

2 ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ

2.1 ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ И АППАРАТУРЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

2.1.1 Методические вибросейсмические измерения*

В отчете ЭЛГИ за 1984. г. были показаны первые результаты высокочастотных вибросейсмических измерений, доказывающие улучшение качества сейсмических разрезов при применении сложных вибросигналов. В 1985. г. помимо опытно-методических работ сложные вибросигналы применялись также и на участке Мань-Восток–Жамбек в стадии детальных геофизических исследований на бурые угли. В результате предварительных опытных измерений было принято решение применять высокочастотные сложные вибросигналы, состоящие из трех линейных составляющих, с граничными частотами 40–200 гц, 60–200 гц и 80–200 гц, соответственно. Полученные разрезы — высокого качества; они точно отображают геологическую обстановку, чем в значительной мере облегчается проектирование дальнейших работ.

В качестве примера приводится миграционный временной разрез GV-10 (рис. 48), по которому однозначно определяются условия залегания отдельных образований, а также структурные элементы. Особенно хорошо видно изменение падения миоценовых образований: пологое залегание близ точки 5⁰⁰ сменяется падением к западу под углом около 20°. Между скважинами Ма-211 и Ма-262 выявлена зона сбросов амплитудой в несколько сот метров. Восточная часть этой зоны явно соответствует главному разлому, к западу от которого образовалась серия ступенчатых сбросов. Качество разреза выше, нежели разрезов, ранее полученных на этом же участке способами как вибрационного, так и взрывного возбуждения. В этом можно убедиться путем сравнения с интервалом 2,5–3,5 км разреза, приводимого на рис. 6. Годового отчета ЭЛГИ за 1982 г. и расположенного в 100–200 м от разреза GV-10, примерно параллельно с ним: при том же способе обработки, временной разрез GV-10 характеризуется лучшим разрешением как по вертикали, так и по горизонтали, а также повышенным отношением сигнал/шум.

На основе положительного опыта применения сложных вибросигналов

* Дьёрдь Л.

методические работы были продолжены. При этом сопоставлялись результаты, полученные при применении сложных вибросигналов, с такими, полученными при применении программированных нелинейных вибросигналов. При применении нелинейных сигналов спектр входного сигнала может регулироваться особенно точно, а мгновенная частота и амплитуда сигналов может определяться через каждые 8 мсек. Дальнейшее достоинство применения нелинейных вибросигналов заключается в том, что при этом устраняется уменьшение амплитуд на высоких частотах, наблюдаемое в случае применения линейных составляющих сложных вибросигналов. Недостатком способа является невозможность изменения вибросигнала в поле: использоваться могут лишь сигналы, форма которых установлена предварительно, в лабораторных условиях; поэтому выбор наиболее подходящей формы вибросигнала осуществляется довольно громоздким способом.

Опытные измерения проводились на участке Мань-Восток-Жамбек. Профиль МОВ К-7/85 был измерен при двух разных вибросигналах, результаты измерений показаны на *рис. 49/a* и *49/b*, как суммированные временные разрезы К-7А/85 и К-7С/85. Измерения по профилю К-7А/85 проводились сложным вибросигналом, состоящим из 4-х составляющих, с граничными частотами 30–130 гц, 40–140 гц, 50–150 гц и 60–160 гц соответственно. Профиль К-7С/85 измерялся нелинейным вибросигналом, меняющимся по функции $f_i = 30 + 9t + 5 \sin\left(2\pi \frac{t}{14}\right)$. Теоретические амплитудные спектры сигналов показаны на *рис. 50* и *51*. Амплитудные спектры сейсмических каналов для точек 500 м и 1000 м показаны на *рис. 52* и *53*. Эти спектры суммированы и нормированы по 10 каналам. По рисункам можно установить, что спектры каналов зависят как от типа вибросигнала, так и от мощности и распространенности приповерхностных рыхлых отложений. В точке 1000 м спектр сейсмических каналов имеет более низкую частоту, что связано с фильтрацией высокочастотных составляющих приповерхностными рыхлыми отложениями. Так же четко устанавливается, что спектр нелинейного вибросигнала более широкий, а высокочастотные составляющие появляются сильнее, чем в случае сложных линейных сигналов. Причина явления заключается в уменьшении на высоких частотах амплитуды линейных составляющих, чего не наблюдается в случае нелинейных вибросигналов.

При сопоставлении разрезов выявляется, что выклинивание эоценовых отложений, включающих угольный пласт, в сторону главного разлома отмечается лишь при измерениях с нелинейными сигналами. В последнем случае в некоторой степени вырисовывается также и внутреннее строение олигоценых отложений. Причина отличия разрезов заключается в отличии применявшихся сигналов. По результатам первых опытов можно

предполагать, что применение нелинейных вибросигналов в решении заданий, требующих высокое разрешение, вероятно, приводит к положительным результатам.

При ранее проведенных измерениях часто встречался случай, когда хорошо отрегулированный вибратор при новой обстановке давал искаженные сигналы из-за плохой связи почва—вибратор. Искаженность вибросигнала может приводить к искажению автокорреляционного Клаудер-вавелета, что в значительной мере ухудшает отношение сигнал/шум. Для устранения этого явления американской фирмой Пелтон Компани разработан регулятор мощности, которым автоматически регулируется движущая сила вибратора в случае ухудшения связи почва—вибратор. Эта автоматическая система обеспечивает вход вибросигналов без искажений, вне зависимости от приповерхностных условий, что также может привести к улучшению качества материалов. В 1985 г. выполнены опытные измерения с регулятором мощности, при которых сейсмоприемник, измеряющий ускорение, был прикреплен к вибратору. На *рис. 54* показан случай, когда отрегулированный для пашни вибратор работал на дороге с асфальтовым покрытием. Выявлено значительное искажение амплитуды и фазы вибросигналов, полученных без регулятора мощности, особенно в интервале частот 65–100 гц. Эти искажения устраняются в случае применения регулятора мощности. Учитывая положительные результаты опытных измерений, нами были приобретены как высокочастотные вибраторы, так и регулятор мощности. Серийная эксплуатация начинается в 1986 г.

2.1.2 Обработка данных сейсмического просвечивания на ЭВМ*

В отчете ЭЛГИ за 1981 г. впервые было отмечено, что уровень знаний, накопившихся в ходе подготовительных теоретических и практических исследований, обеспечивает возможность применения сейсморазведки в горных выработках. За прошедшие четыре года сейсмические измерения в шахтах проводились регулярно, так что данный метод вошел в комплекс геолого-геофизических методов, применяемых нашим институтом.

Одним из важнейших и часто применяющихся методов подземной сейсморазведки является просвечивание пластовыми волнами, служащее для проверки участка пласта, подготовленного к выемке, на спокойное залегание. Обработка сейсмограмм при этом в течение нескольких лет осуществлялась вручную; позже, однако, в связи с повышением качественных требований появилась необходимость в разработке машинных способов обработки.

* Водоки Т., Герман Л.

Обработка основана на анализе SH-компонента пластовых волн — так называемых волн Эвисона. Известно, что значительная часть волновой энергии низкочастотных составляющих волн Эвисона распространяется в виде плоской волны вне волноводного пласта, когда энергия высокочастотных составляющих почти полностью сосредоточена внутри пласта. Следовательно, если волноводный канал (то-есть пласт) обрывается нарушением малой амплитуды, то распространяющиеся внутри пласта высокочастотные составляющие теряют значительно больше энергии, чем низкочастотные составляющие, энергия которых частично распространяется вне пласта. Таким образом, для волн Эвисона нарушение пласта является фильтром низких частот, крутизна которого зависит от смещения по разлому. Например, крутизна фильтрационного эффекта от сброса с амплитудой в полумощность пласта составляет 4–8 дБ/октав, в то время как в случае сброса с амплитудой, превышающей мощность пласта, та же величина может достигать до 20–40 дБ/октав.

Путем анализа спектра проходящих волн Эвисона можно судить о том, потерпели ли волны фильтрацию или нет, и, если потерпели, — в какой степени. По фильтрации и ее величине можно делать выводы о наличии сброса в просвеченном пространстве, а также о его амплитуде. Для количественной оценки степени фильтрации вводится величина „просвечиваемость“, представляющая отношение энергий высоко- и низкочастотной полос в проходящей волне Эвисона. Значения просвечиваемости, измеренные вдоль окраин некоторого участка, можно рассматривать в качестве проекций просвечиваемости, характеризующей внутренние части того же участка. Таким образом, по измеренным краевым значениям просвечиваемости путем обратного проектирования можно получить карту просвечиваемости всего участка.

Следовательно, результатом машинной обработки данных просвечивания пластовыми волнами является карта просвечиваемости, на которой тектонические нарушения проявляются в виде „теневых зон“. Наиболее надежная оценка смещения по разломам получается при составлении не одной-единственной карты просвечиваемости, а целой серии карт, различающихся по положению верхней полосы частот. На высокочастотных картах просвечиваемости, очевидно, выявляются даже мелкие нарушения, в то время как на более низкочастотных картах проявляются лишь более крупные нарушения.

В качестве примера представлены результаты просвечивания пластовыми волнами, выполненного на шахте Менкеш Ноградского Угольного треста. На *рис. 55* и *56* представлены две карты всей серии; одна из них соответствует т. н. частотам Эри (320–380 гц), а вторая — полосе более низких частот (260–320 гц). По карте частот Эри (*рис. 55*) выявляются два параллельных сброса, простирающиеся вдоль пласта.

Один из них, со смещением в 6,3 м, уже был ранее известным по штреку С; по карте просвечиваемости можно предполагать, что амплитуда смещения уменьшается в сторону штрека А, вплоть до полного исчезновения за ним. Второй сброс не был известен по выработкам; он отмечается четкой теневой зоной вдоль штрека В.

По более низкочастотной карте (рис. 56) эффект от первого сброса обнаруживается лишь в непосредственной близости штрека С, при удалении от которого он становится расплывчатым, отмечая тем самым уменьшение амплитуды смещения. Теневая зона от второго сброса четко выявляется и на этой карте, свидетельствуя о значительном смещении. Благодаря своевременному выявлению второго сброса предприятие отказалось от выемки пласта на этом участке, поскольку добыча угля из сильно тектонизированного пласта стала бы экономически невыгодной.

2.1.3 Пакет программ „Прогнозирование геологического разреза“ (ПГР) в обработке сейсмических данных*

В 1985 г. адаптирован новый вариант пакета программ ПГР (Прогнозирование геологического разреза), разработанного в Центральной Геофизической Экспедиции Министерства Нефтяной промышленности СССР (рис. 57). Пакет имеет тесную связь с пакетом программ СЦС-3 (см. Годовой отчет за 1983 г). Пакетом программ ПГР обеспечиваются следующие возможности:

- а). Восстановление истинных амплитуд с помощью новых программ:
- поправка амплитуд за влияние поверхности;
 - восстановление истинных амплитуд для компенсации сферических потерь и потерь поглощения;
 - амплитудное регулирование по данной функции.

Из перечисленных выбирается самая подходящая программа, в зависимости от дальнейшего хода обработки и характера данной области.

- б). Динамический анализ сейсмических записей:

- поинтервальный динамический анализ сейсмических записей: составление энергетических и частотных спектров отражений в выделенных интервалах;
- полный динамический анализ сейсмозаписей в полном интервале времени: сейсмические трассы с помощью преобразования Гильберта во временном интервале могут преобразоваться в трассы мгновенных амплитуд, частот, фаз, когерентностей, беспорядочности и энтропий.

* Петрович И., Майкут Т.

