на категорию запасов, которая, в соответствии с картограммой достоверности, распространяется на его подавляющую часть.

5. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых производится на основании «Положения о государственной экспертизе запасов полезных ископаемых, геологической, экономической и экологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 69 от 11.02.2005 (с изменениями к нему, утвержденными постановлением № 37 от 22.01.2007).

Необходимость проведения государственной экспертизы запасов полезных ископаемых вызвана тем, что по существующему законодательству собственником запасов сырья, находящегося в недрах, является государство. Недропользователь лишь пользуется участком недр на определенных условиях, оговоренных в лицензионном соглашении. Поэтому государство должно и имеет право знать количество и качество полезного ископаемого, находящегося в пределах конкретного участка недр, а также отслеживать движение запасов в процессе его эксплуатации.

Государственная экспертиза запасов минерального сырья существует более 80-ти лет и осуществляется в настоящее время ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ «ГКЗ»). По результатам работы ФГУ «ГКЗ» сформирован и ведется государственный баланс полезных ископаемых страны. Он ведется по видам минерального сырья, а изменения в состоянии запасов вносятся в баланс ежегодно.

Учет прошедших экспертизу запасов угля в государственном балансе ведется с разделением по геолого-экономическим районам, объектам разведки, маркам угля и категориям разведанности. В нем отражаются сведения о состоянии запасов угля на начало года, изменения, произошедшие в течение года, и остаток запасов угля на конец года с указанием даты и номера протокола их утверждения. Изменения в запасах разделяются на произошедшие за счет добычи, потерь при добыче, списании запасов, изменении границ и разведки. Основной формой отчетности о данном изменении является форма № 5-гр.

Последние три вида изменений (списание, изменение границ и разведка) также подлежат государственной экспертизе. Внести изменения в государственный баланс без проведения экспертизы невозможно.

Предоставление в пользование участка недр для добычи полезных ископаемых разрешается только после проведения государственной экспертизы. Таким образом, проведение государственной экспертизы является обязательным условием для разработки проекта и дальнейшего освоения участка недр.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых может проводиться на любой стадии геологического изучения месторождения при условии, что имеющейся геологической информации достаточно для объективной оценки количества и качества сырья и условий его извлечения из недр. То есть, если созданная на месторождении разведочная сеть достаточна для оценки запасов сырья по промышленным категориям ($A+B+C_1+C_2$), недропользователь вправе в любой момент подготовить необходимые материалы и обратиться в федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) или его территориальный орган с просьбой о проведении государственной экспертизы запасов сырья, находящихся в пределах предоставленного ему участка недр или его части. По итогам предварительного рассмотрения материалов подсчета запасов Роснедра или его территориальный орган принимает решение об их направлении на экспертизу в ФГУ «ГКЗ» или в его филиал.

После завершения государственной экспертизы запасов угля в ФГУ «ГКЗ» сводное экспертное заключение направляется на утверждение в «Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых» Роснедра или в «Территориальную комиссию по запасам полезных ископаемых» территориального управления по недропользованию этого агентства («ГКЗ» региона). Эта комиссия на своем заседании рассматривает и утверждает выводы государственной экспертизы. Решение оформляется протоколом, который направляется в государственные фонды и является основанием для внесения изменений в государственный баланс запасов угля.

Материалы подсчета запасов по месторождениям, впервые выявленным в результате геологоразведочных работ, оцененным и подлежащим учету на государственном балансе, должны содержать технико-экономическое обоснование кондиций и отчет с подсчетом запасов, выполненный в соответствии с «Рекомендациями по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых», введенными в действие приказом Минприроды России от 30.04.1998 № 123 [7].

Материалы, обосновывающие изменения запасов (до 50 % к ранее утвержденным) в результате завершения проекта геологоразведочных работ либо за счет переоценки без проведения геологоразведочных работ, должны содержать отчет с подсчетом запасов, выполненный в соответствии с вышеупомянутыми «Рекомендациями...» [7], выписку из утвержденных кондиций для подсчета запасов, а также сведения об изменениях, произошедших после утверждения кондиций, которые могут повлиять на уточнение условий отработки.

