

Содержание

Введение	5
Исходная информация.....	7
Глава 1.	
Первое знакомство с предметом	10
1.1. С чего всё началось.....	10
1.2. О спектральных характеристиках сигналов.....	14
1.3. Как выявлять спектральные составляющие сейсмосигнала.....	18
1.4. Исторический экскурс.....	20
1.5. Об измерениях кинематических характеристик.....	22
1.5.1. Описание измерений.....	24
1.6. О связи между частотой f_0 и толщиной h породного слоя.....	27
1.7. О сейсмоприемниках.....	30
1.7.1. О проблеме датчиков в физике.....	31
1.8. О смысле числителя в основном расчетном выражении.....	34
1.9. Выводы по главе 1.....	35
Глава 2.	
Физика упругих колебательных систем	36
2.1. Об условии реализации упругой колебательной системы.....	37
2.2. О свойствах звукопроводящих сред, необходимых для возникновения собственных упругих колебаний.....	39
2.2.1. Проверка постоянства скорости звука в однородных средах	40
2.3. О физических предпосылках существования зон Δh	43
2.3.1. Исследование приповерхностных зон Δh	43
2.4. Резонансные эффекты в пластинах.....	46
2.4.1. Эффект монохроматора.....	47
2.5. Эффект акустического резонансного поглощения (АРП).....	51
2.6. Первое использование пьезопленки.....	55
2.6.1. Сравнение свойств пьезокерамики и пьезопленки.....	56
2.7. О комплексном характере звукопроводности и поля упругих колебаний.....	59
2.8. О скоростях продольных и поперечных волн. О групповой и фазовой скорости.....	64
2.8.1. Измерение скоростей поперечных и продольных волн.....	66
2.9. Проявление собственных колебательных явлений при ульт-	

развуковых исследованиях.....	67
2.10. Кто открыл упругую колебательную систему.....	70
2.11. Колебательные свойства объектов произвольной формы.....	73
2.12. Принцип спектрально-акустической дефектоскопии.....	74
2.13. Понятие о резонансных явлениях.....	76
2.14. Об упругих свойствах горных пород.....	77
Глава 3.	
Поле упругих колебаний в слоистых средах.....	82
3.1. Затухание звука в слоистых средах.....	83
3.1.1. Об измерении энергетике.....	90
3.2. Скорость звука при распространении вдоль слоя-резонатора..	91
3.3. Канал сверхдальнего распространения звука в воде.....	94
3.3.1. О безопасности подводных лодок.....	95
3.4. Понятие о границах.....	98
3.5. Комбинированные колебательные системы.....	98
3-6. Выводы по главе 3.....	103
Глава 4.	
Введение в метод ССП.....	104
4.1. Принципы спектрально-сейсморазведочной аппаратуры.....	105
4.1.1. Сейсмоприемник для спектральной сейсморазведки.....	106
4.2. Аппаратура обработки сигнала.....	107
4.3. Методика ССП.....	108
4.4. Геологический смысл границ при ССП.....	112
Глава 5.	
Зоны тектонических нарушений.....	115
5.1. Первое ознакомление с объектом.....	115
5.2. Свойства зон тектонических нарушений.....	117
5.2.1. ЗТН как признак разрушения сооружения.....	117
5.2.2. О методах выявления ЗТН.....	118
5.2.3. О разрушении горных пород в ЗТН.....	120
5.2.4. Планетарная пульсация.....	122
5.2.5. Водоносность ЗТН.....	127
5.2.6. Откуда берется вода.....	132
5.2.7. Где текут реки.....	133
5.2.8. О болотах.....	136
5.2.9. Геопатогенность.....	138

5.2.10. О добротности сейсмосигналов в ЗТН.....	140
5.2.11. О вертикальности структур ЗТН и о связи между отдельными зонами.....	143
5.3. Визуальные признаки ЗТН.....	146
5.4. Выводы по главе 5.....	147
Глава 6.	
Поиск воды.....	148
6.1. Колодец или скважина.....	154
Глава 7.	
О техногенных и природных катастрофах.....	157
7.1. О техногенных и природных землетрясениях.....	157
7.2. Некоторые подробности об аварии на СШГЭС.....	162
7.3. Причины разрушительного действия ЗТН.....	165
7.3.1. Еще о планетарной пульсации.....	165
7.3.2. Опасность дополнительного динамического воздействия....	172
7.3.3. Информация о разрушении дворца торжеств в Израиле.....	177
7.4. Об инженерных изысканиях и проектировании ИС.....	178
7.4.1. Башня Газпрома.....	182
7.5. Аварии в подземном пространстве.....	183
7.5.1. Аппаратура «Резонанс»	184
7.5.2. Роль тектоники.....	186
7.5.3. Внезапный выброс угля и газа.....	188
7.6. Объекты группы риска.....	190
7.6.1. Железнодорожный транспорт.....	190
7.6.2. Трубопроводы.....	194
7.6.3. Подъемные краны.....	196
7.7. Сваи.....	197
7.7.1. Дефектоскопия свайного поля.....	199
7.8. Экологические катастрофы.....	199
7.9. Плывуны.....	202
7.10. Карсты.....	204
Глава 8.	
Работа с месторождениями полезных ископаемых.....	207
8.1. Коренные месторождения алмазов.....	207
8.2. Оконтуривание рудного тела.....	209
8.3. Месторождения, связанные с ЗТН.....	210

8.4. Месторождения золота.....	210
Заключение.....	212
Список использованной литературы.....	213
Приложение.	
Информация о традиционной сейсморазведке.....	216
Метод каналовых волн.....	221

Введение

Постижение любой области знания происходит в 3 этапа. На первом этапе, при первом знакомстве с данной областью знания нам все ясно и понятно. Кажется, что все уже кем-то сказано, и познание в данной области уже завершено. Затем, при ближайшем рассмотрении мы начинаем понимать, что ничего не понимаем, и хочется бросить все и сразу. И только потом, после достаточно длительного пребывания в состоянии подавленности от собственной тупости, нам кажется, что мы что-то начинаем понимать. Этот третий этап длится до конца жизни, и похож он на снежный ком. Ответив на какой-то вопрос, который нас мучил и не давал спать, мы немедленно получаем несколько новых. И каждый из новых вопросов точно так же не будет давать нам покоя. Чем дольше мы находимся в изучаемой области знания, тем сильнее ощущаем на своей шкуре бесконечность познания.

Так сложилось, что, имея радиотехническое образование, я с 1973 года начал читать студентам Ленинградского горного института лекционно-лабораторный курс по шахтной геофизике. Вначале я довольно спокойно к этому отнесся, так как научной и учебной литературы было вполне достаточно, чтобы читать этот курс на нормальном уровне.

Любая геофизика – это не менее чем на 90% сейсморазведка. Особых проблем здесь не предвиделось. Считается, что математики уже решили все проблемы сейсморазведки, и мне, как я полагал, оставалось только привести в соответствие с необходимым уровнем свое математическое образование. То есть, как я сейчас вижу, я находился на первом этапе познания этого предмета.

Переход на второй уровень произошел очень быстро. Создавая лабораторную базу, что совершенно необходимо для чтения лекций по физике, а стало быть, и по геофизике, я столкнулся с тем, что если по всем геофизическим методам (электроразведка, магниторазведка, радиоактивные методы и т.д.) лабораторные работы можно поставить без проблем, и с их помощью можно смоделировать в лаборатории практически любую реальную ситуацию, то по сейсморазведке лабораторных работ просто не существовало. Если точнее, то лабораторные работы по сейсморазведке были, но это было исключительно математическое моделирование. То есть вычислительному устройству

задавалась некая мысленно смоделированная ситуация, и уже ее развитие с помощью средств математики, изучалось студентами.