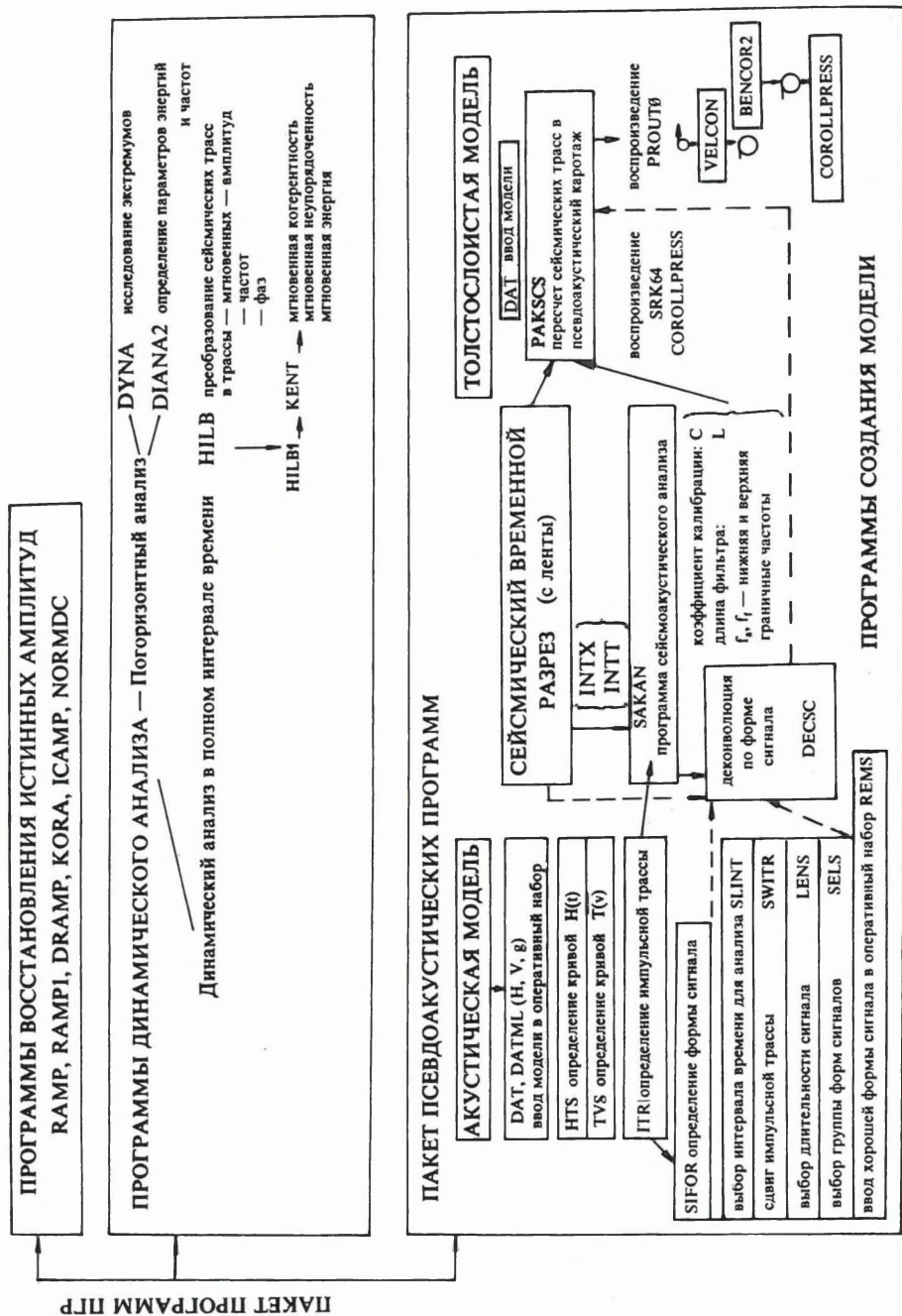


Рис. 57. Блок-схема программной системы ПТР

Процедура KENT состыкована с обрабатывающей системой, в которой применяется специальный процессор, разработанный в ЭЛГИ.

в). Возможности пакета программ PAKSCS (псевдоакустический каротаж):

- подготовка данных акустического каротажа;
- определение формы сигнала;
- деконволюция на основе формы сигнала;
- сейсмоакустический анализ;
- псевдоакустическое преобразование.

Результаты SAKAN (сейсмоакустического анализа) визуализируются с помощью программ, разработанных в ЭЛГИ для цветного плоттера (пример применения PAKSCS приводится в журнале Геофизический Бюллетень, 32, 1, стр. 3–29).

В качестве примера рассмотрим динамический анализ сейсмического разреза MOB NSZ-1/80 в полном интервале времени. Разрез получен в 1980 г. в районе Надьэдыхаза, на буроугольном месторождении; цель работ заключалась в литологической корреляции, а также в определении положения и размеров структурных элементов. На *рис. 58* демонстрируется миграционный временной разрез в поамплитудной раскраске, полученный в результате первичной обработки. На следующих рисунках показаны возможности ПГР: приводятся картины мгновенных амплитуд (*рис. 59*), мгновенных частот (*рис. 60*) и мгновенных энтропий (*рис. 61*). На основе согласованной интерпретации разных вариантов обработки составлена картина структур (см. *рис. 58*), подтверждаемая новыми скважинами, пробуренными вблизи профиля, и данными по горным выработкам. На дальнейших рисунках показываются сбросы, четко выявляемые на определенных вариантах обработки. Можно установить, что сбросы со смещением свыше 5 м (жирные сплошные линии) выявляются вполне надежно. Сбросы же со смещением около 5 м (тонкие сплошные линии) выявляются однозначно в том случае, если ими смещается и контакт эоценовых и олигоценых отложений. Сбросы со смещением в 1–5 м (тонкие прерывистые линии) выявляются лишь в исключительных случаях.

2.1.4 Портативная цифровая аппаратура SD 16 для сейсмических исследований*

Первый образец новейшего члена семейства аппаратуры SD был изготовлен в 1985 году; он является современным 96-канальным полевым прибором с большой разрешающей способностью и управляется с помощью ЭВМ. Разработка новой аппаратуры, так же как и более ранних моде-

* Надь М.

лей SD 10, SD 12 и SD 20, велась в рамках непосредственного сотрудничества по разработке между ЭЛГИ и VEB Geophysik Leipzig и его потомком VEB Geophysikalische Gerätebau.

Конструкция и работа аппаратуры иллюстрируется прилагаемой блок-схемой (рис. 62). Сигналы от сейсмоприемников по 144 каналам поступают непосредственно на вход прибора. Функция традиционного переключателя типа „стекинг“ выполняется созданным на входном каскаде электронным селектором каналов, а сигналы отобранных 96 каналов передаются на бестрансформаторные усилители. Аналоговое формирование сигналов осуществляется на фильтрах низких и высоких частот, а также на режекторном фильтре, работающем на частоте 50 Гц. Сейсмические сигналы от мультиплексера поступают на 2×48 -канальный цифровой усилитель, а отсюда — на аналогово-цифровой преобразователь. После преобразования сортировка сигналов осуществляется с помощью схемы согласования и формирователя в соответствии с требованиями для записи магнитных сигналов в формате SEG B. Цифровые сигналы могут быть вынесены на коррелятор до формирователя (вибросейсмическое применение); с того же разъема может осуществляться аналоговая регистрация преобразованных в обратном направлении аналоговых сигналов. После создания ленточного формата запись цифровых сигналов осуществляется на накопителе с магнитной лентой типа MBS 161. Визуализация сейсмических записей, зафиксированных на магнитной ленте, осуществляется, после соответствующего преобразования, электростатическим матричным печатающим устройством типа ERG 21. Электрические схемы, создающие пусковой сигнал для взрыва, обеспечивающего получение сейсмической записи, а также подающие сигналы момента взрыва и вертикального времени, устроены в системе взрыва.

Центральное управление функциональными блоками аппаратуры осуществляется с помощью системы управления, созданной на базе микро-ЭВМ типа Роботрон К 1520 и включающей в себя центральной процессор, а также полупроводниковую память, необходимую для функционирования и для хранения программ, далее, пульт управления, дисплей для визуализации информации, необходимой для эксплуатации прибора и для контроля за его работой, электрические схемы по созданию основного импульса тактовых сигналов, систему шины и, наконец, в качестве вспомогательного устройства, кассетный магнитофон и программатор ЭПРО.

Вся аппаратура размещается в двух шкафах; в первом из них находится накопитель на магнитной ленте типа MBS 161, далее, микро-ЭВМ типа К 1520 и, наконец, электрические схемы цифрового воспроизведения с блоком питания; во втором шкафу находится накопитель данных типа SDA III, состоящий из 96-канальных аналоговых усилителей и фильтров, из т. н. управления структурой, который может использоваться и в качестве

электронного переключателя типа „стекинг“, из мультиплексера, из цифрового усилителя и АЦП вместе с устройством для управления ими, из опциональных аналоговых схем воспроизведения и из блока питания.

На отдельном столике монтирован дисплей ЭВМ и пульт оператора, с которого осуществляется выбор программ и параметров из меню на экране, далее, запуск и остановка программ. В ящике стола находится клавиатура ЭВМ, используемая лишь при составлении или изменении программ и хранящаяся поэтому в закрытом состоянии в процессе нормальной эксплуатации.

В комплект аппаратуры входит электростатическое цифровое регистрирующее устройство типа ERG 21. Имеется возможность подключения пусковой кодовой системы (при взрыве с помощью радио), а также аналогового регистратора. Модель SD 16 может быть дополнена коррелятором, занимающим отдельный шкаф. Работы по стыковке, связанной с дополнением, продолжаются.

Помимо оперативных функций прибором обеспечиваются и некоторые виды внутреннего контроля, охватывающего общую работоспособность, состояние готовности электрических схем, наличие питающих напряжений и точность. Из многочисленных возможностей по контролю ниже перечисляются основные:

- контроль за работой накопителя на магнитной ленте (функции, запись, воспроизведение);
- проверка параметров системы накопителя данных с помощью тестового генератора, проверка размещения косы;
- проверка цифровых данных разрядными лампами;
- интерпретация тестовых записей на осциллографе или загрузкой магнитных лент в ЭВМ.

Питание аппаратуры обеспечивается бензиновым генератором, создающим сетевое напряжение 3×220 в.

Основные технические параметры приводятся ниже:

количество сейсмических каналов	— 24 или 48 или 96;
вход сейсмических каналов	— бестрансформаторный, $P_{вх} = 2 \times 5$ ком;
максимальное входное напряжение	— 600 мВ _{эфф} , при усилении в 18 дБ;
эквивалентный входной шум	— $\leq 0,3$ мкВ _{эфф} , при усилении в 36 дБ;
количество вспомогательных каналов	— 5;
усилие сейсмических каналов: постоянное усиление	— 18, 24, 30 или 36 дБ;

АРУ	— от 0 по 84 дб, ступенями в 12 дб; точность ступеней — 0,1‰;
гармоническое искажение	— <0,1‰;
затухание по кросс-талку	— > 80 дб;
идентичность сейсмических каналов	— менее 1‰;
частотный диапазон без фильтров	— от 5 по 250 гц;
фильтры:	
фильтры низких частот	— „ВЫХОД“ —3 дб при 5 гц; 12, 17, 24 или 12, 24, 42 гц (выбирается на ЭВМ, но могут устанавливаться и другие частоты);
крутизна	— 12 или 24 дб/октав;
режекторный фильтр на 50 гц	— —3 дб при 45 и 55 гц, —40 дб при 49,9 и 50,5 гц (включается ЭВМ);
А/Ц преобразователь	— 13 разрядов + знак;
линейность	— 0,1‰;
магнитная регистрация сигналов:	
формат ленты	— методом фазовой кодировки, плотность записи 1600 бит/дюйм;
диаметр катушки	— 216 мм;
температурный диапазон при эксплуатации	— от +10 до +50 °С;
допускаемая влажность воздуха	— от 10 до 95‰.

2.1.5 Инженерно-сейсмический процессор ИСП*

В последние годы в ЭЛГИ разработана аппаратура ESS-01-24 (типовое обозначение в СССР: ИСН-01-24) для инженерной сейсморазведки и SSS-1 (типовое обозначение в СССР: ШСС-1) для шахтной сейсморазведки; измерительные данные в обоих случаях регистрируются в полевых условиях на стандартную магнитную кассету (типа Филипс) в цифровой форме. С целью обработки эти данные могут непосредственно загружаться в любую ЭВМ с кассетным входом. Для удовлетворения новых требований, возникших в процессе эксплуатации этой аппаратуры, в ЭЛГИ разработана новая аппаратура ESP-1 (обозначение в СССР: ИСП-1); эти новые требования заключались в следующем:

- создать возможность для первичной оценки данных ежедневных измерений еще на полевой базе, с одной стороны, для того, чтобы

* Цифра Ф.

повторные измерения с целью устранения измерительных ошибок могли быть выполнены своевременно и экономично, а с другой стороны, для того, чтобы при изменении полевых условий измерений могли быть внесены соответствующие изменения в параметры измерений;

- создать возможность трансформирования данных измерений, записанных на магнитные кассеты, в формат девятидорожной магнитной ленты, более широко используемой в вычислительных центрах.

Цель новых разработок заключалась в удовлетворении этих требований путем создания программируемой аппаратуры с обеспечением возможности дальнейшего усовершенствования аппаратуры путем программирования без существенного изменения ее физической конфигурации. Аппаратура и ее узлы видны на *рис. 63*.

Основными узлами физической конфигурации являются следующие:

- центральный блок управления на микропроцессорах по 8 разрядов, накопитель данных емкостью 64 килобайта, оперативная память на 24 килобайта, периферийные согласователи для кассеточного магнитофона-накопителя, для девятидорожного магнитофона-накопителя, для терморегистратора и для дисплея; рабочие режимы и параметры аппаратуры устанавливаются с помощью ступенчатых переключателей с пульта центрального блока управления; последний включает в себя кассеточный магнитофон-накопитель, а также дисплей для визуализации сейсмограмм;
- стандартный девятидорожный магнитофон-накопитель с плотностью записи 800 бит на дюйм при способе записи НРЗИ;
- термочувствительный регистратор для вынесения сейсмограмм на термочувствительную бумагу.

Основными режимами работы являются следующие:

- вынесение таблиц меню на графический дисплей;
- загрузка сейсмограмм в память с кассеточного магнитофона-накопителя (в своей современной конфигурации характеризующаяся аппаратура обеспечивает работу с форматами аппаратуры ESS 01-24 и SSS-1);
- вынесение сейсмограмм на графический дисплей;
- операции по изменению функций, как, например, увеличение или уменьшение амплитуд или же применение экспоненциальных объемлющих кривых к сейсмограммам (АРУ характеристик);
- регистрация или же автоматическая перезапись с кассеточного магнитофона-накопителя на ленточный;
- регистрация сейсмограмм на терморегистраторе.