Если предоставленный в пользование участок недр ранее разведан, признан подготовленным для промышленного освоения и его запасы уже учитываются государственным балансом в нераспределенном фонде недр, но контуры предыдущего подсчета не совпадают с контуром лицензии, производится пересчет запасов. В данном случае по параметрам предыдущего утверждения выполняется пересчет запасов угля в контуре лицензии, представляющий собой, по сути, выборку запасов угля в ее контуре на подсчетных планах предыдущего утверждения запасов. Требования к пересчету несколько ниже, чем к отчету с подсчетом запасов угля. Экспертиза указанного пересчета запасов угля проводится как экспертиза оперативного изменения состояния запасов угля. На ее основании в государственном балансе осуществляется движение запасов угля из нераспределенного в распределенный фонд недр.

В ходе государственной экспертизы подсчета запасов угля оценивается наличие лицензии на право пользования недрами, выполнение условий лицензионного соглашения, наличие государственной регистрации работ.

Далее оцениваются объем и качество выполненных геологоразведочных работ, достоверность опробования и объем лабораторных исследований, правомерность и достоверность выполненных геологических построений.

Результатом государственной геологической экспертизы является сводное заключение, подготовленное с учетом заключений экспертов.

В экспертном заключении эксперта ГКЗ исчерпывающе конкретно и в максимально сжатой форме дается оценка по следующим основным направлениям, связанным с подсчетом запасов:

- соответствие экспертируемых материалов требованиям действующих нормативно-методических документов;

- наличие лицензии на недропользование, анализ выполнения условий лицензионных соглашений, в части, относящейся к государственной экспертизе;

- соответствие геологических построений первичной документации, обоснованность авторских представлений и выводов о генезисе и структуре месторождения, морфологии пластов, условиях залегания, качестве угля, его вещественного состава и технологических свойств, горно-геологических условий;

- правильность применяемой методики и техники, обоснованность объемов геологоразведочных и опробовательских работ, их качество, соблюдение комплексности использования полезных ископаемых, достаточность и достоверность анализов и технологических испытаний при изучении месторождения для обоснования рационального промышленного использования подсчитанных запасов угля и попутных полезных ископаемых;

- подготовленность месторождения для дальнейшего изучения или промышленного освоения, достаточность имеющихся материалов для составления проекта разработки нового или реконструкции действующего добывающего предприятия или целесообразность постановки разведочных работ, опытно-промышленной разработки, в зависимости от стадии геологоразведочных работ и достигнутой степени изученности в соответствии с действующим утвержденным порядком проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям;

– соответствие запасов угля, попутных полезных ископаемых, содержаний ценных компонентов и вредных примесей, горно-геологических условий разработки, заложенных в обоснование кондиций с данными, представленными в экспертируемом отчете, а при наличии существенных расхождений – влияние изменений на экономическую оценку месторождения;

– обоснованность принятого метода подсчета запасов и правильность техники его выполнения, соответствие произведенного подсчета запасов утвержденным кондициям и требованиям классификации запасов угля, проверяемость и достоверность баланса движения запасов по разрабатываемым месторождениям;

– оценка качества проведенных работ и представленных материалов.

В случае несогласия с авторскими геологическими построениями, величинами подсчетных параметров, распределением запасов по промышленному значению и степени разведанности в экспертном заключении приводится альтернативный вариант построений и предложения по изменениям, которые, по мнению эксперта, должны быть внесены в подсчет запасов. В экспертном заключении содержатся рекомендации по устранению вскрытых недостатков, осуществлению мероприятий, направленных на повышение качества и эффективности геологоразведочных работ, рациональному использованию разведанных запасов.