В отсутствии лабораторных работ любая физическая дисциплина теряет связь с физикой и превращается в формальное жонглирование математикой. Я исходил из того общеизвестного момента, что физика, сама по себе – это, прежде всего, совокупность реально существующих эффектов и явлений. Но, как оказалось, с доказательствами реальности эффектов в сейсморазведке оказалось туго. И когда я убедился в том, что **ни одно фундаментальное положение акустики твердых сред (и сейсморазведки как ее основной ветви) не имеет экспериментального доказательства**, я перешел во вторую стадию познания. Читая студентам лекции, я твердо понимал, что не имею на это морального права, поскольку не понимал вообще ничего. Я жутко боялся любого вопроса от студентов. Но студенты тоже ничего не понимали, и, оглушенные неподъемной математикой, по сейсморазведочной части курса вопросов не задавали. Тем не менее, курс я не бросал, надеясь, что рано или поздно во всем разберусь. Продолжалось мое пребывание на второй стадии познания до 1977 года, когда я, впервые в жизни, спустился в угольную шахту для осуществления сейсмоизмерений с помощью мною же изготовленной аппаратуры.

Шахта – это особое место, где из соображений безопасности нельзя применять аппаратуру общего назначения, так как любая искра может вызвать взрыв. Изготовив же искробезопасную аппаратуру, я, естественно, сам должен был ее и испытывать. Случайно оказалось так, что аппаратура эта оказалась пригодной для того, чтобы с ее помощью обнаружить новый, неизвестный раньше физический эффект, который и лег в основу спектральной сейсморазведки. С этого момента можно отсчитывать мое пребывание на третьей стадии познания, а также начало изучения экспериментальной акустики твердых сред и сейсморазведки (но уже спектральной) как ее основной ветви.

Почти в каждом из пунктов настоящей работы приводится описание ранее неизвестного (одного или более) физического эффекта, явления, закономерности или свойства. Такое количество новых эффектов, обнаруженных одним человеком, безусловно, должно вызы-

вать недоверие. За всю историю физики насчитывается открытие что-то порядка 1000 эффектов. Среди наших современников насчитываются буквально единицы ученых, которым посчастливилось сделать хотя бы одно открытие. Здесь же – такое количество... Меня и самого крайне интересовал вопрос, как такое могло произойти.

Но на самом деле, здесь ничего нет сверхъестественного. Представим себе натуралиста, оснащенного современными знаниями и приборами, который попал на планету, на которую не ступала нога человека. Количество открытий, которые он там сделает, может быть весьма внушительным, и ничего странного здесь не будет. Акустика твердых сред как раздел физики – это как раз такая область, где до сих пор никто не осуществлял практически никаких исследований. Все представления об этой области знаний сформировались не в результате каких-либо измерений и исследований, а на основании разного рода гипотез и математического их описания. Так что не удивительно, что человек, имеющий некоторые навыки в осуществлении разного рода экспериментов, обнаружил так много нового.

Исходная информация

Сейсморазведка – это геофизический метод, использующий информативные возможности поля упругих колебаний. Но как охарактеризовать – что такое поле упругих колебаний?

Например, электрическое поле характеризуется электрической напряженностью, электрическим сопротивлением среды... Параметры этого поля определимы с помощью датчиков – амперметров, вольтметров. Датчик – это устройство, с помощью которого можно измеряемую субстанцию соотнести с эталоном, находящимся в Палате Мер и Весов. В этой Палате есть эталоны тока, напряжения, и поэтому показания амперметра и вольтметра могут претендовать на объективность.

То есть, параметры электрического поля могут быть определены на нормальном метрологическом уровне. Носителем электрического поля являются заряженные частица, которые могут быть выявлены и изучены.

Примерно всё в таком же духе обстоит и во многих других областях физики и геофизики. За исключением поля упругих колебаний и, соответственно, сейсморазведки.

Изначально поле упругих колебаний воспринималось как звук. То есть как субстанция, воспринимаемая с помощью органов слуха. С помощью органов слуха возможно сравнить два источника звука по громкости (по интенсивности), а также определить спектр звука. В частности, ноту.

По мере возникновения электрической аппаратуры (начало XX века) появились микрофоны и динамики. Эта область знаний стала называться акустикой. С возникновением акустической аппаратуры, работающей в воде, появилась гидроакустика. Микрофоны, работающие в воде, называются гидрофонами. Изучение звука, распространяющегося в твердой среде, породило сейсморазведку, дефектоскопию, и в твердой среде принято звуковое поле называть полем упругих колебаний. Устройства, используемые для приема этого поля в твердой среде, называют сейсмоприемниками.

Однако с точки зрения метрологической корректности акустических измерений, и особенно, в твердой среде дело обстоит весьма неблагоприятно. Так, базисные параметры поля упругих колебаний – это давление в акустической волне, а также параметры колебаний колеблющихся частиц в упругой волне – в эксперименте определены быть не могут. Эти параметры – амплитуда колебаний, скорость смещения колеблющихся частиц и траектория их движения, ускорение смещения частиц – определены быть не могут по причине отсутствия соответствующих эталонов.

Сложилась интересная ситуация. Датчики всех этих параметров существуют, и мы все хорошо их знаем. Это, например, датчики ускорения – акселерометры, датчики акустического давления... При их изготовлении на них составляют паспорта. А вот осуществить их метрологическую поверку невозможно. Потому что эталона-то нет!

Но если нет возможностей определить какие-либо базисные параметры поля упругих колебаний, то рушится всё здание аналитики поля упругих колебаний.

Родоначальником и создателем этой аналитики был французский физик и математик Симеон Дени Пуассон (1781-1840). Он решил вол-

новое уравнение для продольных и поперечных упругих волн, и этот труд до сих пор является основой всей теории поля упругих колебаний. Пуассон признавал и указывал на то, что математика становится инструментом физики лишь при условии, что аргументы уравнений могут быть определены в эксперименте. Сейчас же (во время Пуассона) это невозможно, и, следовательно, это ни в коей мере не теория, а лишь математизированная гипотеза.

Как уж это получилось, я не знаю, но гипотеза Пуассона воспринимается сегодня как теория, несмотря на то, что метрологическая база с тех пор совершенно не продвинулась. И так сложилось, что чисто умозрительная модель, не имеющая экспериментального подтверждения ни в одном пункте, стала основой и теоретическим обоснованием всей современной сейсморазведки.

Далее, совершенно неопределенными являются эти самые колеблющиеся частицы. В 30-х годах XX века считали, что носители поля упругих колебаний, эти колеблющиеся в упругой волне частицы – это не что иное, как молекулы или атомы среды, в которой распространяются упругие волны. Была как бы узаконена модель продольных волн. Она представляла собой цепочку этих элементарных частиц вещества, связанных между собой силами их ближнего взаимодействия (притяжения-отталкивания). То есть, некая как бы длинная линия (по аналогии с длинной линией в электродинамике, состоящей из цепочки конденсатор-индуктивность), состоящая из масс этих атомов или молекул и упругостей (пружинок), в качестве которых работают силы ближнего взаимодействия. Предполагалось, что в результате воздействия на первое звено этой цепочки, происходит последовательная передача этого воздействия от элемента к элементу. Таково было представление о природе акустической волны.

Такая длинная линия обладает собственной частотой, которая может быть посчитана, и предельная ее величина составляет для реальных сред примерно мегагерцы (10^6 Гц). Предполагалось, что при достижении частоты поля упругих колебаний этой величины, коэффициент передачи такой длинной линии будет стремиться к нулю. То есть, все реальные звукопроводящие среды перестанут быть звукопроводящими. Однако в 40-х годах уже появились источники поля упругих колебаний с частотами, достигающими 10^8 Гц, а никаких при-

знаков уменьшения коэффициента передачи не наблюдалось. Следовательно, надо признать, что эта гипотеза о природе акустической волны оказалась несостоятельной, и что нам неизвестно, что является носителями поля упругих колебаний.

Таким образом, на сегодняшний день метрологически корректно может быть определена только скорость распространения поля упругих колебаний и, возможно, его частотный спектр.

Для чего я это написал. Дело в том, что, изучая любую область физики, мы должны представлять себе, насколько состояние этой области знания соответствует принципам метрологии и методологии развития научного познания. Независимо от того, развиваем ли мы данную область знания или являемся только слушателями (студентами), мы должны постоянно помнить, что физика – это совокупность физических эффектов, и в физике нет ни одного момента, где бы была возможной вера в слово, в утверждение чего-либо без экспериментального подтверждения.

Для того, чтобы освоение материала шло как следует, студент должен быть готовым в любой момент спросить преподавателя, на каком основании он говорит то, что говорит. А преподаватель должен в любой момент быть готовым оправдаться за каждое сказанное слово экспериментом в лаборатории.