2.2.1 Освоение, развитие и применение в Венгрии метода переходных процессов*

Необходимость освоения метода в Венгрии

При поисках и разведке бокситов и углей в Венгрии часто возникает необходимость в выявлении структур незначительных размеров, скрытых под литологически неоднородной толщей. Этим обстоятельством определяется и направление разработки методики геофизических исследований: необходимо разрабатывать такие методы геофизических измерений, которые обладают значительной разрешающей способностью как по вертикали, так и по горизонтали, и которые в то же время экономичны, то-есть обеспечивают возможность изучения крупных площадей при сравнительно малых затратах средств и труда.

Электромагнитный метод переходных процессов во временной области и его различные модификации, как ожидается, смогут удовлетворить этим требованиям. В связи с этим в течение 1981–85 гг. при поддержке Государственной Комиссии по техническому прогрессу и Центрального Геологического управления нами проведены исследовательские работы с целью изучения теоретических основ метода переходных процессов и разработки способов обработки и интерпретации данных, соответствующих задачам, возникающим при поисках и разведке бокситов. Параллельно с этим, используя международные связи ЭЛГИ, нами проведены опытные измерения на бокситовых месторождениях Венгрии с привлечением иностранных полевых партий (Geonics EM-37, Широтем-II, Импульс-С, Stone PEM). На базе полученного опыта при поддержке Госкомиссии по техпрогрессу нами куплена аппаратура фирмы Геоникс (Geonics Ltd.), Торонто (Канада), типа EM-37/3, которая с учетом ее параметров и стойкости в полевых условиях была признана наилучшей с точки зрения решения поставленных задач. Аппаратура налажена и с февраля 1985 г. эксплуатируется. Для микро-ЭВМ типа HP 85B, поставленной вместе с аппаратурой и годной к эксплуатации в полевых условиях, составлен пакет программ обработки данных, обеспечивающий обработку измери-

* Балог Дь., Какаш К., Прачер Э., Шёреш Л., Уйсаси Й.

тельных данных серийно и на должном уровне. Нами используется и такой способ, не известный в литературе, который обеспечивает достижение поставленных горно-геологических целей. Наконец, выполненные нами опытные измерения подтверждают пригодность метода переходных процессов для решения исследовательских задач.

Теоретические основы метода переходных процессов

В методе переходных процессов к петле из проводника с изоляцией или к паре заземленных электродов (датчик) подводится постоянный ток (рис. 64/а), создающий магнитное поле (первичное поле). После выключения тока исчезающее магнитное поле создает в слоях, слагающих полупространство, такие вихревые токи, которые индуцируют на поверхности земли быстро затухающее, но характерное для распределения сопротивлений вторичное магнитное поле (рис. 64/б). На основании измерения компонент вторичного магнитного (переходного) поля, выполняемого катушкой малых размеров, можно рассчитать геоэлектрическую модель полупространства.

На практике вместо постоянного тока используется серия двуполярных импульсов, а переходные сигналы суммируются в несколько тысяч раз с целью улучшения отношения сигнал/шум. Переходный сигнал (кривая затухания) регистрируется замерами по логарифмической шкале времени (рис. 64/с). Прибором Геоникс ЕМ-37/3 обеспечиваются 30 замеров (каналов) в интервале времени от 80 мксек до 80 мсек.

Программы на ЭВМ, составленные в ЭЛГИ, могут быть использованы для расчета переходного поля над слоистым полупространством в случае установки датчика и приемника по схемам рис. 65:

- а) установка с общей осью (CIL=central induction loop) предусматривается для зондирования методом переходных процессов в узком смысле; при этом измеряется поле, возникающее в центре рамы или петли, лежащей на поверхности полупространства;
- б) установка Турам предусматривается для съемки методом переходных процессов с передвигающимся передатчиком; при этом измеряется поле четырехугольной рамы, лежащей на поверхности, в любой точке этой поверхности;
- в) установка диполь-диполь (или Slingram); при этом измеряется поле вертикального магнитного диполя в плоскости диполя.

Вместо измеренных кривых затухания или расчетных компонент напряженности поля обычно целесообразно рассматривать значения кажущихся удельных сопротивлений, выводимых из этих параметров. При расчете сопротивлений учитываются параметры измерений (моменты передатчика

и приемника и их взаимное расположение), и их влияние удаляется из кривых затухания.

В прошедшие годы с целью углубленного изучения и совершенствования теоретических основ метода переходных процессов и интерпретации получаемых данных нами проведены следующие работы:

- составлены программы расчета эффекта ок горизонтально-слоистого полупространства на базе обратного преобразования Фурье расчета эффекта в области частот [PRÁCSER et al. 1983]
- усовершенствованы программы, полученные от Геологической службы США в рамках научно-технического сотрудничества между США и ВНР [ANDERSON 1981]; упрощен и уточнен асимптотический расчет значений по поздним временам;
- разработан алгоритм быстрого расчета сопротивлений с использованием инверсии значений напряженности поля, действительный и для случая установки Турам.

Теоретические расчеты влияний и алгоритмы расчета сопротивлений изложены в отдельной работе [PRÁCSER 1986].

Исследование способов интерпретации при методе переходных процессов

Геологическое строение месторождений полезных ископаемых Венгрии таково, что в первую очередь необходимо применение методов интерпретации, обеспечивающих определение параметров горизонтально-слоистых сред. Для этой цели достаточно широко используются два способа. При *графической интерпретации с использованием палеток кривых* мощность и сопротивление слоев определяются путем сравнения измеренных кривых с теоретическими кривыми для двух- и трехслойных сред. Недостатком этого способа является то, что — подобно интерпретации кривых ВЭЗ тем же способом — уже в случае трех слоев операции становятся громоздкими и трудно поддаются программированию. *Автоматическая инверсия* представляет собой машинный способ, при котором дается начальная оценка модели, а затем на ее основе, задавая определенную точность, приближение расчетной кривой к измеренной обеспечивается итерацией. Эти программы, однако, например, те, что основываются на алгоритме Маркара, работают даже на мощных ЭВМ слишком медленно ввиду того, что расчет теоретической кривой метода переходных процессов занимает на порядок больше времени, нежели расчет кривой частотного зондирования. На ЭВМ Р-35 нашего института расчеты по интерпретации единственной кривой занимают 10–30 мин. Недостатком обоих способов является то, что не поступает информации об отклонениях исследуемой среды от горизонтально-слоистой модели (о горизонтальных не-

однородностях), а также, что маломощные слои прослеживаются с трудом. Оба способа применяются нами при полевых исследованиях. Наряду с ними удалось найти новый способ, заключающийся в таком преобразовании, в результате которого из кривой кажущееся сопротивление — время (кривая зондирования методом переходных процессов) можно получить *кривую кажущееся сопротивление — кажущаяся глубина*. Можно показать, что в случае простых моделей точки пересечения касательных к кривым глубина—сопротивление с достаточной точностью намечают границы слоев, так что на основании кривой сопротивление—глубина, рассчитанной по данным полевых наблюдений, можно сразу провести геологическую интерпретацию, обычно удовлетворяющую практическим требованиям. Расчет глубины назван нами инверсией TRH, а интерпретация — *способом TRH*, поскольку пересчет между временем (T) и глубиной (H) осуществляется через сопротивление (R).

В инверсии TRH используется свойство переходного поля, возбужденного с поверхности, которое выявлено рядом исследователей [NAVIGNIAN 1979; RAICNE-GALLAGHER 1985] и заключается в том, что изменение исчезающего после выключения тока магнитного поля по вертикали и во времени описывается уравнением

$$\alpha = \frac{t \cdot \rho}{H^2}.$$

На этом основании можно определить глубину охвата H_{eff} при переходных процессах, наглядной аналогией которой могла бы быть мгновенная глубина расширяющегося кольца дыма под передатчиком:

$$H_{eff} \sim \sqrt{\rho t}.$$

На основании изложенного представляется целесообразным определять кажущуюся глубину H_A , соответствующую данному распределению сопротивлений, данной установке передатчика и приемника и данному времени наблюдения, и в неоднородном полупространстве таким образом, чтобы она в однородном полупространстве равнялась мгновенной глубине кольца дыма; таким образом

$$H_A = C_r(r, z, t) \sqrt{t \rho_A},$$

где ρ_A — кажущееся удельное сопротивление, относящееся к моменту времени t , а C_r — функция, характеризующая установку приемника—передатчика, параметры слоев и время, которая с достаточным приближением может считаться константой при данной установке передатчика—приемника. Значения C_r , точнее, границы области, в которой ее можно заменить константой, нами определялись путем математического моделирования, пока лишь для установок СИЛ и диполь-диполь.

Способ TRH может применяться совместно с расчетным определением сопротивлений, обеспечивая возможность быстрой и автоматизированной интерпретации. Комбинируя его с графическим способом или со способом инверсии Маркара, могут быть определены также и сопротивления отдельных слоев.

Обработка данных при методе переходных процессов

Пакет программ по сбору, коррекции и обработке данных (рис. 6б) разработан с использованием программ фирмы Геоникс, предназначенных для работ при поисках и разведке рудных месторождений, в соответствии с требованиями на отечественных объектах. В нем содержатся программы точного и быстрого расчета сопротивлений, графического представления кривых зондирования для графической интерпретации и, естественно, инверсии TRH.

Первым шагом при обработке является регистрация измерительных данных. Одним из преимуществ измерений методом переходных процессов является принципиальная возможность получения полной кривой зондирования по единственному затуханию. На практике, с целью уменьшения измерительных ошибок и улучшения соотношения сигнал/шум, обычно суммируются 200–20 000 кривых затуханий. Несмотря на это, регистрация одной кривой переходных процессов, не считая времени, необходимого для установки рамы передатчика, занимает значительно меньше времени, нежели при других видах зондирования. Для того, чтобы это преимущество не было потеряно позже, в аппаратуре Геоникс ЕМ-37/3 измерительные данные поступают в блок хранения данных на памяти с твердым телом емкостью 32 килобайт, откуда они переводятся на микро-ЭВМ HP 85B, эксплуатируемую на полевой базе.

После необходимых поправок, например, ошибок при записи заголовков отдельных записей, и дополнений (ток возбуждения, параметры рамы) первичные полевые данные попадают на ленту. Сводные кривые составляются с их использованием; в них объединяется в виде единой кривой затухания информация, содержащаяся в записях, сделанных в одной и той же точке, но при разных полярности и частоте передачи. Дальнейшая обработка осуществляется с использованием этих серий данных. Программы по расчету кажущихся удельных сопротивлений могут применяться равным образом при установках СИЛ, диполь-диполь и Турам.

Представление обработанных данных осуществляется в различных формах. В ходе расчета сопротивлений графически представляются значения \dot{B}_z , кривые $\varrho_A(t)$ и $H_A(\varrho_A)$ всех сводных кривых с соответствующей шкалой. Программой по графическому представлению разрезов представляются кривые $H_A(\varrho_A)$ отдельного разреза в любом вертикальном

и горизонтальном масштабе с использованием матричного печатающего устройства. Программой по представлению тоновых карт представляются результаты площадных измерений или разрезы глубин таким образом, что различные тона пропорциональны сопротивлениям. Эта форма представления очень наглядна.

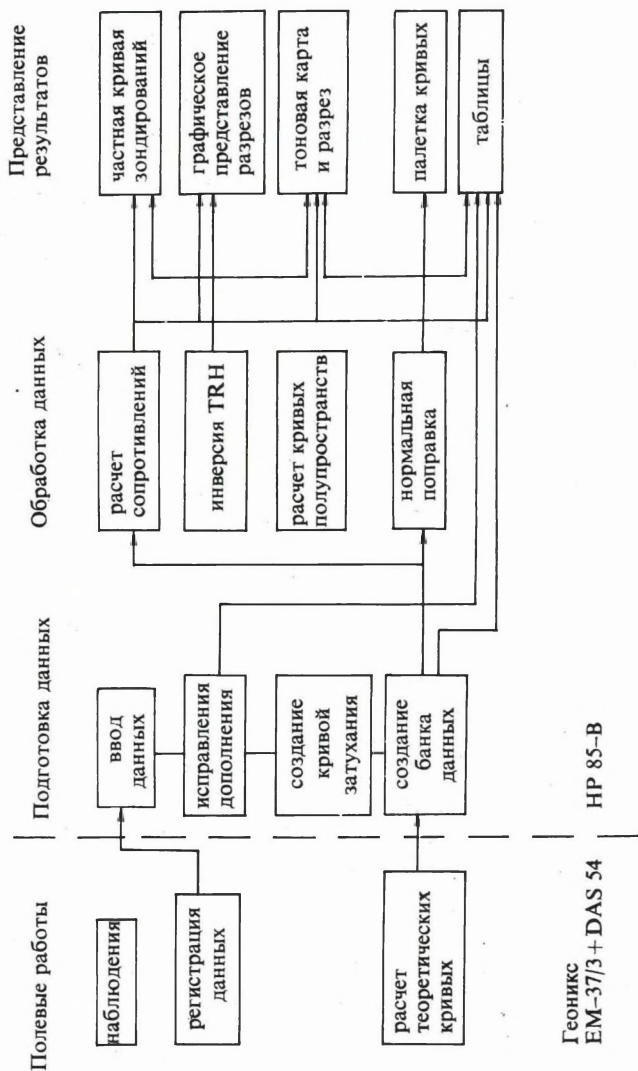


Рис. 66. Схема процесса обработки данных при методе переходных процессов.