Степень детальности рассмотрения материалов должна обеспечить достоверность определения количества и качества запасов, их подготовленности к дальнейшему изучению или промышленному освоению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология подсчета запасов должна быть в совершенстве освоена специалистами маркшейдерской службы, которые в силу своих профессиональных обязанностей не только обеспечивают учет их последующего движения, но и сами осуществляют подсчет в пределах намеченных к освоению контуров месторождений.

В представленном учебном пособии обобщен опыт подсчета запасов угольных месторождений Кузнецкого угольного бассейна, который ранее не находил должного отражения в учебной литературе. Авторы полагают, что освоение студентами всего накопленного в России опыта по подсчету запасов будет способствовать их становлению как профессионалов.

Изложенные в пособии подходы и правила разрешения неоднозначных ситуаций, возникающих в процессе подсчета запасов, будут полезны и работникам геологоразведочных организаций, выполняющих работы по подсчету запасов угля.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букринский, В. А. Геометрия недр / В. А. Букринский. – М. : Изд-во МГГУ, 2002. – 549 с.
2. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: приказ МПР РФ от 11.12.2006 № 278. – М., 2006. – 6 с.
3. Методические рекомендации по выбору сечений изогипс, изолиний мощности и показателей качества при построении планов и разрезов угольных месторождений. – Ростов-н/Д : ВНИГРИуголь, 1989. – 12 с.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (угли и горючие сланцы): утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 № 37-р. – М., 2007. – 31 с.
5. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы: утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 № 37-р. – М., 2007. – 49 с.
6. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые): утверждены распоряжением МПР России от 05.07.1999 № 832-р. – М., 1999. – 22 с.
7. Рекомендации по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых: введены в действие приказом Минприроды России от 30.04.1998 № 123. – М., 1998. – 16 с.
8. Сендерзон, Э. М. Методика разведки угольных месторождений Кузбасса / Э. М. Сендерзон [и др.]. – Кемерово : Кемер. кн. изд-во, 1978. – 235 с.
9. Шаклеин, С. В. Количественная оценка достоверности геологических материалов угольных месторождений / С. В. Шаклеин. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2005. – 243 с.

10. Шаклеин, С. В. Методические рекомендации по проведению горно-геометрической экспертизы достоверности геолого-разведочной информации участков угольных месторождений (количественная оценка степени соответствия геологических моделей месторождения угля их истинному строению) / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова. Е-print: <http://portal.gkz-rf.ru>.

11. Шаклеин, С. В. Построение гипсометрических планов угольных пластов: учеб. пособие / С. В. Шаклеин ; Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1992. – 58 с.

12. Шаклеин, С. В. Практические вопросы геометризации мощности и основных показателей качества угольных пластов: учеб. пособие / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1997. – 60 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДСЧЕТУ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	9
2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ДАННЫЕ К ПОДСЧЕТУ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	17
2.1. Общие положения.....	17
2.2. Мощность пласта и его зольность.....	20
2.3. Кажущаяся плотность угля.....	31
2.4. Структурная карта пласта.....	34
2.5. Построение изолиний кондиционных значений.....	50
3. МЕТОД И СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ УГЛЯ	60
3.1. Метод геологических блоков.....	60
3.2. Отображение положения границ подсчетных блоков на планах и вертикальных проекциях.....	68
3.3. Определение площадей подсчетных блоков и средних уг- лов падения пласта в них.....	71
3.4. Способ среднего арифметического.....	85
3.5. Способ вертикальных разрезов.....	104
4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЗАПАСОВ	120
5. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	133

Рогова Тамара Борисовна
Шаклеин Сергей Васильевич
Ярков Владимир Олегович

**ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Учебное пособие

Редактор Савина З. М.

Подписано в печать 21.04.2010
Формат 60×84/16. Бумага белая писчая
Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 7,0
Тираж 500 экз. Заказ 15

Кузбасский государственный технический университет
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Типография Кузбасского государственного технического университета
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а