Глава 1.

Первое знакомство с предметом

1.1. С чего всё началось

В 1977 году по месту моей основной работы (кафедры разработки пластовых месторождений, сокращенно - РПМ) ленинградского Горного института (ЛГИ) я получил задание сделать аппаратуру, с помощью которой можно выполнять сейсмоизмерения в условиях угольной шахты.

Требование, поставленное передо мной при первом в моей жизни спуске в угольную шахту, состояло в следующем. Нужно было найти технологичный и метрологически корректный способ определения затухания поля упругих колебаний при распространении его в породах

кровли угольного пласта. Это было необходимо для решения очень серьезной задачи.

Дело в том, что наиболее частой причиной травматизма подземных рабочих (шахтеров) является внезапное обрушение пород кровли. Во всем Мире примерно половина травматизма шахтеров обусловлена именно этим явлением. Поэтому перед всеми научно-исследовательскими организациями горняцкого профиля обязательно стоит задача поиска признаков, с помощью которых было бы возможным прогнозирование обрушения пород кровли.

В данном случае, идея состояла в следующем. Согласно общепринятым представлениям, характер затухания звука в породах кровли должен быть как-то связан с их нарушенностью, трещиноватостью, а следовательно, с вероятностью обрушения этих пород. И, стало быть, если осуществлять измерения, с помощью которых можно было бы оценивать это затухание, то можно было бы выйти на прогноз обрушения пород кровли в подземных выработках.

В основе нашей попытки использовать акустические измерения для прогнозирования обрушения пород кровли лежали два казавшихся тогда очевидными положения. Первое заключалась в том, что с удалением от источника сигнала амплитуда регистрируемого поля должна уменьшаться тем быстрее, чем более трещиноваты породы. И второе, которое состоит в том, что чем больше частота зондирующего сигнала, тем поле в точке приема должна быть меньше. То есть, скорость затухания в горных породах должна быть тем больше, чем выше частота, и чем больше трещиноватость пород.

В соответствии с исходной идеей, чем выше трещиноватость пород кровли, тем выше вероятность их обрушения. И, стало быть, чем больше окажется затухание звука, распространяющегося в этих породах, тем ниже должна быть их устойчивость. То есть, следовало найти соответствие между зависимостями затухания звука от расстояния до источника для ряда фиксированных частот, и увязать эти зависимости с визуально наблюдаемой трещиноватостью пород кровли. Иначе говоря, чем выше трещиноватость пород кровли, тем больше должно быть затухание вообще, и в высокочастотной части частотного диапазона зондирующего сигнала, в частности. И это также я намеревался

подтвердить экспериментальными зависимостями затухания от частоты.

На качественном уровне, характер этих обеих зависимостей затухания звука в породах кровли, какими они казались априорно, до проведения измерений, показан штриховыми кривыми **1** и **2** на рис.1-1.

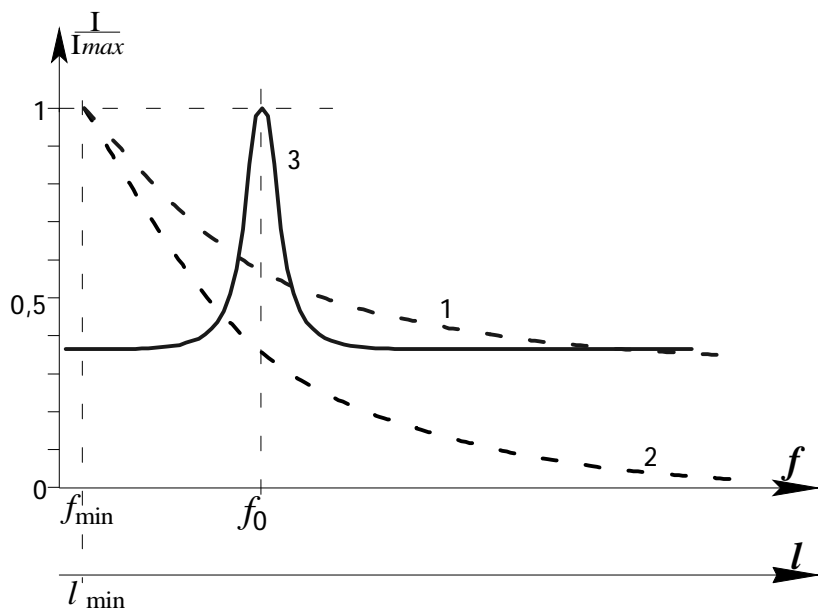


Рис. 1-1

По оси ординат на этом рисунке откладывается относительная величина амплитуды сейсмосигнала I ; l – расстояние от источника звука до приемника; f – частота зондирующего сигнала. Предполагалось, что если проводить измерения в двух горных выработках с различной трещиноватостью пород кровли в них, то при переходе от пород кровли с меньшей трещиноватостью к породам с большей трещиноватостью зависимость **1** сменится на зависимость **2**.

При подготовке аппаратуры для реализации этой идеи возникло несколько непредвиденных проблем. Понятно, что универсальной аппаратуры не бывает, и для изготовления измерительной установки необходимо было иметь представление хотя бы о порядке ожидавшегося затухания поля упругих колебаний в породах кровли, а также о том, что считать частотой низкой, а что – высокой. Кроме того, было непонятно, как решать проблему выбора электроакустического (излучателя) и акустоэлектрического (приемника) преобразователей для этой установки. Никаких конкретных рекомендаций в литературе не нашлось. Я тогда просто еще не мог себе представить, что подобных измерений в акустике твердых сред просто никто никогда не делал.

Однако с чего-то нужно было начинать, и был собран (в шахтном исполнении, разумеется) генератор электрического напряжения с изменяющейся частотой, с диапазоном частот от 10 Гц до 20 кГц, и широкополосный усилитель с диапазоном входных напряжений – от 1 мкВ до 1 В, и со стрелочным индикатором. В качестве излучателя и приемника были использованы одинаковые пьезокерамические преобразователи из стандартного комплекта гидроакустической измерительной аппаратуры. На рис.1-2 приведена блок-схема измерительной установки.

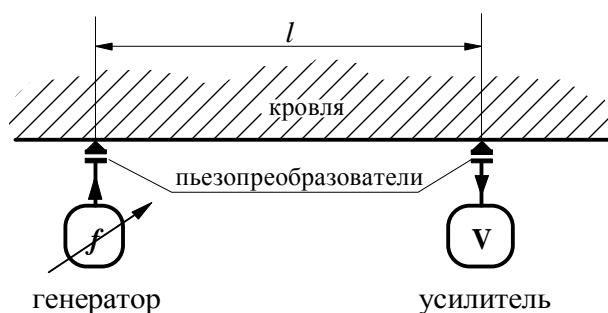


Рис. 1-2

И вот что при этом оказалось. При определении зависимости затухания звука от частоты график $I(f)$ оказался принципиально отличным от того, который ожидался. Он имел вид графика **3**, приведенного на рис.1-1, согласно которому, вместо того, чтобы уменьшаться с ростом частоты, амплитуда звука резко увеличивалась вблизи некоторой частоты f_0 , а затем снижалась примерно до того же уровня. Вдали от частоты f_0 величина амплитуды, считываемая с индикатора усилителя, более или менее постоянна, что и показано на графике **3**. При первом шахтном эксперименте частота f_0 имела значение, близкое к 1 КГц.

То, что с увеличением частоты затухание монотонно не увеличивается, показалось очень странным. Ведь во всех учебниках по сейсморазведке утверждается, что верхний частотный предел сейсмостанций не превышает 1 КГц, поскольку на более высоких частотах уже практически никакого прохождения сигнала нет... Однако главным сюрпризом в этом эксперименте оказалась форма полученной кривой **3**, поскольку в такой форме амплитудно-частотной зависимости заложен очень глубокий физический смысл.

1.2. О спектральных характеристиках сигналов [1]

Дело в том, что такая вот, примерно колоколообразная¹ форма амплитудно-частотной характеристики есть не что иное как спектральное изображение затухающего синусоидального сигнала. Кроме того, как известно, подобную форму имеет амплитудно-частотная проходная характеристика одиночного электрического колебательного контура.