Для характеристики результатов, достигаемых методом переходных процессов, представляются два примера по нашим опытным измерениям. Точное выявление югозападного сброса с амплитудой, превышающей 500 м, на *бокситовом месторождении Ихаркут–Неметбаня* до сих пор затруднялось тем обстоятельством, что перекрывающие отложения олигоцен-нижнемиоценового возраста становятся высокоомными над сбросом (поэтому при измерениях на постоянном токе нельзя было получить правильную картину сброса) и что влияние сброса сопровождается значительным влиянием рельефа (создающим существенные помехи при зондировании). По разрезу TRH, составленному по зондированию СІЛ, и ее интерпретации (*рис. 67/а*) можно выявить ступенчатый сброс. На *рис. 67/б* представлен разрез сопротивление—глубина, рассчитанный способом TRH, обеспечивающим возможность быстрой качественной интерпретации. По данным интерпретации разреза на расстоянии более 100 м от плоскости сброса уже характеризуется глубина залегания триасового фундамента (в пределах опущенного крыла скважина Nb-66 на глубине 503 м приостановлена в олигоцен-нижнемиоценовых отложениях). Тем самым доказывается высокая разрешающая способность зондирований методом переходных процессов по латерали; боковые возмущения меньше влияют на результаты зондирований, нежели при других методах. Причина заключается в том, что, поскольку кривая затухания измеряется после выключения первичного поля, неточности в механизме возбуждения мало влияют на процесс измерений, так что приемник может быть помещен в центр передающей рамы. Путем осуществляемого таким образом наблюдения „с нулевым разрывом“ можно обойти проблему, заключающуюся в том, к какой точке относятся результаты электромагнитных измерений, поскольку „исследуемая область пространства“ заведомо находится под общей осью передатчика и приемника. На *рис. 67/с* сопоставляются кривые зондирований, полученные на разных крыльях сброса.

Бокситовая залежь Баконьослоп–Х. разведана бурением по сети 50×50 м. Бокситовая залежь на глубине 150 м и подстилающая терригенно-обломочная толща выполняют грабенообразное углубление в триасовом доломитовом фундаменте. Выявление бокситового тела методами, применявшимися до сих пор, затруднялось тем обстоятельством, что эффект от бокситов, обладающих средним сопротивлением, был маскирован перекрывающей олигоцен-нижнемиоценовой толщей, содержащей горизонты высоких сопротивлений.

Над бокситовой залежью выполнено зондирование СІЛ по сети 25×25 м, и по полученным данным составлены карты сопротивлений по срезам времени (каналам). Продвигаясь в область возрастающих времен, с

увеличением глубины проникновения постепенно стала вырисовываться удлиненная зона малых сопротивлений, сопоставимая с грабеном, выполненным бокситами, по данным продуктивных скважин. На *рис. 68/a* представлена карта сопротивлений (ρ_A), составленная по каналу № 15 (2,2 мсек). С целью снижения затрат и для ускорения измерений зондирование СИЛ может быть заменено съемкой Турам (при этом перемещается только приемник, и нет необходимости в перемещении передатчика с точки на точку). Для внедрения в практику было необходимо разработать алгоритм расчета сопротивлений при методе Турам, с помощью которого в принципе можно получить полноценную кривую зондирования методом переходных процессов для каждой точки съемки. На *рис. 68/b* представлены результаты съемки, выполненной в пределах передающей рамы размером в 400×400 м (канал № 12, 1,1 мсек). На этой карте, подобно предыдущей, намечается простирание грабена и несколько более детальная картина по сравнению с зондированием СИЛ. Выявление небольшой бокситовой залежи под неоднородной, проводящей кровлей может быть связано с тем, что эффект от изменений в продольной суммированной проводимости при методе переходных процессов проявляется сильнее, чем при любом методе измерений на постоянном токе или в области частот [KAUFMAN 1978].

Представленными примерами иллюстрируется принципиальная возможность применения метода переходных процессов, но для многостороннего использования в поисках и разведке бокситов необходимо выяснение ряда факторов. Нами получены обнадеживающие результаты также и при поисках и разведке иных видов полезных ископаемых и при структурных исследованиях. Планируются дальнейшие работы по усовершенствованию методов интерпретации.

Литература

- ANDERSON L. 1981: Transient soundings for central-induction loop forward solutions for layered models. USGS Open-File Report, pp. 81–1309.
- KAUFMAN A. A. 1978: Resolving capabilities of the inductive methods of electroprospecting. *Geophysics*, **43**, 7, pp. 1392–1398.
- NAVIGHIAN M. N. 1979: Quasi-static transient response of a conducting half space. *Geophysics*, **44**, 10, pp. 1700–1705.
- PRÁCSER E. 1986: Computing of transient response of layered halfspace, problems in apparent resistivity inversion. *Geophysical Transactions*, **32**, 3, pp. 221–234.
- PRÁCSER E., SZIGETI G., SZABADVÁRY L. 1983: Расчет кривых искусственных электромагнитных частотных зондирований ELGI 1982. Годовой Отчет pp. 285–289.
- RAICHE A. P., GALLAGHER R. G. 1985: Apparent resistivity and diffusion velocity. *Geophysics*, **50**, 10, pp. 1628–1633.

2.2.2 Новый метод в поисках и разведке месторождений твердых полезных ископаемых в сложных тектонических условиях*

Тектонические условия отечественных месторождений каменных углей, вскрытых за последнее время, по праву считаются сложными, как это доказывается продолжающимися в настоящее время разведочными работами в Боршоде (район на севере Венгрии, центр — г. Мишкольц) и в Мане (месторождение к западу от г. Будапешт). В то же время для проектирования горнодобывающих предприятий и для планирования эксплуатационных работ требуются все более надежные, более точные и более детальные данные по геометрии залежей. Нередко этим требованиям не удовлетворяют и работы, выполненные традиционными буровыми, а также наземными и скважинными геофизическими методами в большом объеме.

Общей особенностью наземных геофизических методов является то, что, с одной стороны, для успешного обнаружения искомого объекта необходима соответствующая контрастность геолого-геофизических параметров, а с другой — разрешающая способность методов быстро уменьшается с глубиной. Поскольку при разведочно-эксплуатационных работах на уголь в последнее время требуется выявление структурных элементов с малыми амплитудами, задача часто оказывается не разрешимой даже с использованием современных наземных геофизических методов высокой разрешающей способности.

Скважинной геофизикой в последние годы сделан огромный шаг вперед в определении пройденных образований. О структуре межскважинного пространства в простых случаях можно судить по данным замеров элементов залегания и по корреляционным разрезам. Выявление структурных элементов: сбросов, взбросов, выклиниваний, — однако, оказывается слишком трудной задачей даже при применении современных скважинных геофизических методов и приборов, а также машинных способов интерпретации и моделирования.

В последние годы разработаны новые методы, обеспечивающие более высокую по сравнению с наземными методами разрешающую способность и больший по сравнению со скважинными методами охват пространства. Эти методы, хотя для измерений требуются каротажные станции, называются межскважинными измерениями, межскважинным просвечиванием, геотомографией, независимо от того, идет ли речь об электроразведке или сейсморазведке. Прообразом этих методов можно считать метод заряженного тела.

Ниже нами будет охарактеризован вариант электрического просвечивания межскважинного пространства, разработанный в СССР Геофизи-

* *Кирай Э., Сигети Г.*

ческой экспедицией Карагандинского Геологического управления в 1970–82 гг. специально для поисковых и разведочных работ на уголь. С целью решения упомянутых задач назрела необходимость в отечественном освоении этого метода. Осуществление взяли на себя Государственное Геологоразведочное Буровое предприятие (ОГКФВ) и ЭЛГИ, методические исследования на территории Венгрии и обработка получаемых результатов также осуществляется совместно. Новому методу дано венгерское название „метод электрической корреляции“ (МЭК).

Теоретические основы измерений и интерпретации при МЭК.

Предположим, что в геологоразведочных работах на уголь чаще всего встречается модель, в которой сопротивление угольных пластов не менее, чем на порядок, выше сопротивления вмещающих пород и слабо изменяется в пределах исследуемого участка.

Для выполнения измерений необходимы две скважины, целиком прошедшие угольный пласт и зашедшие в почву. Питающий электрод A^+ , представляющий собой точечный источник постоянного тока, находится в одной из скважин, в то время как другой электрод B^- находится на поверхности, в „бесконечном“ удалении от устья скважины. Сначала A^+ находится в одной скважине, на глубине, определяемой условиями измерений, в то время как в другой скважине, обычно через равные промежутки, проводятся измерения разности потенциалов ΔV (точнее, отношения $\Delta V/I$ для учета возможных колебаний питающего тока) на паре электродов, например, на двух электродах зонда сопротивлений; во время измерений зонд не перемещается, так что измерения получаются точечные. Измерения повторяются при разных положениях электрода A^+ частью над и частью под угольным пластом. Важнее всего получить достаточное количество измерительных данных с питающим электродом внутри угольного пласта. С этой целью в пределах угольного пласта электрод A^+ перемещается малыми шагами, порою всего на 2 м. Данная серия измерений представляет лишь половину всего объема измерений, включающего подобную же серию после того, как питающие и измеряющие электроды поменялись местами. Особенности залегания угольного пласта в межскважинном пространстве могут быть прогнозированы на основании совместной интерпретации двух серий измерений.

Поле потенциалов точечного питающего электрода в случае предполагаемой модели обладает некоторыми особенностями, позволяющими провести качественную или геометрическую интерпретацию результатов измерений МЭК. Если как питающий электрод, так и центр пары измерительных электродов находятся в плоскости непрерывного угольного пласта, который может залегать и наклонно, то измерительные элек-

троды находятся на поверхности с равными потенциалами, так что градиент потенциалов близок к нулю. Это остается в силе и в том случае, если вследствие сброса или выклинивания одной из скважин данный угольный пласт вообще не пройден или пройден на другой глубине (в случае сброса плоскостью угольного пласта считается плоскость, определяемая той частью пласта, которая вскрыта скважиной с измерительными электродами). Если разность в глубинах пересечения создается наклонным залеганием пласта, то по нулевым точкам градиента потенциалов можно определить истинное падение пласта.

Другая особенность заключается в том, что форма аномалии градиента потенциалов такова же или подобна, но противоположна в знаке, для случаев с питающим электродом над и под плоскостью угольного пласта. При интерпретации, естественно, необходимо рассматривать совместно, во-первых, где находится нулевое положение в данном разрезе и есть ли оно вообще при данном положении питающего электрода, и, во-вторых, имеются ли аномалии противоположного знака в разрезах, полученных при разных положениях питающего электрода. На этом основании можно решить, прослеживается ли непрерывно данный пласт из одной скважины к другой, а если нет, — где и как его сплошность прерывается.

На практике вместо градиента потенциалов измеряется разность потенциалов, дающая хорошее приближение градиента, и даже в случае указанной простой модели приведенные соображения действительны только при определенных упрощениях. Границы применимости метода определяются совместно геологическими параметрами и геометрическими характеристиками. На кривой разностей потенциалов аномалии зависят от отношения действительных сопротивлений угольного пласта и вмещающих пород, а также от мощности пласта, то-есть от произведения $\mu \cdot h$. Из геометрических характеристик определяющим является отношение расстояния между скважинами к желаемой глубине исследований (что не меньше глубины залегания угольного пласта) R/H .

Наряду с измеренными кривыми разностей потенциалов в целях интерпретации может быть использована и т. н. кривая дипольных потенциалов. Она может быть составлена на основании кривой разностей потенциалов путем изображения измеренных данных, полученных парами электродов с центрами внутри пласта, в качестве функции глубины соответствующего питающего электрода. По принципу взаимозаменяемости питающих и измерительных электродов тем самым составляется кривая, которую можно было бы получить в результате измерений точечным электродом поля от дипольного источника в пределах пласта. В благоприятном случае положение угольного пласта может быть определено и по такой кривой дипольного потенциала.

Качественная интерпретация, направленная в первую очередь на опре-

деление пространственного положения угольного пласта, таким образом, осуществляется следующим путем: на основании сопоставлений с теоретическими кривыми, рассчитанными для наиболее обычных моделей, решается, можно ли вообще использовать измерительные данные, далее, в случае положительного заключения, на основании особенностей кривых определяется наиболее вероятное положение угольного пласта в скважинах и устанавливается, прослеживается ли он непрерывно или нет.

Количественная интерпретация при МЭК

Наряду с качественной интерпретацией было бы очень важно, с одной стороны, определить сопротивление угольного пласта и вмещающих пород, а с другой — уточнить в случае прерывистого пласта положение перерыва сплошности. Это может осуществляться путем расчета теоретических кривых с учетом геометрических условий и размеров при данном измерении, затем путем изменения сопротивлений выявляется кривая, наиболее близкая к измеренной.

Для уточнения геологических параметров, точнее, поведения угольного пласта между скважинами (сплошной—прерывистый, сброс—выклинивание) используются кривые дипольных потенциалов. Это обусловлено в первую очередь тем, что при данной модели значения дипольных потенциалов могут быть измерены с максимальной точностью, далее, разность потенциалов в пласте высокого сопротивления больше и может быть измерена надежнее.