Зависимость между формой амплитудно-частотной характеристики тех или иных устройств и свойствами сигнала изучают в основах теоретической электротехники и теоретической радиотехники. Вкратце, то, что нас сейчас должно интересовать из этого, заключается в следующем.

Амплитудно-частотная характеристика колебательного контура по очертаниям совпадает с изображением частотного спектра сигнала, который возникает при ударном возбуждении этого колебательного контура. Для иллюстрации этого момента приведен рис.1-3, на котором изображена затухающая синусоида, которая возникает при ударном воздействии на колебательный контур. Этот сигнал приведен во временном (а) и спектральном (б) изображении.

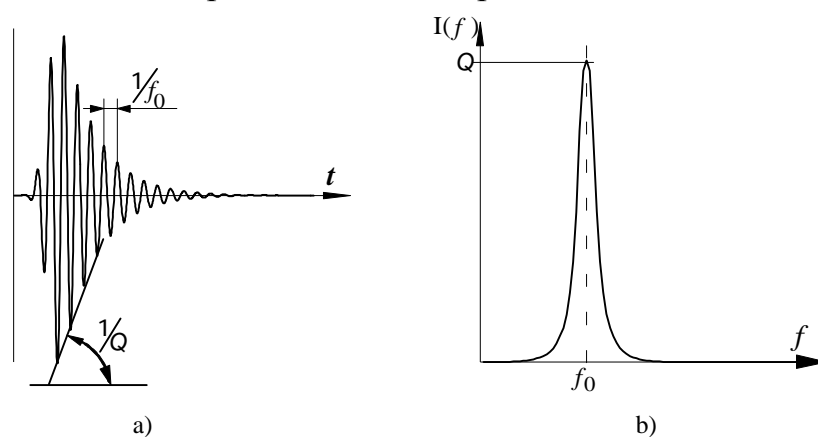


Рис. 1-3

Согласно разделу математики, называемому спектрально-временными преобразованиями, спектральное и временное изображение одного и того же изменяющегося во времени процесса являются как бы синонимами, они эквивалентны и идентичны друг другу. Это можно сравнить с переводом одного и того же понятия с одного языка на

¹ Строго говоря, форма спектра затухающего гармонического сигнала не совсем колоколообразная, но для нас сейчас эта неточность не имеет значения.

другой. Любой человек, знакомый с этим разделом математики, скажет, что рисунки 1-3а и 1-3б эквивалентны друг другу. Кроме того, спектральное изображение этого сигнала, полученного при ударном возбуждении колебательной системы (колебательного контура) одновременно является геометрически подобным амплитудно-частотной характеристике этого самого контура.

Нетрудно заметить, что график (b) на рис.1-3 геометрически подобен графику 3 на рис.1-1. То есть, увидев, что в результате измерений был получен график 3, я сразу отнесся к нему не просто как к амплитудно-частотной характеристике затухания звука в породах кровли, но и как к свидетельству наличия в породной толще колебательной системы.

С одной стороны, наличие колебательных систем в горных породах, залегающих в кровле подземной выработки у меня не вызвало никаких вопросов, потому что другими способами получить синусоидальный (или, иначе говоря, гармонический) сигнал невозможно. С другой стороны, о наличии колебательных систем в земной толще я никогда раньше не слышал.

Для начала, напомним определение колебательной системы. Колебательная система – это объект, который на ударное (импульсное) воздействие реагирует затухающим гармоническим сигналом. Или, иначе говоря, это объект, обладающий механизмом преобразования импульса (удара) в синусоиду.

Параметры затухающего синусоидального сигнала – это частота f_0 и добротность Q , величина которой обратно пропорциональна коэффициенту затухания. Как видно из рис.1-3, оба эти параметра могут быть определены как из временного, так и из спектрального изображения этого сигнала.

Спектрально-временные преобразования – самостоятельный раздел математики, и один из выводов, который мы должны сделать из знания этого раздела, а также из формы амплитудно-частотной характеристики звукопроводности породного массива, изображенной на рис.1-1 (кривая 3), состоит в том, что по акустическим свойствам исследуемый породный массив проявил свойство колебательной системы.

Этот вывод является совершенно очевидным для любого, кто знаком со спектрально-временными преобразованиями, но категорически неприемлем для тех, кто профессионально занимается акустикой твердых сред, сейсморазведкой или вообще геофизикой. Так сложилось, что в курсе обучения студентов этих специальностей этот материал не дают.

Как известно, в сейсморазведке принято считать, что единственным механизмом, обуславливающим форму сейсмосигнала, является распространение поля упругих колебаний по законам геометрической оптики, отражение его от залегающих в земной толще границ и интерференция между отдельными составляющими сигнала. Считается, что форма сейсмосигналов обусловлена характером интерференции между множеством мелких эхо-сигналов, то есть отражений от множества мелких, залегающих в горном массиве границ. Кроме того, считается, что с помощью интерференции можно получить сигнал любой формы.

Да, это всё так, но в том-то и дело, что гармонический (в том числе, и гармонический затухающий) сигнал является исключением. Его интерференцией получить невозможно.

Синусоида – это элементарный информационный кирпичик, не подлежащий разложению на более простые составляющие, потому что проще, чем синусоида, сигнала в природе не существует. Именно поэтому, кстати, ряд Фурье – это совокупность именно синусоидальных членов. Будучи элементарным, неделимым информационным элементом, синусоида не может быть получена путем сложения (интерференции) каких бы то ни было других, еще более простых составляющих.

Получить гармонический сигнал можно одним-единственным путем – а именно, воздействием на колебательную систему. При ударном (импульсном) воздействии на колебательную систему возникает затухающая синусоида, а при периодическом или шумовом воздействии – незатухающая синусоида. А следовательно, увидев, что амплитудно-частотная характеристика некоего объекта геометрически подобна спектральному изображению гармонического затухающего сигнала, уже нельзя относиться к этому объекту иначе, как к колебательной системе.

Перед тем как проводить первые свои измерения в шахте, я, как и все остальные люди, функционирующие в области акустики твердых сред и сейсморазведки, был убежден, что никаких колебательных систем в породном массиве нет и быть не может. Однако обнаружив такую амплитудно-частотную характеристику затухания, я уже просто не имел права оставаться при этом мнении.

Проведение измерений, аналогичных описанным выше, весьма трудоемко, и обработка результатов этих измерений занимает много времени. Поэтому, увидев, что по характеру звукопроводности породный массив является колебательной системой, я понял, что следует использовать другую схему измерений, которую применяют при исследовании колебательных систем, и которую мы используем и по сей день. По этой схеме, источником зондирующего сигнала служит импульсное (ударное) воздействие на горный массив, а приемником – сейсмоприемник, специально предназначенный для проведения спектрально-сейсморазведочных измерений. Схема индикации и обработки сейсмосигнала позволяет наблюдать его как во временном, так и в спектральном виде.

Применив эту схему измерений в той же точке подземной выработки, что и при первом нашем измерении, мы убедились в том, что при ударном воздействии на породный массив кровли, сигнал, возникающий при этом, действительно имеет вид затухающей синусоиды, подобный показанному на рис.1-3а, а спектральное изображение ее подобно графику, показанному на рис.1-3б.

Чаще всего бывает, что сейсмосигнал содержит не одну, а несколько гармонических составляющих. Однако сколько бы ни было гармонических составляющих, они все возникают исключительно вследствие наличия соответствующего количества колебательных систем.

Многочисленные исследования сейсмосигналов, полученных в самых различных условиях – и в подземных выработках, и на земной поверхности, и в условиях осадочного чехла, и при исследовании пород кристаллического фундамента – показали, что во всех возможных случаях сигналов, полученных не в результате наличия колебательных систем, а в результате интерференционных процессов, не существует.

1.3. Как выявлять спектральные составляющие сейсмосигнала

Спектральное и временное изображения одного и того же сигнала информативно идентичны. Однако на практике в этом можно убедиться только в том случае, когда гармоническая составляющая всего одна. Если гармонических составляющих несколько, то выявить структуру сигнала возможно только при его спектральном изображении. На рис.1-4 приведены три сигнала во временном и спектральном изображениях. Сигнал **a)** представляет собой одну затухающую синусоиду; в состав сигнала **b)** входят три затухающих синусоиды; сигнал **c)** может возникнуть в результате интерференционных процессов.

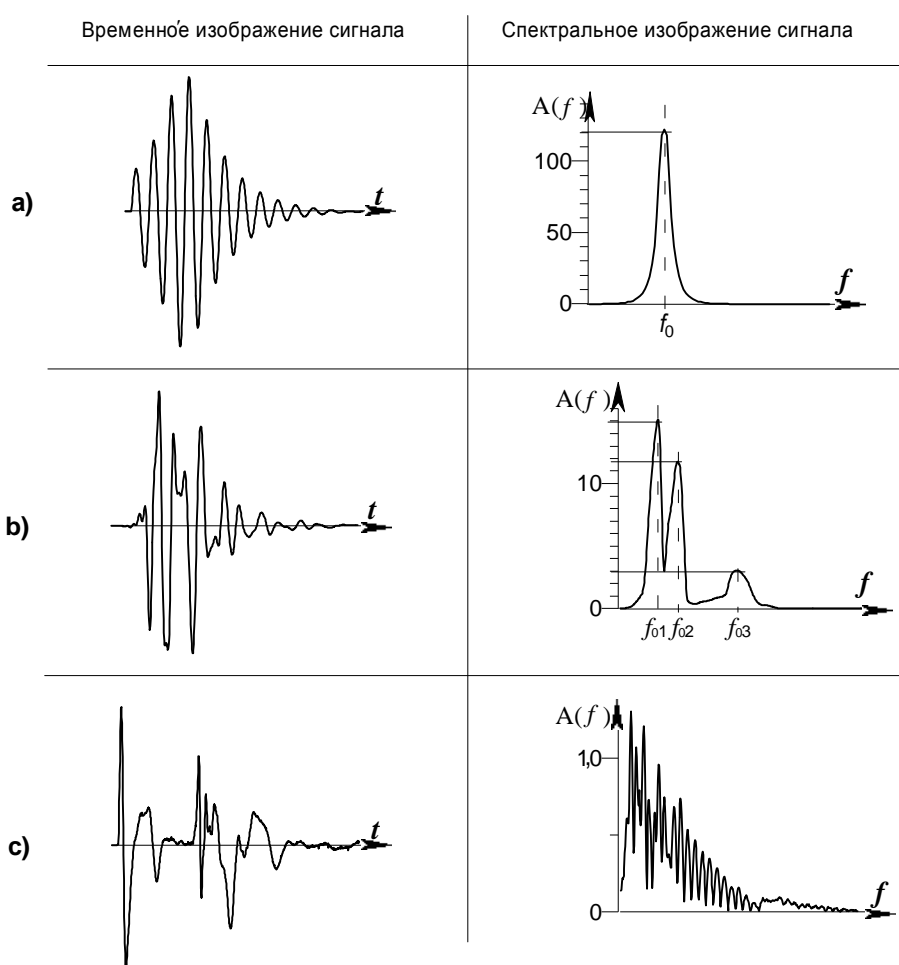


Рис. 1-4

Оси ординат спектральных изображений размечены в значениях плотности спектра $A(f)$, в соответствии с принятыми обозначениями при спектрально-временных преобразованиях. Добротность сигнала **a)** равна 120. Если для электрического колебательного контура такая добротность является средней по величине, то при сейсмоизмерениях

– это очень высокое значение. Однако такое хоть и редко, но встречается.

Сигнал **b)** – довольно типичный при сейсмоизмерениях. Он состоит из трех гармонических составляющих, каждая из которых имеет невысокие значения добротности – 15, 12 и 3. Это реальные, часто встречающиеся при сейсмоизмерениях значения добротности. На спектральном изображении нетрудно определить значения частот каждой из составляющих. Однако на временном изображении не то что определить параметры каждой колебательной системы, но даже понять, что сигнал состоит из трех гармонических составляющих невозможно. Кроме того, очертания сигнала будут изменяться при изменении фазовых соотношений между этими составляющими. То есть, любое перемещение измерительной установки при сейсмоизмерениях приведет к изменению очертаний сеймосигнала.

Вот это явление хорошо знакомо сейсморазведчикам – когда сеймосигнал по форме изменяется при любом, самом незначительном изменении положения как точки ударного воздействия, так и местонахождения сейсмоприемников.

Сигнал **с)** получен в результате интерференционного процесса (синтезирован). Как видим, на временном изображении существенного различия между сигналами **b)** и **с)** нет. Однако при спектральном их изображении разница между ними велика. Кроме того, что спектр интерференционного сигнала имеет специфический линейчатый характер, значение плотности спектра его (добротности) не превышает единицы. Если $Q=1$, это значит, что колебательный процесс отсутствует.

Установить наличие гармонических составляющих в сеймосигнале, а стало быть, наличие колебательных систем в породном массиве – это был очень непростой момент. Особенно если учесть, что весь научный мир категорически отрицает какие-либо механизмы формирования сеймосигналов, кроме интерференционных. Однако установить наличие гармонических составляющих в сеймосигнале – это был всего лишь первый шаг, и без дальнейших шагов сделанное заявление не имело бы особого смысла. Колебательная система характеризуется собственной частотой, и следующим шагом должно было быть установление зависимости между собственной частотой, выявленной при измерениях в шахте колебательной системы и какими-то

ее конкретными физическими параметрами. Так сложилось, что этот второй шаг удалось сделать сразу же, при получении результатов первых шахтных сейсмоизмерений летом 1977 года.

1.4. Исторический экскурс

Совсем непросто было после очень многолетних утверждений о том, что все сейсмосигналы обусловлены интерференционными процессами, заявить, что это не так. Помогло мне сделать это заявление знание истории открытия электрического колебательного контура.

Открытие электрического контура происходило в 3 этапа.

На первом этапе Джозеф Генри совершенно случайно обнаружил, что если заряженный конденсатор замкнуть через катушку индуктивности, то происходит многократное изменение полярности тока разряда. Задачей его эксперимента была попытка оценить энергетический баланс “электрической жидкости”, как тогда называли эту субстанцию. Для этого Генри собрал устройство, которое потом получило название амперметра. Это была магнитная стрелка, окруженная большим количеством витков провода, достаточно толстого, чтобы можно было не считаться с его омическим сопротивлением. То есть, разряд конденсатора шел через катушку индуктивности, роль которой исполнял амперметр, и, стало быть, был реализован колебательный $L-C$ контур. Но это мы уже сейчас понимаем, а тогда многократное изменение направления тока было объяснено **“интерференционными процессами, которые возникают в результате короткого замыкания, поскольку это эквивалентно встряхиванию электрической жидкости, находящейся в лейденской банке (как тогда называли конденсатор). В результате этой интерференции электрическая жидкость не только выливается из лейденской банки, но и вливается обратно”**. В таком виде объяснение работы неосознанного колебательного контура существовало во всех учебниках и в научной литературе лет 30, пока этим не заинтересовался лорд Кельвин.

Им был сделан второй шаг в открытии колебательного контура. Лорд Кельвин заинтересовался формой сигнала, который возникает при разряде конденсатора по описанной выше схеме. Чтобы удовлетворить своё любопытство, он изобрел осциллограф, и увидел, что

сигнал этот имеет форму затухающей синусоиды. И сразу во всеулышание заявил об открытии неизвестной ранее колебательной системы, поскольку, в отличие от современных для нас с вами ученых, он ни секунды не сомневался, что создать синусоидальный сигнал можно только с помощью колебательной системы, и никак иначе. Поэтому лорд Кельвин сразу отверг интерференционную природу этого сигнала. Так что и мне ничего не оставалось другого, как вслед за лордом Кельвином сказать, что если при ударном воздействии на горный массив возникает сигнал в виде затухающей синусоиды, значит, ударом мы возбудили какую-то колебательную систему.

Здесь не тому следует удивляться, что я сделал заявление о наличии в горном массиве колебательных систем, а тому, что этого никто не сказал до меня. Ведь ряды Фурье изучают студенты всех технических учебных заведений. Но я думаю, что виновато здесь заволаживающее воздействие слова «**интерференция**». Причем, не только в позапрошлом, XIX веке. Так, возьмем вполне современное радиотехническое устройство – СВЧ объемный резонатор. Это латунный стакан с серебряной внутренней поверхностью, поведение которого идентично высокодобротному колебательному контуру. Так вот, работа объемного резонатора по сей день объясняется интерференционными процессами. Я не знаю механизма преобразования ударного воздействия в гармонический отклик в объемном СВЧ-резонаторе, но то, что он, безусловно, существует, и что интерференция здесь абсолютно не причем – сомнений вызывать не может.