Теоретические кривые разностей потенциалов и дипольных потенциалов рассчитываются по программе „РАЗВЕДКА“ на ЭВМ ЕС-1035 в случае горизонтально-однородной модели, состоящей из произвольного количества слоев, с учетом геометрических параметров данного измерения МЭК. Теоретическое решение допускает отклонение в пределах отдельных слоев вертикального сопротивления от горизонтального, то есть соблюдения для n -ного слоя уравнения $\rho_x^{(n)} = \rho_y^{(n)} \neq \rho_z^{(n)}$, что означает учет моделью анизотропии.

В алгоритме, используемом в программе, ядерная функция решения в формуле преобразования Ханкеля рассчитывается устойчивым способом, обеспечивающим защиту от экспоненциальных переполнений, а преобразованные значения определяются исключительно на основании формулы Вебера—Липшица путем приближений ядерной функции экспоненциальными функциями.

Исходные параметры для интерактивной интерпретации могут быть взяты с кривых кажущихся сопротивлений по скважинам, поскольку кривая МЭК подвержена существенному влиянию со стороны непосредственного геоэлектрического окружения, то-есть распределения сопротив-

лений вокруг скважины. Нельзя упускать из вида, что на кривых скважинной геофизики чаще всего изображены кажущиеся параметры, поэтому при определении исходных параметров целесообразно учесть и общее геоэлектрическое строение участка и, если таковой имеется, опыт по интерпретации пар скважин, обработанных ранее.

Если путем интерактивного изменения параметров удастся получить теоретическую кривую, сходную с измеренной, то это, наряду с качественной интерпретацией на основе особенностей кривых, дает количественное доказательство спокойного, непрерывного между скважинами залегания угольного пласта. Если хорошего соответствия не достичь и после 15–20 попыток, то это указывает на существенное отклонение реального геологического строения от горизонтально-слоистой модели. Причина отклонений может заключаться в первую очередь в прерывистости слоя высокого сопротивления, то-есть угольного пласта. После вынесения такого заключения можно дать оценку места перерыва.

Применение МЭК

Измерения МЭК выполнены на угольных месторождениях Дубичань, Орослань и Мань. Лучшие результаты получены на месторождении Дубичань, где на основании обработки данных по 30 парам скважин удалось определить основные характеристики геологического строения.

На *рис. 69* приведены кривые, полученные в результате измерений по паре скважин в юго-западной части месторождения Дубичань. Обращает на себя внимание, что интерпретируемые аномалии возникали только в связи с верхним пластом залежи, в то время как в связи с нижним пластом эффект обычно еле заметен, хотя на усредненных кривых сопротивлений оба пласта выделяются сходными значениями, слабо отличающимися от таковых вмещающих пород. Противоречие, однако, лишь кажущееся. В действительности верхний пласт сложен высококачественными бурыми углями высокого сопротивления, в то время как нижний пласт состоит из глинистых углей (углистых глин) более низкого сопротивления, но это различие не отражается на кривых усредненных сопротивлений.

Размеры измерительной установки и сопротивления, а также мощности обеспечивают возможность надежного прослеживания пластов на расстояние до 170 м, что лишь несколько меньше действительного расстояния. На кривой разностей потенциалов № 4 по скважине Рн-44 нулевой переход находится на глубине 77 м, откуда расчетное значение анизотропии составляет $\lambda = 1,4$. На кривых обнаруживаются все особенности, позволяющие провести интерпретацию. По форме кривых дипольных потенциалов и по положению нулевых переходов непосредственно под

залежью можно заключить, что угольная залежь непрерывна в межскважинном пространстве.

На основании имеющегося опыта можно с достаточной надежностью выделить те участки ведения эксплуатационных работ, где залежь не нарушена, непрерывна и залегает полого и где можно исключить наличие сбросов с амплитудой, превышающей мощность залежи. Следующим шагом является определение геометрии сбросовых структур. Возможности обеспечены, но могут быть реализованы только при увеличении роли количественной машинной интерпретации.

Место измерений МЭК в геологоразведочных работах

Измерения МЭК целесообразно проводить как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации. На стадии детальной разведки, предшествующей проектированию, в отдельных опорных разрезах можно оценить наличие или отсутствие сброса между скважинами, находящимися друг от друга довольно далеко, например, в Дубичане — в 200–300 м. Этого, однако, не достаточно для управления эксплуатационными работами. Путем измерений МЭК по скважинам, сгущающим сеть, можно добиться значительно более точной информации, поскольку меньшее расстояние между скважинами обеспечивает более благоприятные условия измерений.

Несмотря на то, что при производстве измерений МЭК можно благодаря скважинам приблизиться к изучаемым объектам и добиться решающей способности, превышающей таковую при наземных измерениях, представляется нецелесообразным применение одного лишь МЭК. Значительно лучше превратить этот метод в элемент такого комплекса исследовательских методов, в котором данные, обеспечиваемые МЭК могут быть интерпретированы совместно с данными бурения, а также наземных и скважинных геофизических методов. Тем самым можно обеспечить поступление более надежной и более точной информации для отечественных горно-геологических работ на уголь.

2.2.3 Геофизическая разведка нефти и газа методами электроразведки*

Условия для возникновения неструктурных залежей нефти и газа в Большой Венгерской впадине были благоприятными в первую очередь в толще паннонских отложений. Своды малой амплитуды, в пределах которых в пористых отложениях могли накопиться углеводороды, не смогли быть выявлены электроразведкой и даже теми методами сейсмо-

* Чёргей Й., Лада Ф.

разведки, которые обладают максимальной разрешающей способностью. В то же время, как первичная миграция, приводившая к возникновению залежей, так и вторичная, имевшая место после формирования залежей, могла привести к изменениям физических параметров в толще перекрывающих отложений, обеспечивающим возможность прямого выявления присутствия нефти и газа, а также оконтуривания залежей электроразведочными методами.

Ниже представлены результаты частотных зондирований, а также магнитотеллурических измерений и измерений методами ЕП и ВП, выполненных в окрестностях с. Баттоня над газовыми залежами поперечником в несколько км и находящимися на глубине 700–1200 м среди паннонских отложений. Измерения выполнены в пределах площади, охарактеризованной в Годовом отчете за 1983 г., и примерно в 20 км от нее, в окрестностях с. Касапер при сходных геолого-геофизических условиях. Схема установок приводится на *рис. 70* и *71*.

Измерения методом ВП выполнены во временной области. По кривым затухания, полученным вслед за токовыми импульсами длительностью 15–20 сек, сначала определялись динамические параметры, то есть кривые затухания были разложены на составляющие экспоненты согласно равенству

$$u(t) = \sum w_i \cdot e^{-t/\tau_i} + w_0,$$

где w_i — амплитуда i -того экспоненциального члена ряда, приближающего кривую затухания,

τ_i — постоянная времени i -того экспоненциального члена,

w_0 — остаточный член.

На *рис. 72* представлена кривая затухания (кружки), снятая в точке № 35 профиля KASZ-1 при разnose АВ=1600 м. Кривая затухания образуется в качестве суммы двух различных физических процессов. Постоянная времени индукционных процессов меньше таковой вызванной поляризации, ее амплитуда отрицательна и при данных условиях обладает более высоким абсолютным значением. Поэтому примерно до 0,3 сек преобладает влияние индукционного члена, а затем лишь — вызванной поляризации. В соответствии с этим кривые затухания нами обычно были разложены на экспоненты с 1–2 индукционными членами (отрицательная амплитуда) и с 1–2 членами вызванной поляризации (положительная амплитуда). Динамические параметры обозначены на *рис.* звездочкой, их параметры определялись на ЭВМ HP 9845B путем стыковки кривых, основывающейся на способе Маркара. Кривая, полученная с лучшими параметрами, выделена на *рис.* сплошной линией. Обозначены также и измеренные (крестики) и рассчитанные (сплошная линия) значения дифференциальной поляризуемости (dP).

На *рис. 73/a* представлены изменения параметров вызванной поляризации кривых затухания, снятых вдоль профиля ВАТ-1 при разное 2400 м. На *рис. 73/b* представлена кривая зависимости кажущейся поляризуемости от времени, полученная путем изображения вдоль профиля значений, остающихся после вычитания из измеренных кривых индукционных членов и постоянного члена (w_0). Можно заметить, что на кривых как экспоненциальных амплитуд (w) и постоянных времени (τ), так и кажущейся поляризуемости вблизи от раздела газ/вода (точки 15–16, 18–19, 25–26) образуются пары относительных максимумов—минимумов.

С целью изучения локальных неоднородностей осадочной толщи в интервале глубин 300–1200 м проведено пятикомпонентное (E_{X1} , E_{X2} , H_{Y1} , H_{Y2} , H_Z) частотное зондирование. Измерения были выполнены генераторной станцией типа ЕРС-67 (при максимальной силе тока в 30 а) и аппаратурой ДЭФ-1 с цифровой регистрацией в области частот 1–30 гц (по каждой точке зондирования на 104 дискретных частотах), с использованием установки, близкой к дипольно-экваториальной. В качестве передающего диполя использовался заземленный электрический диполь с АВ=2000 и 2500 м, а на стороне приемника — электрическое поле, параллельное передатчику (E_X), измерялось приемными диполями с MN=100 м, а магнитное поле, перпендикулярное передатчику (H_Y) и вертикальное (H_Z), измерялось индукционными зондами до расстояний 1000–1250 м в обе стороны от экватора передающего диполя. Расстояние между передающей и приемной линиями (R) составляло 6–8 км (*рис. 71*); в используемом диапазоне частот и при измеряемых кажущихся удельных сопротивлениях этого было достаточно, чтобы проводить зондирование в диапазоне волн. Благодаря этому, результаты измерений при частотном зондировании относятся к пункту, в котором находится приемник. Отклонение от дипольно-экваториальной установки было учтено при обработке данных, в геометрических коэффициентах.

Обработка результатов измерений осуществляется на ЭВМ типа Р-35 и НР 9845В. По единичным кривым зондирования составляются кривые зависимости кажущихся сопротивлений от глубины, затем они способом, изложенным в отчете за 1983 г., раскладываются на две составляющие, на региональный и остаточный члены. На *рис. 73/c, d* и *e* представлен профиль ВАТ-1 в интервале глубин 350–900 м (в приближении полиномами степени $N=2$ и $K=10$). В вертикальном направлении наблюдается монотонное уменьшение сопротивлений, в то время как в горизонтальном направлении обнаруживаются небольшие колебания сопротивлений. На кривой остаточной аномалии появляются аномалии между точками 0–14 и 19–26, там же, где наблюдались аномалии ВП, на глубине 700–800 м.

Изменения геофизических параметров в окрестностях неструктурных

залежей углеводородов, в первую очередь геоэлектрические неоднородности: трубообразные аномалии сопротивлений и поляризуемости на контуре газовых залежей или над ними, — а также некоторые примеры из СССР явились стимулом к проведению магнитотеллурических зондирований в таких обстановках. Измерения были выполнены магнитотеллурической аппаратурой типа ДЭФ-1 в диапазоне частот 0,5–20 гц (рис. 71) при $MN=100$ м и расстоянии между точками в 200 м (использование меньшего расстояния между электродами невозможно в силу электрических параметров аппаратуры). Подобно частотному зондированию, не ожидалось, что при магнитотеллурическом зондировании удастся выделить геоэлектрические слои по одиночным кривым зондирования, а было намечено прослеживание по профилю изменения электромагнитного поля. Определение значений магнитотеллурических сопротивлений осуществляется с использованием программы, ранее составленной в ЭЛГИ для обработки результатов традиционных магнитотеллурических измерений, на ЭВМ типа Р-35 с конволюционной фильтрацией во временном диапазоне. Диаграммы сопротивлений и магнитные полярные диаграммы представляются графически через ЭВМ типа HP 9845B.

На рис. 74 представлены результаты измерений, выполненных по профилю ВАТ-3 в прошлые годы. Глубинность, соответствующая частотам 10–20 гц (несколько сот метров), ни в одном из случаев не достигает глубины залегания газовых залежей (750 м), тем не менее, полярные диаграммы обнаруживают картину, характерную для горизонтальных неоднородностей, для геоэлектрических возмущающих тел двух или трех измерений. Полярные диаграммы над слоистыми средами имеют форму окружности, а значения магнитного тензора, описывающего взаимосвязь горизонтального и вертикального магнитных полей, составляют первые сотые. В нашем случае, однако, в окрестностях точек 11 и 21, находящихся вблизи от раздела газ/вода, полярные диаграммы сопротивлений сильно искажены, а на магнитных полярных диаграммах видно, что значения тензора приближаются к 1 и даже превышают ее, то-есть изменения магнитных параметров по вертикали сопоставимы по величине с таковыми по горизонтали. Тем самым подтверждается точка зрения, согласно которой изменения геоэлектрических параметров могут наблюдаться не только в непосредственной близости к залежам углеводородов, но и на значительно меньших глубинах в связи с геохимическими процессами, связанными с миграцией газов.