И, наконец, третий, и окончательный этап в открытии электрического колебательного контура. Его осуществил лет через 10 после Кельвина, в 80-х годах XIX века, Фергюсон, написав работу о резонансных свойствах L - C цепей. Дело в том, что лорд Кельвин умудрился написать уравнение колебательного контура, еще не подозревая ни о наличии, ни, тем более, о роли индуктивности. Уравнение, написанное Кельвином, имело следующее решение: $w_0 = \frac{1}{\sqrt{AC}}$, где C – статическая емкость конденсатора, а A – его динамическая емкость. И только в дальнейшем, уже после его смерти, A было заменено на индуктивность L . Сейчас, когда мы знаем физику работы электрического колебательного контура, любой школьник выведет его уравнение. Но

вот как можно было вывести его, не зная о роли индуктивности – этого я себе не представляю.

И еще. Я вынужден постоянно прибегать к аналогиям между упругими колебательными системами и электрическими, потому что, с одной стороны, проявления их (реакция на воздействие) одинаковы, а с другой, аналитический аппарат для упругих колебательных систем еще совершенно не разработан.

1.5. Об измерении кинематических характеристик

Первый результат, связанный с регистрацией собственных упругих колебаний в породных слоях, был получен при первом же моем спуске в шахту. Однако доклады об этом, которые мне приходилось делать в ходе выполнения научно-исследовательской работы, воспринимались в высшей степени отрицательно. Аргумент был странным, но я его слышал постоянно. Дескать, весь научный мир исследует кинематические характеристики поля упругих колебаний, и если спектр акустических сигналов никого не интересует, то и нам заниматься этим не следует.

Ну что ж, мне и самому очень важно было иметь лабораторную работу для измерения кинематических характеристик поля упругих колебаний, то есть, скорости его распространения.

Измерение скорости распространения поля упругих колебаний (можно говорить - скорость звука) – единственный вид акустических измерений, которые могут быть осуществлены на метрологически корректном уровне. Это определяется тем, что, применяя для измерений сейсмоприемник, мы достоверно только то и можем, что определять момент, разделяющий отсутствие сигнала и его наличие. А основой определения² скорости распространения (движения) любого объекта – это как раз и является процесс регистрации момента возникновения сигнала при прохождении этого объекта мимо точки регистрации. И вместе с тем, это единственно возможное из акустических измерений оказалось окружено таким количеством неопределенностей, запретов и условий, что этот вопрос просто необходимо рассмотреть подробнее.

² Поскольку скорость непосредственно не измеряется, а вычисляется в результате измерения временного интервала, то мы стараемся избегать понятия «измерения» скорости, а применяем термин «определение» скорости.

В уравнения, описывающие поле упругих колебаний, скорость распространения упругих колебаний входит как величина постоянная. Скорость распространения упругих колебаний в однородных по вещественному составу, монолитных средах – **очевидно** имеет постоянную величину, и в этом никто никогда не сомневался. Но вот чему равна эта величина – непонятно.

С одной стороны, определение скорости – простейшая процедура. Регистрируем время пробега Δt исследуемой субстанции определенного промежутка (измерительной базы) Δl , и получаем значение скорости V , усредненное по величине Δl :

$$V = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1-1)$$

Казалось бы, никаких проблем. Относительная погрешность результатов такого определения скорости получается простым сложением относительных погрешностей измерения отрезка пути Δl и измерения интервала времени Δt .

Однако при подготовке лабораторных работ я обратил внимание на большое количество в научной литературе противоречий в определениях. И в первую очередь, на один очень интересный запрет. Почему-то условия допустимости определения скорости распространения поля упругих колебаний с помощью выражения (1-1) связываются с соотношением между величиной Δl и длиной волны λ . И если, скажем, измерительная база Δl покажется кому-то недостаточно большой (или недостаточно малой) относительно длины волны, то результаты измерений могут быть опротестованы.

На самом деле, этот запрет не имеет физического смысла. Дело в том, что если при измерениях происходит регистрация момента, разделяющего состояние наличия сигнала от состояния его отсутствия или, как обычно говорят, происходит регистрация момента первого вступления, то непонятно, причем тут длина волны. Ведь длина волны, которая, как известно, есть отношение скорости распространения конкретной субстанции к частоте ее изменения, может характеризовать только периодический процесс. Момент же первого вступления может аппроксимироваться функцией Хэвисайда (ступенька или скачок), которая не является периодическим процессом, и длиной волны не характеризуется. Никакой моноимпульсный процесс не может ха-

рактизоваться длиной волны, а стало быть, не может длиной волны характеризоваться и ступенька.

При определении скорости путем регистрации момента первого вступления выявляется самая большая скорость движения или, иначе говоря, скорость распространения фронта. Это аналогично тому, как когда бегун, пересекая линию финиша, рвет ленточку. Он рвет ее частью тела, которая первая пересекает линию финиша, и никого уже не интересует, сколько времени будут пересекать эту линию все оставшиеся там руки, ноги и т.д. Та же логика и с акустическими измерениями, когда по моменту первого вступления мы определяем скорость фронта, и совершенно не интересуемся параметрами сигнала, который будет потом, после зарегистрированного момента первого вступления. И одна из моих лабораторных работ по курсу шахтной сейсморазведки как раз и представляла собой установку, в которой можно было определять скорость распространения фронта (V_{fr}) при изменении частоты излучающей пьезокерамики более чем в 10 раз (от 60 до 800 КГц). Смею уверить, что при столь широком диапазоне частот (а стало быть, и длин волн) зондирующего сигнала положение момента первого вступления на шкале времяизмерительного прибора оставалось неизменным.

Но, с другой стороны, можно понять и тех, кто придумал этот запрет. Дело в том, что при определении скорости распространения фронта даже в идеальных по однородности средах (например, стекло), значение V_{fr} оказалось в значительной степени зависящим от геометрии измерительной установки. Зависимость экспериментально определяемой скорости распространения звука в однородных средах от условий измерения настолько непредставима, что ученым оказалось проще окружить эту проблему массой запретов, нежели разобраться в физике этого явления.

1.5.1. Описание измерений

Схема лабораторной установки приведена на рис.1-5а. Исследуемая модель представляет собой лист оргстекла толщиной (h) 20 мм и размером 1,5X1,5 м. Как излучатель **И**, так и приемники **П** находятся в середине листа, чтобы уйти от краевых эффектов.

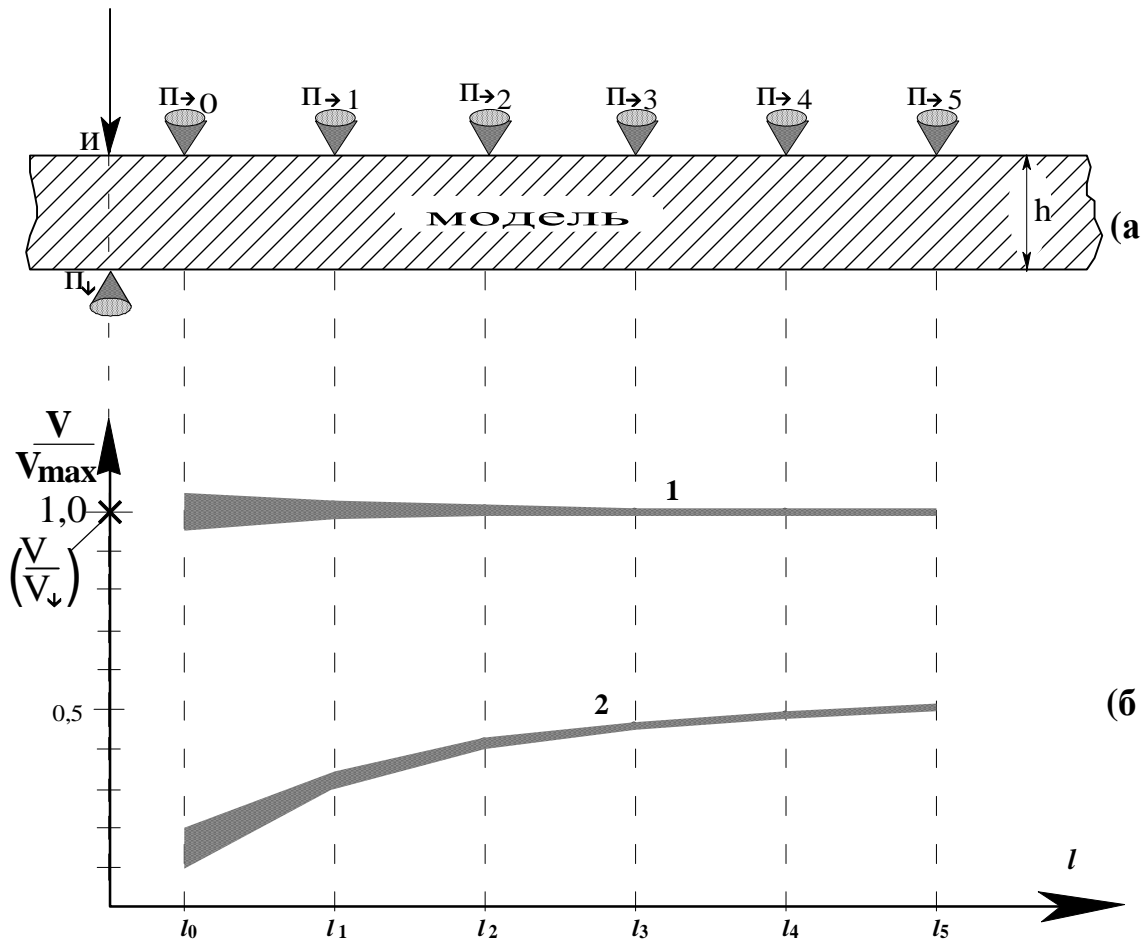


Рис. 1-5

Ударное воздействие в точке $\mathbf{И}$ осуществляется с помощью пьезокерамического преобразователя, возбуждаемого коротким электрическим импульсом. Регистрация моментов первого вступления осуществляется в нескольких точках для того, чтобы выяснить, во-первых, возможное наличие анизотропии, о которой в литературе можно встретить множество противоречивых высказываний, а во-вторых, возможную зависимость определяемой скорости от величины измерительной базы. Значок $\mathbf{а}$ означает, что измерение осуществляется в направлении, перпендикулярном плоскостям модели; а значок $\mathbf{а}$ – вдоль поверхности модели.

Скорость V определяется как отношение l к t , где l – расстояние от точки $\mathbf{И}$ до соответствующего приемника, а t – время, необходимое для прохождения упругой волной расстояния l . Момент прохождения через точку контакта с соответствующим приемником определяется по моменту первого вступления. То есть речь идет об определении скорости распространения фронта упругой волны V_{fr} .

Погрешность определения скорости V_{fr} с уменьшением измерительной базы l увеличивается в связи с увеличением относительных погрешностей как l , так и t за счет уменьшения их абсолютных значений. Это отражено утолщением линий графиков на рис.1-5б.

Измерениям, выполненным на листе из оргстекла, соответствует график 1. Как видим, значения скорости распространения звука в этой плоскопараллельной структуре остаются постоянными и не зависящими от геометрии измерительной установки. То есть, на просвет скорость V_{fr} такая же, как и при распространении звука вдоль листа, независимо от расстояния l . Скорость эта в оргстекле (полиметилметакрилат) равна примерно 3000 м/с.

Такие результаты позволяют нам считать проведенные измерения правомерными.

Однако при переходе от оргстекла к стеклу результаты измерений коренным образом изменяются. Первые же измерения, выполненные на листовом стекле, дали другие, и совершенно неожиданные результаты. Оказалось, что величина скорости V_{fr} не остается постоянной, а зависит от условий измерения. А именно, от геометрии измерительной установки. Результаты этих измерений отражены на рис.1-5б зависимостью 2.

Наибольшее значение имеет величина $V_{fr_{\bar{a}}}$, то есть скорость, выявленная путем сквозного прозвучивания стеклянного листа. Величина скорости $V_{fr_{\bar{a}}}$ оказалась примерно равной $6 \cdot 10^3$ м/с. То есть, на первом этапе, мы могли бы даже согласиться, что это есть скорость продольных волн. При профилировании вдоль поверхности стеклянной модели, при наибольших значениях l величина $V_{fr_{\bar{a}}}$ оказывается примерно вдвое меньшей, чем $V_{fr_{\bar{a}}}$. Ну, здесь тоже можно было бы согласиться, что это скорость поперечных волн. Однако при уменьшении измерительной базы l величина $V_{fr_{\bar{a}}}$ не остается постоянной, и не приближается к значению $V_{fr_{\bar{a}}}$, как можно было бы ожидать, а уменьшается. В пределе, определяемом допустимой погрешностью (в пределах 20%), величина $V_{fr_{\bar{a}}}$ уменьшается до 10^3 м/с.

На этом этапе повествования не будем пока выяснять причин получившихся результатов. Отметим только, что график, подобный зависимости 2 на рис.1-5б получается при исследовании плоскопараллельных структур не только из стекла, но и из металлов и сплавов, ке-

рамики, цементных составов, горных пород, а также ледяного слоя замерзшего водоема.

Естественно, что когда приходилось делать доклады о получающихся результатах, возникали сомнения в правомерности подобных измерений. Однако что касается правомерности проведенных измерений, то мы ее уже доказали при исследовании листа из оргстекла.

И еще один момент. Малые значения скорости при небольших значениях измерительной базы при сейсморазведочных работах хорошо известны. Это истолковывается как следствие наличия приповерхностной зоны малых скоростей. Предполагается, что скорость распространения в приповерхностных породах имеет низкое значение в связи с их выветрелостью. Существует даже узаконенная аббревиатура ЗМС, зона малых скоростей. Как видим, в объектах из стекла и металлов приповерхностных зон нет, но малые значения скорости V_{fr} при малых значениях измерительной базы все равно имеют место.

Естественно, что сразу после получения таких результатов, эта измерительная установка в качестве лабораторной для обучения студентов не могла применяться по причине полного непонимания тех результатов, которые были получены с ее помощью.

1.6. О связи между частотой f_0 и толщиной h породного слоя

Обнаружить колебательную систему на упругих колебаниях в породах угленосной толщи удалось благодаря простому везению. Оно заключалось в том, что при самом первом измерении мы столкнулись с сейсмосигналом, сформированным одной-единственной колебательной системой, что является крайне редким случаем. Если бы колебательных систем в зоне наших первых измерений оказалось несколько, результирующее спектральное изображение сигнала по своим очертаниям могло бы и не ассоциироваться с изображением единичного гармонического сигнала.

Угленосная толща, в условиях которой проводились первые измерения, является принципиально слоистой средой. И сам угольный пласт, и слои вмещающих уголь пород – это всё более или менее плоскопараллельные структуры, существенной характеристикой которых являются их толщины (или, как говорят геологи, мощности). Прозвучивая породный слой кровли, мы получили, как уже было показано

выше, значение собственной частоты, равное примерно 1КГц. Совершенно случайно (!) оказалось, что измерение проводилось рядом с разведочной скважиной, пробуренной сверху вниз, еще перед заложением шахты. Обратившись к геологическому описанию этой скважины, мы выяснили, что кровля угольного пласта вблизи точки бурения представлена слоем песчаника мощностью 2,5м. Предположив, что в роли колебательной системы оказался этот породный слой, я провел аналогию между общеизвестными разного рода полуволновыми (четвертьволновыми, волновыми) системами (как в оптике, так и в электродинамике), размер которых связан с длиной волны. Длина волны λ , как известно, является отношением скорости V , характеризующей соответствующее физическое поле, к частоте f . Допустив, в соответствии с этим, что мощность породного слоя h пропорциональна λ , можем написать:

$$h \equiv \lambda$$

$$\text{или } h = \frac{k}{f_0} \quad (1-2) \quad (1)$$

Как оказалось в дальнейшем, соотношение (1-2) является основным расчетным соотношением спектральной сейсморазведки (той области знания, к которой мы сейчас идем). Поэтому пусть оно имеет обозначение (1).