Для реального обоснования геолого-геофизической модели опытно-методические электроразведочные работы должны быть дополнены металлометрическим анализом керна (или шлама) буровых скважин и коротажем ВП по разведочным и эксплуатационным скважинам. Необходимо также и проведение сравнительных работ на пустых участках как на-

земными электроразведочными измерениями, так и скважинными измерениями. Для обеспечения результативности и реальной интерпретируемости опытно-методических электроразведочных работ, проводимых с целью выявления или оконтуривания неструктурных залежей углеводородов, необходима скоординированная работа соответствующих исследовательских и производственных учреждений.

2.2.4 Методика инженерно-геофизических зондирований

*Применение инженерно-геофизического зондирования на карьерах лигнитов**

Южно-Матрайским Угольным трестом лигниты добываются восточнее с. Бюккабрань, в долине ручья Гести.

Осенью 1985 г. открылась возможность провести опытные измерения методом инженерно-геофизического зондирования, применяемом в настоящее время серийно, с целью определения литологических особенностей перекрывающих отложений, глубины залегания и качества лигнитов, а также коэффициента фильтрации в разнообразных отложениях вскрытой толщи. Глубинность исследований составляла 15–21 м, расстояние между точками — 20 м, количество точек по профилю — 11 (рис. 75). Значения коэффициента фильтрации были определены по 6 зондированиям, по различным образованиям, всего в 9 пунктах. Перекрывающие отложения были изучены во всех пунктах на полную мощность, по лигнитам, однако, информация получена лишь по верхним 1,5–7,0 м залежи. Были изучены также значения коэффициента фильтрации и гидрогеологические условия по профилю.

Верхняя толща мощностью 10,5–15,8 м состоит в основном из глин. Зондированием № 1 изучен изменчивый разрез отложений, частью водупорных, частью водопроницаемых. Здесь, поскольку на поверхности и сейчас наблюдается временный водоток, толща изменчивых отложений, скорее всего, накопилась также вследствие деятельности временных водотоков. По зондированиям №№ 4 и 6–9 измерениями выявлены подобные смешанные по зернистости отложения. До зондирования № 5 прямо на лигнитах, а в остальной части профиля внутри толщи перекрывающих отложений залегают глины высокой пластичности. За исключением пункта № 3 эти глины имеют мощность 1,0–2,1 м. Их естественная гамма-активность, изученная имеющимися в наличии измерительными приборами, оказалась в два раза выше значений, характерных для обыч-

* Добровольны К.

ных глин. Механическое сопротивление (сопротивление сжатию и скалыванию) практически отсутствует, при внедрении зонда эти породы вели себя в качестве жидкости с высокой вязкостью. Объемный вес колеблется в пределах 2,02–2,26 т/м³, составляя в среднем 2,12 т/м³. На основании данных каротажа скважин, пробуренных на участке, эти породы были квалифицированы как бентониты. Устойчивость уклона, оформленного в ходе выработки пустых пород кровли, находится в опасности из-за наличия этих бентонитовых глин. Надежное выявление и прослеживание этого горизонта, трудно осуществимые бурением, представляют собой один из наиболее важных результатов проведенных измерений.

Исследованиями подтверждено, что по результатам инженерно-геофизического зондирования поверхность лигнитовой залежи может быть охарактеризована с высокой точностью, поскольку на границе глина/лигнит объемный вес уменьшается на 0,7–0,8 т/м³, естественная гамма-активность — примерно на 75–80%. Естественный объемный вес лигнитов составляет 1,32–1,45 т/м³. В пунктах №№ 1–6 в кровле лигнитов залегает переходная толща мощностью 1,0–3,3 м. В ней заключены прослои мощностью 20–30 см, для которых характерно совместное возрастание или убывание давления на острие зонда и естественной гамма-активности. Для определения вещественного состава этих прослоев требуются дальнейшие исследования.

Выяснение гидрогеологических условий обеспечивает ценную информацию для проектирования водослива из эксплуатационного пространства. Статические уровни грунтовых вод, измеренные в водоупорных отложениях перекрывающей толщи, оформились под воздействием давления. Коэффициент фильтрации в лигнитах на 7–9 порядков выше такого глин, обладающих прекрасными водоупорными свойствами. Отсюда следует, что водослив из лигнитов должен быть начат уже при вскрытии глин, поскольку при критической мощности толщи перекрывающих отложений в случае гидравлического взламывания почвы или же в случае прорезания свода лигнитов на площади размером в несколько десятков кв. м грунтовые воды, находящиеся под давлением, могут залить эксплуатационное пространство.

Инженерно-геофизическим зондированием и до сих пор удавалось разрешение многочисленных и разнообразных задач. Требованиям, связанным с изучением лигнитовых залежей, существующий комплекс методов удовлетворяет лишь частично. Для эксплуатационных работ большое значение имеет выявление горизонта глин, создающего опасность оползаний, и изменений зеркала грунтовых вод, но для детального изучения залежи лигнитов необходимо дальнейшее усовершенствование метода.

Инженерно-геофизическое зондирование приобретает все большее и большее значение в изучении приповерхностных рыхлых отложений. Возрастание количества измерительных данных привело к необходимости машинного выделения границ слоев и автоматизации квалификации слоев. Программа, характеризующая ниже, блок-схема которой приводится на *рис. 76*, рассчитана на настольную ЭВМ типа Коммодор 64, определяя по четырем параметрам, записанным в поле: давление общее и давление на острие прибора, естественную и гамма-гамма активность, — последовательность слоев и представляя ее в наглядной форме.

Обработка и интерпретация данных измерений, как это видно и на *рис.*, осуществляется в несколько этапов:

1. В ходе подготовки данных фильтрами в одном измерении удаляется значительная часть разнообразных ошибок, которые могут быть одиночными (связанными с процессом измерений ошибки), но могут быть и статистическими (колебания, связанные с характером радиоактивного излучения и с микроструктурой слоев).
2. Выявление границ слоев на основе исправленных данных осуществляется в две ступени. Сначала по каналам находятся места наиболее интенсивных изменений, затем на основе совместной интерпретации информации по всем каналам выбираются участки, которые могут быть истолкованы в качестве границ слоев. При выборе различные каналы имеют различные веса. Вес определяется, с одной стороны, тем, данные какого канала являются решающими с точки зрения выделения границ слоев, а с другой, тем, изменения какой амплитуды в измерительных данных по отдельным каналам необходимы и достаточны для однозначной идентификации литологического изменения.
3. Расчет параметров, характерных для отдельных слоев, производится простым усреднением, из которого, однако, исключены переходные интервалы.
4. Интерпретация, то-есть геологическая квалификация слоев, существующей программой может быть осуществлена только в случае аллювиальных отложений, ибо наш опыт наиболее богат в исследовании образования этого типа, и ЭВМ смогла быть научена распознаванию этих отложений. Если три главных параметра слоев: давление на острие, пропорциональное сопротивлению на разлом, естественную гамма-активность, пропорциональную содержанию илисто-глинистой фракции, и значения гамма-гамма-активности,

* Фейш И.

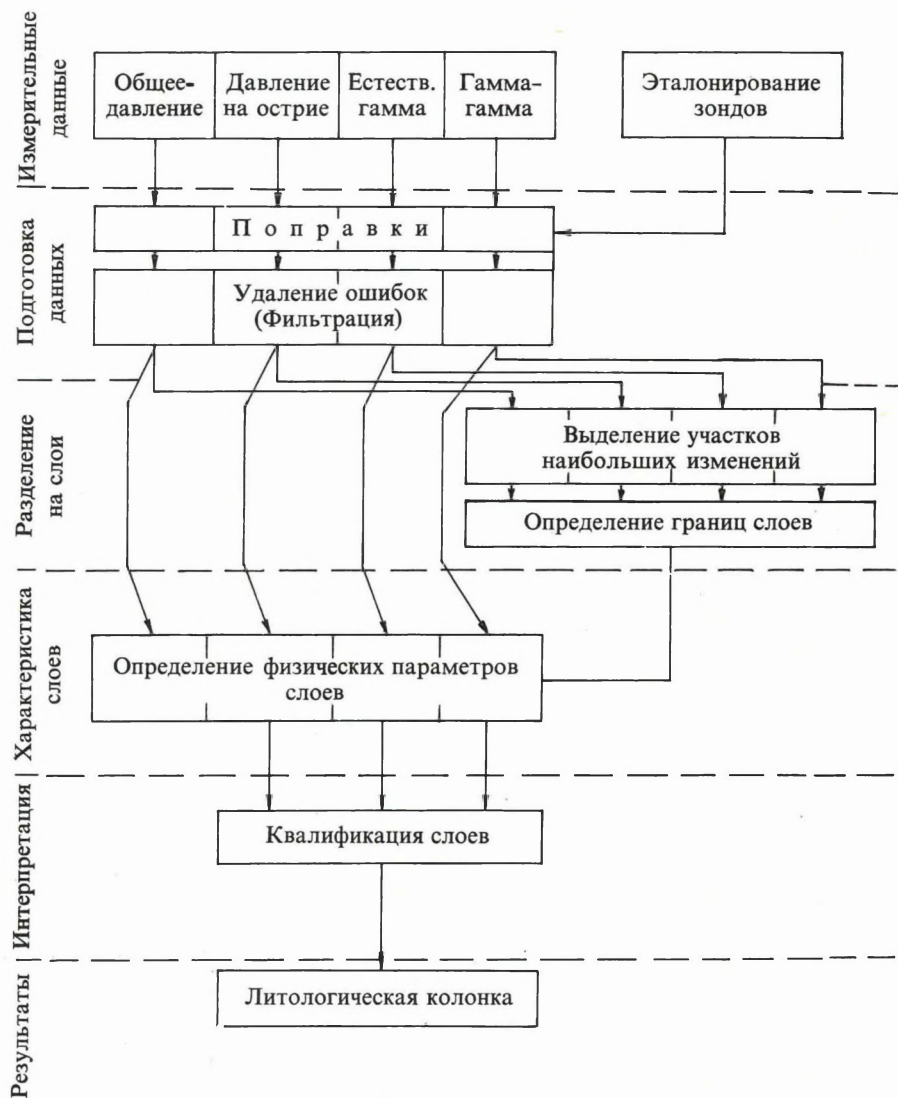


Рис. 76. Блок-схема машинной обработки данных инженерно-геофизических зондирований

пропорциональные объемному весу, — нанести по трем осям пространственной прямоугольной системы координат, то параметры любого заданного слоя будут представлены в виде точки. Важнейшие геологические слои характеризуются, по данным наших измерений, более или менее широким диапазоном значений параметров, так что они проявляются в данной системе координат в виде участков пространства (рис. 77), которые довольно четко обособляются друг от друга. Поэтому, оценивая расстояние между точкой, характеризующей, по данным измерений, конкретный слой, и центрами тяжести пространственных областей, характеризующих конкретные породы, можно сделать заключение о том, какие породы оказываются ближе всего к данной тройке параметров.

Согласно имеющемуся опыту, литологическая колонка определяется на ЭВМ достаточно быстро. Хотя в небольших поправках может возникнуть необходимость, колонка, составленная по объективным критериям, оказывается хорошей основой для геофизика-интерпретатора, хорошо знакомого с особенностями изучаемой площади.

2.2.5 Блоки полевых накопителей данных и предварительной обработки к геофизическим приборам*

Развитие электроники сделало возможным и даже необходимым присоединение накопителей ко все более возрастающему числу приборов. Возможность была создана тем обстоятельством, что можно создать твердотельные памяти с очень малым потреблением энергии и в то же время большой емкости (в случае приборов, монтированных не на автомобиле, в первую очередь они могут быть приняты во внимание), вес и габариты, и, что также важно, стоимость которых сравнительно небольшие по сравнению с теми же параметрами измерительных приборов. Тем самым можно создать „электронные журналы“ и для таких приборов, где в этом нет острой необходимости, но где этот прием делает полевую работу и обработку удобнее и быстрее.

Все более расширяется и круг тех видов аппаратуры, которые могут эксплуатироваться только с накопителями данных. В результате фундаментальных преобразований в измерительной технике существенно увеличился объем информации, поступающей за один единственный день полевых работ (прибором измеряется то же самое, но быстрее, или же нечто такое, о чем ранее и думать было невозможно, как, например, протон-прецессионным магнитометром или прибором ВП, измеряющим

* Шимон П., *Верё Л.*, Винце Л.

кривую затухания во многих точках). Изменения произошли также и в обработке измеренных данных. В связи с большим количеством данных и с методами обработки, требующими привлечения сложных математических приемов, все больше геофизических методов нуждается в ЭВМ, так что представляется целесообразным накапливать данные измерений сразу в форме, понятной ЭВМ, и создавать прямой контакт между прибором и ЭВМ. В случае тех методов, где имеются более высокие требования, накопитель данных: магнитофон — давно уже является органической частью полевой аппаратуры (сейсморазведочных или магнитотеллурических станций).

Выведение вычислительной техники в поле, однако, влечет за собой и качественные изменения. Непосредственное, прямое накопление и перенос данных снижает возможность ошибок, повышает надежность измерений. При некоторых методах электроразведки кроме этого можно осуществить обработку данных или ее упрощенный вариант прямо в поле и дать предварительную интерпретацию результатов чуть ли не одновременно с измерениями. На основании этого можно хоть задавать скважины, но значительно чаще бывает и значительно важнее, что, обладая соответствующей информацией, можно улучшать параметры самих измерений.

Оформились два основных типа накопителей данных, впервые появившихся в конце семидесятых годов. Одним из них в максимально возможной степени учитываются параметры данного прибора, и он составляет с геофизическими блоками почти нераздельное целое (как, например, магнитометры с памятью). Другой тип обычно относится к категории „универсальных“, и предполагается приспособление к нему приборов, то-есть на приборе появляется такой выход, на котором все сигналы и данные появляются в заранее заданной форме и который может быть прямо подсоединен ко входу накопителя данных. Все более широкому распространению этого второго типа способствуют разнообразные стандартные „ворота“, как, например, РС 232. Аппаратура общего назначения обычно дороже, ведь она должна уметь больше, нежели это необходимо для стыковки с одним-единственным прибором, поэтому ее использование экономически выгодно в случае дорогостоящих приборов и в методах, в которых требуется предварительная обработка данных. Не стали популярными блоки с половинчатым решением проблемы, в которые данные визуальных отсчетов с приборов переносятся клавиатурой.

Электроразведочное приборостроение в ЭЛГИ в 1985-м году достигло такого уровня, что можно было создать накопитель полевых данных к прибору D-10R, а на базе малогабаритной ЭВМ — блок предварительной обработки и накопитель данных общего назначения, которые могут быть состыкованы с двумя типами электромагнитных приборов (Макси Проб и ЕМ-31).

В выборе именно прибора D-10R сыграло роль то обстоятельство, что хранение измеренных данных представляет собой сравнительно простую проблему. Прибором измеряется единственный геофизический параметр: кажущееся удельное сопротивление, — и то прямо, так что перед накоплением данных не возникает необходимости в аналого-цифровом преобразовании или в арифметических действиях. В то же время при различных способах измерений требуются различные виды обработки, поэтому ее целесообразно отделить. Помимо традиционных способов измерения сопротивлений было необходимо учесть существование еще и нового способа т. н. метода электрической корреляции слоев. При этом на одной-единственной паре скважин за день необходимо провести несколько сотен измерений, и два следующих друг за другом значения могут отличаться даже на два порядка. Измерения должны быть выполнены как можно быстрее (ибо с точки зрения процесса бурения производство измерений представляет собой „мертвое“ время) и в то же время без ошибок, к тому же журнал должен вести также безошибочно, поскольку часто нет возможности повторить весь цикл измерений.

В первую очередь учитывая задачи наземных измерений, но обращая внимание также и на требования, связанные с методом электрической корреляции слоев, был разработан накопитель данных, блок-схема которого приводится на *рис. 78*. Наиболее важной его частью является память (M) на 2 килобайта, построенная на узлах CMOS RAM. Хотя основной задачей является хранение измеренных данных, блоком производится и некоторое уплотнение данных. Практически почти каждый раз необходимо сделать два отчета: либо для распознавания ошибочных измерений, либо для контроля надежности измеренного значения. Накоплять, однако, целесообразно не единичные измеренные значения, а средние из них. Поэтому с прибора очередные данные, измеренные значения ρ , поступают в переходный накопитель (B), в котором суммируются данные по 2, 4 или 8 измерениям. После команды записывать в накопитель (START) сначала производится расчет среднего значения (D), затем полученное среднее значение поступает в накопитель в виде слова из трех десятичных знаков, с порядковым номером от 0 до 999, который автоматически возрастает, или с другим обозначением. Для определения порядка величины измеренного значения необходимо записать в память также и диапазон усиления (A), установленный на приборе. Он в виде соответствующего кода записывается непосредственно перед соответствующим средним значением, исключая возможность ошибки в определении порядка величины.

В ходе машинной обработки часто возникает необходимость в записывании наряду с данными какой-либо дополнительной информации (например, типа установки электродов, повторного назначения измерений

и т. п.). Ее кодом является десятичный знак 0–9, который вводится в накопитель в качестве подзаголовка (L) с кодирующего диска.

Предусмотрена возможность „стирания“ ошибочного значения, подавшего в накопитель. В то же время значения, попавшие в накопитель и признанные за доброкачественные, не могут быть надписаны (заменены другими) даже случайно.

Весь блок накопителя построен на одной карте и помещен в крышку прибора. Питание осуществляется с четырех малогабаритных аккумуляторов. Так как с выключением прибора накопитель данных переходит в состояние готовности, потребление энергии становится минимальным, и записанные значения могут оставаться в памяти даже в течение полугода.

Согласно нашим планам, каждый прибор D–10R будет оснащен двумя накопителями данного типа. В то время как на один из них записываются данные в процессе полевых работ, другой находится на полевой базе, и хранимые в нем данные с помощью интерфейса (IF) переводятся на ЭВМ, например, типа РТА–4000 (РС). Мощность этой малогабаритной ЭВМ достаточна для приема данных, необходимых для обработки данных по методам постоянного тока, или же для поправки и предварительной обработки данных, а затем для их записи на кассеточный магнитофон (СR), что открывает им дорогу для дальнейших операций на любой ЭВМ большей мощности. Тем самым при минимальных затратах живого труда становятся возможными обработка данных, полученных при полевых измерениях, их интерпретация и высококачественное представление получаемых результатов.

Несколько отличны требования, связанные с эксплуатацией прибора Макси Проб для электромагнитного частотного зондирования. Стоимость этого прибора выше более, чем на порядок, и данные по геологической информации рассчитываются прямо по результатам измерений, выполненных с помощью прибора. В таком режиме эксплуатация ЭВМ типа РТА–4000 в качестве накопителя данных оказывается экономически выгодной, так что с помощью блока стыковки печатающего устройства КА–160 с магнитофоном, входящего в комплект ЭВМ, и интерфейса последовательно-параллельного типа IFSP можно создать полевую систему, обеспечивающую возможность некоторой обработки и графического представления. Эта система менее связана с конкретными приборами, нежели накопитель при D–10R, и его легко состыковать с различными геофизическими приборами, то-есть он действительно является универсальным. Возможность использования одной и той же ЭВМ для накопления полевых данных в случае более дорогостоящей аппаратуры и в качестве „центральной ЭВМ“ в случае менее дорогостоящей обеспечивается чрезвычайно выгодными параметрами ЭВМ типа РТА–4000. Эта малогабаритная ЭВМ малого веса, изготовляемая в Венгрии по

разрешению японской фирмы ШАРП, построена на элементах CMOS, так что потребляет очень мало энергии, операции производит с достаточной быстротой (часовой сигнал на 13 мегагерц), и с ней может быть состыкован удвительно большой емкости (128 килобайт) блок памяти. При применении в приборостроении, однако, ее наиболее значительным преимуществом является то, что ко всей системе бусов CPU можно подключаться через 60-полюсный переходник.

Многостороннему использованию способствует и то, что эта ЭВМ программируется на языке бэйзик, но в случае необходимости может программироваться и в машинном коде. В связи с богатым набором периферийных устройств (графическое печатающее устройство, кассеточный магнитофон, интерфейсы RS 232 C и CENTRONICS для стыковки с другими ЭВМ, плоттер, модем) эта ЭВМ с успехом может использоваться для решения разнообразных задач. Взаимосвязь узлов полевого накопителя данных и блока обработки данных общего назначения, приобретаемых в готовом виде, представлена на *рис. 79*. Геофизические приборы не могут быть прямо подключены к бусу CPU. С учетом приборов и задач обработки нужно было решить задачи, связанные со стыковкой многоканальных аналоговых входов, а также нескольких восьмибитовых параллельных цифровых входных и выходных входов и блока памяти с бусом CPU, равно как и связанные с расширением потребительской области RAM. Собственная область RAM рассматриваемой ЭВМ имеет емкость 18 килобайт; к ней нами подсоединен блок памяти на дальнейшие 10 килобайт, построенный также на узлах CMOS RAM, тем самым добившись максимальной емкости потребительского блока памяти на 28 килобайт. RAM емкостью 128 килобайт может использоваться в качестве фоновой, здесь программы не выполняются, но данные могут храниться.

Геофизические приборы большей частью снабжены аналоговыми выходами, в соответствии с чем накопитель должен иметь и аналоговый вход. На аналоговом входе в настоящее время установлен восьмиканальный аналоговый мультиплексер, но количество каналов легко может быть увеличено. Аналого-цифровой преобразователь имеет емкость на 12 битов, обладает временем интегрирования в интересах подавления сетевых шумов 20 мсек, время конверсии — 80 мсек. Информация о положении разнообразных переключателей прибора, а также управляющие сигналы подаются через цифровые входы на 8 битов. Имеются два таких входа, но их число легко может быть увеличено. Цифровой выход в настоящее время служит только для записи заголовков аналогового мультиплексера, но может быть использован также и для управления процессом измерений и для решения задач по выведению сигналов.

На *рис. 79* накопитель (DL) представлен в стыковке с прибором Макси Проб. О работе этого прибора достаточно знать, что им производятся из-

мерения действительной и мнимой частей горизонтальной и вертикальной магнитной компонент искусственного электромагнитного поля, отнесенных к показаниям внутренних часов, на многих частотах, точнее, генерируется постоянный ток с напряжением, пропорциональным этим четырем пространственным характеристикам. Из этих напряжений постоянного тока аналоговыми электрическими цепями создаются величины, необходимые в обработке, которые отсчитываются со стрелочного прибора. Блоком накопления данных и предварительной обработки, по существу, выполняется функция этих аналоговых цепей и стрелочного прибора. Арифметические действия выполняются намного точнее, нежели аналоговыми цепями, в то же время автоматически записываются и прочие данные, необходимые при обработке (степень усиления по обоим измерительным каналам, частота при производстве измерений).

При производстве измерений прибором Макси Проб часто возникает необходимость в получении кривой зондирования уже в поле. Только на основании этой кривой можно решить, соответствуют ли параметры измерений данной геологической модели. На *рис. 80* приводится кривая, полученная в поле. С помощью клавиатуры ЭВМ можно дать любую „шапку“. Значительно важнее, однако, возможность повышения точности измерений путем цифровой фильтрации повторных отсчетов. Выполнение этих операций и обработки, а также соответствующее графическое представление осуществляется по довольно длинной программе, этим была вызвана необходимость в увеличении памяти ЭВМ до максимальной.

Проще решалась задача по стыковке накопителя данных с прибором ЕМ-31 по электромагнитному профилированию. Сигнал, зависящий от проводимости почвы, и в этом случае поступал на стрелочный прибор, но этот же сигнал выводится и на выход для аналогового регистратора. К этому выходу подключается накопитель данных, по двум аналоговым каналам поступают действительная и мнимая части измеренного сигнала, а через цифровые входы — информация о степени усиления.

Благодаря хранению данных на магнитной ленте, а также стыковке ЭВМ типа РТА-4000 с мощными настольными калькуляторами (НР 9845), становятся возможными, точно так же, как и в случае с D-10R, дальнейшая обработка и высококачественное представление данных.

мерения действительной и мнимой частей горизонтальной и вертикальной магнитной компонент искусственного электромагнитного поля, отнесенных к показаниям внутренних часов, на многих частотах, точнее, генерируется постоянный ток с напряжением, пропорциональным этим четырем пространственным характеристикам. Из этих напряжений постоянного тока аналоговыми электрическими цепями создаются величины, необходимые в обработке, которые отсчитываются со стрелочного прибора. Блоком накопления данных и предварительной обработки, по существу, выполняется функция этих аналоговых цепей и стрелочного прибора. Арифметические действия выполняются намного точнее, нежели аналоговыми цепями, в то же время автоматически записываются и прочие данные, необходимые при обработке (степень усиления по обоим измерительным каналам, частота при производстве измерений).

При производстве измерений прибором Макси Проб часто возникает необходимость в получении кривой зондирования уже в поле. Только на основании этой кривой можно решить, соответствуют ли параметры измерений данной геологической модели. На *рис. 80* приводится кривая, полученная в поле. С помощью клавиатуры ЭВМ можно дать любую „шапку“. Значительно важнее, однако, возможность повышения точности измерений путем цифровой фильтрации повторных отсчетов. Выполнение этих операций и обработки, а также соответствующее графическое представление осуществляется по довольно длинной программе, этим была вызвана необходимость в увеличении памяти ЭВМ до максимальной.

Проще решалась задача по стыковке накопителя данных с прибором ЕМ-31 по электромагнитному профилированию. Сигнал, зависящий от проводимости почвы, и в этом случае поступал на стрелочный прибор, но этот же сигнал выводится и на выход для аналогового регистратора. К этому выходу подключается накопитель данных, по двум аналоговым каналам поступают действительная и мнимая части измеренного сигнала, а через цифровые входы — информация о степени усиления.

Благодаря хранению данных на магнитной ленте, а также стыковке ЭВМ типа РТА-4000 с мощными настольными калькуляторами (НР 9845), становятся возможными, точно так же, как и в случае с D-10R, дальнейшая обработка и высококачественное представление данных.

2.3.1 Каротаж по методу фотоэлектрического индекса*

За отчетный год были проведены работы по обоснованию внедрения каротажа по методу фотоэлектрического индекса (P_e). Фотоэлектрический индекс определяется по анализу спектра обратно рассеянного на породах гамма-излучения [BERTOZZI et al. 1981]. Поскольку фотоиндекс является строго монотонной функцией атомного номера, то он дает информацию о среднем химическом составе и, тем самым, о характере породы.

Зна химический состав, можно рассчитать фотоиндекс данной породы. Конечно, для данного вида породы фотоиндекс изменяется в некоторых пределах в связи с разбросом химического состава. В таблице II приведены интервалы фотоиндекса для различных пород и некоторых соединений. Низкие значения фотоиндекса, от нуля до двух, характерны для углей или водо- и нефтегазоносных песчаников, средние значения, от двух до десяти, могут отвечать ряду пород, так что они сами по себе не дают информации. Значения свыше десяти указывают на оруденение. Однако, средние значения фотоиндекса также могут оказаться полезными в сочетании с другими данными, примером чего служат рисунки 81 и 82.

На *рис. 81* приведены фотоиндексы некоторых простых двухкомпонентных систем в зависимости от пористости. В качестве поровой жидкости при расчетах была принята вода, но если поровое пространство заполнено нефтью, фотоиндекс все еще не подвергается сильному изменению, ведь вода и нефть обладают почти одинаковыми фотоиндексами. Если по предварительным исследованиям уже известно, что один из представленных трех скелетов породы имеет место, то на основании фотоиндекса можно решить вопрос о том, какой именно скелет встречается в данном случае.

На *рис. 82* приведены фотоиндексы глин и бокситов в зависимости от суммарного содержания окиси железа. Рядом с составляющими элементами с низким атомным номером, процентная доля железа, отличающегося высоким атомным номером, играет решающую роль в формировании

* Бурански Й.

Наименования пород или материалов	Минимумы фотоиндексов	Максимумы фотоиндексов
вода	0.358	
нефт	0.125	
уголь	0.16	0.2
гранит	2.4	2.9
сиенит	3.4	5.1
габбро	3.5	6.5
жильные породы	2.3	5.3
базальт, диабаз, мелафир	4.6	6.4
глина	1.5	5.0
боксит	5.0	6.3
песчаник	1.7	2.7
глинистый сланец	2.7	5.8
известняк	4.5	5.2
доломит	3.1	3.6
гнейс	2.1	4.1
амфиболит	4.6	6.3
серпентинит	2.7	3.5
железные руды	10.0	16.0*
марганцевые руды	8.0	16.0

* Фотоиндексы железных руд с содержанием бария могут достигать до 30 и даже 60.

Таблица II. Интервалы фотоиндексов для разных пород

среднего атомного номера. Между содержанием железа и фотоиндексом наблюдается довольно хорошая корреляция. Определение содержания железа может способствовать повышению точности качественного анализа бокситов.

Соответственно нашим примерам фотоиндекс, как новый параметр скважинной геофизики, позволяет при разведке угольных месторождений проверять диаграмму плотности с точки зрения намечания разделов, при разведке нефтегазовых месторождений или водных ресурсов — точнее оценить плотность и пористость путем отождествления коллектора, а также определить содержание железа в бокситах.

BERTOZZI et al. 1981: The physical foundation of formation lithology with gamma rays. *Geophysics* **46**, 10, pp. 1439–1455.

2.3.2 Автоматизированная интерпретация угольных скважин

*Применение системы АСОИГИС**

Автоматизированная система обработки данных геофизических измерений в скважинах, которая была создана в результате примерно пятнадцатилетнего сотрудничества в рамках СЭВ, была предназначена для решения задач нефтегазовой разведки. Применение этой системы для интерпретации угольных скважин началось в 1985 году. Процесс обработки иллюстрируется на материалах месторождения лигнита в северной части Венгрии.

Процедура состоит из следующих основных шагов:

Относительное согласование кривых по глубине

В программе, обеспечивающей автоматическое относительное согласование глубин, расхождение между кривыми по глубине, меняющейся от точки к точке, приближенно оценивается многочленом. Кривая $y_1(x)$, подлежащая согласованию, разлагается в ряд Тэйлора, причем расхождения по глубине как раз совпадают со значениями замещения многочлена $\Delta(x)$. Путем минимализации квадрата разности между кривой, разложенной в ряд, и линейной комбинацией остальных кривых ($y_2, y_3 \dots y_n$) можно определить коэффициенты полинома:

$$y_1(x) + \Delta(x)y_1'(x) = a_2y_2(x) + a_3y_3(x) + \dots + a_ny_n(x),$$

$$\Delta(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_px^p,$$

$$\int [y_1(x) + \Delta(x)y_1'(x) - (a_2y_2(x) + a_3y_3(x) + \dots + a_ny_n(x))]^2 dx = \min.$$

Путем обратного замещения их в ряд Тэйлора можно получить значения исправленной кривой. Процедура повторяется несколько раз для каждой кривой, в результате чего расчетные значения сходятся с согласованными по глубине кривыми. Программа позволяет либо одновременно исправить все кривые, либо принять некоторые кривые за основные диаграммы и согласовать остальные кривые с ними. Согласованные по глубине кривые показанной скважины приводятся на *рисунках 83 и 84*.

* Сендрё Д.

Применение специальных диаграмм распределения

Калибровка измерений, то-есть перевод данных в точные физические значения, а также определение параметров, характерных для отдельных компонент горных пород, производится с помощью специальных диаграмм распределения. Принимая кривые за вероятностные переменные, можно рассчитать на основе измеренных значений и дисперсий, зависящих также и от дифференциальных отношений, какова вероятность их попадания в определенные прямоугольные области принятой системы координат. В случае двух кривых получается двухмерное интегральное распределение вероятностей. Если принять во внимание и третью кривую, то можно определить некоторую средневзвешенную величину для каждой прямоугольной области, причем веса прямо пропорциональны вероятностям, определенным по первым двум кривым способом, описанным выше, и обратно пропорциональны квадратам дисперсий значений на третьей кривой. На *рис. 85* приводится пример для первого, вероятностного распределения, а на *рис. 86* — пример для второго распределения т. н. Z-W типа, в обоих случаях — с обозначением встречающихся компонент горных пород.

Статистическая литологическая интерпретация

Статистическая литологическая интерпретация проводится по точкам квантования. Для этого требуется характерная для данного района литологическая матрица, которая содержит нижние и верхние пределы геофизических параметров, относящихся к данным каротажным диаграммам и типам горных пород, а также вероятности наличия в районе отдельных типов пород. Применяя условную вероятность, программа на основе замеренных значений и их разбросов производит вычисления вероятности происхождения полученного результата измерения от определенных в литологической матрице интервалов. Образуя результирующие вероятности по нескольким кривым для каждого типа пород, программа задает тип породы, относящийся к максимальной вероятности, которая в данной точке считается результатом статистической литологической интерпретации. Результат статистической литологической интерпретации приводится в правой колонке на *рис. 84*.

Определение компонент горных пород

Состав горных пород получается по системе уравнений, записываемой на каждой глубинной точке для нейтронной пористости, плотности, сопротивления и естественного гамма-излучения. Нелинейную систему

уравнений, параметры которой задаются на основании диаграмм, программа решает итерационным способом для незнакомых процентных объемов. Расчетный состав горных пород в объемных процентах приводится в левой колонке на *рис. 87*.

Вычисление качественных параметров

При предположении, что зольность углей получается главным образом за счет твердых компонент сопровождающих пустых пород, а их влажность определяется суммой расчетной эффективной пористости и содержания связанной воды в пустой породе, определение содержания углерода, зольности и влажности в весовых процентах иллюстрируется средней колонкой на *рис. 87*. Если известна теплота сгорания данного типа углей, то теплотворную способность можно получить путем вычитания теплоты, необходимой для нагрева воды до температуры 100 °С и взятой пропорционально весовому содержанию воды в породе, из теплоты сгорания угля, умноженного на его весовое содержание. Теплотворная способность показана в правой колонке *рис. 87*.

Охарактеризованная система программ используется в серийных расчетах; опыт показывает, что получаемые результаты, находясь в соответствии с традиционной интерпретацией, могут быть использованы как в выделении угольных пластов, так и в литологическом расчленении разрезов. Помимо этого, благодаря определению качественных параметров углей по одним геофизическим данным, становится возможным сокращение отбора керновых проб до минимума.

*Интерактивный метод с использованием малой ЭВМ**

С усовершенствованным вариантом программной системы, описанной в Годовом отчете за 1984 г. (стр. 263–264), можно определить условия кровли и подошвы угольных пластов. При помощи лабораторных кривых зернистости можно вычислить фильтрационный коэффициент перекрывающей и подстиляющей толщ, представляющих собой непродуктивные пласты.

Значения эффективного диаметра зерн (D_{10}), отсчитанные с лабораторных кривых зернистости, коррелируются с диаграммами ядерного каротажа. Наиболее тесная корреляционная связь имеет место с кривой относительного гамма-излучения ($R-GAMMA$), вычисленной по диаграмме естественного гамма излучения. При помощи корреляционной связи, описываемой полиномом третьей степени (*рис. 88*), можно создать непрерывную

* Караш Дь., Бихари А., Месарош Ф.

диаграмму D_{10} . При известной диаграмме D_{10} фильтрационный коэффициент „ k “ вычисляется по функции с двумя переменными $k = (\Phi, D_{10})$, где Φ — значение эффективной пористости в %. Расчетный фильтрационный коэффициент явно отражает условия течений в пройденной толще. *Рис. 89* показывает связь между фильтрационным коэффициентом и нейтронной пористостью. На *рис. 90* приведены результаты обработки данных разведочной скважины в районе Дубичань.

Ветвь представленной программной системы, изучающая условия течения, может быть использована также для интерпретации каротажных диаграмм, полученных в скважинах, бурящихся на воду, которые проходят песчано-глинистые толщи. Были начаты исследование в этой области.

2.3.3 Разработка каротажной аппаратуры*

Для определения фильтрационных и резервуарных параметров используются гидродинамические методы, в том числе измерение глубинного давления при установившемся или неуставившемся режиме пласта. При установившемся режиме по кривой, образованной по замеренным данным (индикаторной кривой), можно узнать „фактор продуктивности“ (угол падения кривой), оценить проницаемость при помощи отношения Дюпюи, трансмиссионность и гидравлическое сопротивление разрабатываемой системы (пласта + изменившейся зоны + скважины). Для производства таких измерений был разработан зонд типа КРТ-2-120-43У, который одновременно замеряет давление и температуры. Принцип работы зонда излагается на *рис. 91*. Датчик давления состоит из тензометрических штампов, приклеенных к плоскому мембрану, котор ыйоформлен в виде мостика Уитстона. Мостик уравновешен к нулевому положению и компенсирован за температуру. Выходное напряжение мостика (порядка мв), которое является пропорциональным давлению, усиливается усилителем (3) высокой стабильности. Выходное напряжение преобразуется с верхлинейным преобразователем напряжения в частоту (4), благодаря чему выходная частота оказывается пропорциональной давлению окружающей среды. Датчик температуры (2) представляет собой специальную микросхему с постоянной времени 1,5 с в жидкости. Его характеристика является линейной в пределах $\pm 0,5$ °С и привязанной к абсолютной температуре, поэтому калибрацию зонда следует выполнить только раз. Сигнал от датчика температуры также обрабатывается преобразователем напряжения в частоту (4). Сигналы от датчиков давления и температуры попадают в логическую схему (5), которая полностью исключает взаим-

* Короды Г., Сенттали М., Вадас Г., Лакатош Ш., (VIKUV)

ное влияние (сходимость) между двумя каналами. Информация о давлении и температуре попадает на дневную поверхность по одножильному кабелю в виде положительных и отрицательных импульсов. Для обеспечения максимальной стабильности сигналов электроника как канала давления, так и канала температуры работает со стабилизированного источника питания.

Конструкция зонда показана на *рис. 92*. Длина зонда равна 1470 мм, диаметр — 43 мм, изготавливается из коррозионностойкой стали. Чувствительные элементы датчиков давления и температуры образуют единое устройство в защитной корзинке с палочным каркасом, чем обеспечивается быстрый теплообмен у датчика температуры. Импульсы, приходящие из зонда по каротажному кабелю, обрабатываются микропроцессорной наземной панелью типа KFU-4-12P, работающей в импульсном режиме, которая также питает зонд. Процессор построен на CPU типа Z-80, имеет оперативную память в 16 кбайт, чем обеспечивается высокая упругость. Он позволяет создать любую функциональную связь между входами импульсного режима (4 шт одновременно) и аналоговыми выходами (4 шт), или алфавитночисленным дисплеем в 16 символов в зависимости от заданной программы. Записанная для зонда программа решает прямое измерение температуры и давления, тем самым в реальном масштабе времени производит выравнивание небольшого дрейфа электроники измерения давления из-за температуры. Аппаратура вместе с подключенным матричным печатающим устройством производит также запись логарифмов времени, что оказывается весьма полезным при таких измерениях. На *рис. 93* приведена кривая восстановления температуры, а также повторение ее ($Göd, T_{amb} = 56\text{ }^{\circ}\text{C}, P_{abs} = 50\text{ bar}$).

Основными характеристиками измерительного устройства являются:

при измерении температуры:

предел измерения	120 °С,
абсолютная точность	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
разрешающая способность	0,05 °С,
постоянная времени	2 с,

при измерении давления:

предел измерения	300 бар,
абсолютная точность	$\pm 0,5\text{ бар}$,
разрешающая способность	0,03 бар.