Для первого измерения коэффициент k , имеющий размерность скорости, оказался равен 2500м/с. Как этот коэффициент был связан со скоростью, характеризующей упругие свойства песчаника, было неясно. А кроме того, поскольку выводов по одному измерению делать никогда нельзя, мы стали искать в различных угольных шахтах другие места для измерений, с тем же условием, чтобы вблизи точки измерения была разведочная скважина. Дело в том, что других способов узнать строение породного массива не существует.

Интересно, что когда мы стали искать для измерений такие места в шахтных выработках, чтобы находиться рядом с разведочной скважиной, то оказалось, что это крайне сложная задача. Расстояние между разведочными скважинами обычно составляет не меньше 500м, и при бурении стараются заложить их так, чтобы они не проходили через капитальные выработки (штреки). Так что действительно, надо

признать, что везение при первом нашем измерении было необыкновенным.

Тем не менее, места такие были найдены. В результате нескольких таких измерений было установлено следующее:

1. Роль колебательных систем действительно выполняют породные слои;

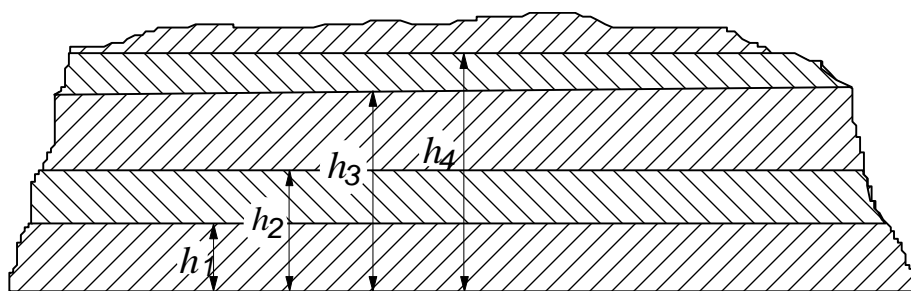
2. Зависимость между собственной частотой f_0 породного слоя как колебательной системы и его мощностью h действительно имеет вид соотношения (1);

3. Коэффициент k оказался на удивление постоянным. Независимо от материала породного слоя, от слабого аргиллита и до прочнейшего песчаника и известняка, на различных глубинах залегания, в различных технологических условиях, его величина не более чем на $\pm 10\%$ отличается от 2500м/с;

4. Во многих случаях породная толща проявляет свойства не одной, а нескольких колебательных систем. При этом соотношение (1) принимает вид:

$$h_i = \frac{2500}{f_{0i}}, \quad (1')$$

где i – номер соответствующего породного слоя, в соответствии с рис.1-6. За исключением единичного породного слоя h_1 , все остальные слои являются составными.



кровля подземной выработки

Рис. 1-6

Далее, было установлено, что собственное звучание слоя-резонатора можно обнаружить только в том случае, если сейсмоприемник касается непосредственно этого слоя. По этой причине звучание находящихся внутри массива породных слоев-резонаторов выявлено быть не может.

Представляется очевидным, что обнаруженная, как показано выше, система соотношений между строением земной толщи и спектром поля упругих колебаний может использоваться для определения строения земной толщи с помощью изучения спектра сейсмосигнала. Этот метод исследования строения земной толщи показалось логичным назвать спектральной сейсморазведкой.

По сути, в этих четырех пунктах уже изложены основные принципы спектральной сейсморазведки. Однако для того чтобы их осознать и сформулировать, понадобилось несколько лет. Тому были объективные причины. Изложим их.

1.7. О сейсмоприемниках

Непременным участником всех акустических и сейсмоизмерений является акустоэлектрический преобразователь, называемый обычно сейсмоприемником. При этом оказалось, что совершенно не все равно, какой именно сейсмоприемник используется для выполнения спектрально-сейсморазведочных измерений. Понятно, что для получения информации о спектре сейсмосигнала необходимо, чтобы спектр электрического сигнала, снимаемого с сейсмоприемника, не отличался от спектра акустического сигнала в точке контакта сейсмоприемника с горным массивом. Но как в этом убедиться?

Судить о спектре акустического сигнала возможно только с помощью сейсмоприемника, и на первых порах мы решили проверить повторяемость спектра при использовании различных сейсмоприемников.

Первые же измерения показали, что если в одной и той же точке использовать поочередно несколько различных сейсмоприемников, то получаемые спектры сейсмосигналов будут различны. И даже, более того, спектры будут различными, если использовать по очереди совершенно одинаковые сейсмоприемники. Какой из спектров является истинным – непонятно. И еще более того, если сейсмоприемник будет всего один, но с его помощью несколько раз проделывать измерения в одной и той же точке, то и при этом спектр будет изменяться.

Для того чтобы разобраться с этим, проблема сейсмоприемника была рассмотрена с точки зрения метрологии.

1.7.1. О проблеме датчиков в физике

Научный уровень рассмотрения любой области физики определяется уровнем оснащенности соответствующими датчиками. Датчик – это устройство, на выходе которого считывается информация, которая должна быть соотнесена с конкретной физической субстанцией, эталон которой хранится в Палате Мер и Весов.

Например, весы являются датчиком массы. Считывая со шкалы весов значение, полученное при взвешивании эталона, мы можем оценить погрешность этого датчика.

Измерение – это сравнение с эталоном. Однако далеко не все субстанции, с которыми мы имеем дело в жизни, могут быть измерены. Познание развивается бесконечно, полностью проблема датчиков никогда не будет решена, и целый ряд физических характеристик на сегодняшний день просто еще не имеет своих эталонов.

Ну, скажем, такая популярная субстанция как биополе. Армия экстрасенсов исследует биополя, беседует о нашей с вами энергетике. И даже некоторые ученые участвуют в этих диспутах. При этом или забывая, или не зная о том, что датчика биополя, как и средства определения энергетике не существует. Грубо говоря, единственно правильный подход при изучении физики можно сформулировать так: нет датчика – нет научной проблемы.

Так вот, что касается акустики, то, к сожалению, как уже говорилось, не имеет своих эталонов ни один из базисных параметров поля упругих колебаний в твердых средах. Базисные параметры поля упругих колебаний – это аргументы волнового уравнения, которое является главным инструментом изучения этого поля. Базисные параметры поля упругих колебаний – это амплитуда и направление смещения колеблющихся в поле упругих колебаний упругих частиц, а также скорость и ускорение их смещения, а также величина механического напряжения в упругой волне. На сегодняшний день ни одна из этих субстанций не имеет своего эталона, и, стало быть, измерена быть не может. Я об этом уже говорил выше, но это заявление настолько важно для осознания проблем данной области знания, что его следует повторять, и как можно чаще.

Следствие такого положения дел заключается в том, что акустика твердых сред вообще и сейсморазведка в частности, не входят в компетенцию метрологических служб.

Неизбежно должно возникнуть недоумение: а что же сейсмоприемники?.. Ведь сейсмоприемники существуют, они снабжены паспортами, характеризуются чувствительностью и даже используются для регистрации определенных типов упругих колебаний.

Да, действительно, сейсмоприемники изготавливают и применяют очень широко. Даже существуют лаборатории, которые осуществляют метрологическую аттестацию сейсмоприемников. Но на самом деле, к метрологии это не имеет никакого отношения. От того, что кто-то получил неизвестно на каком основании право ставить печать о метрологической проверке, эталоны базисных параметров не появились, а стало быть, сейсмоприемники датчиками какого-либо параметра поля упругих колебаний не являются. Иначе говоря, какой физической субстанции пропорционально электрическое напряжение, снимаемое с сейсмоприемника, пока что никому неизвестно.

Очень важно понимать и всегда помнить, что математика является принадлежностью физики только в том случае, если аргументы уравнений могут быть определены в эксперименте. В данном же случае, в акустике твердых сред и сейсморазведке это невозможно. Из этого следует, что вся математическая база сейсморазведки к собственно сейсморазведке не имеет никакого отношения. Но ведь в так называемой теоретической сейсморазведке ничего кроме этой никому не нужной математики не существует... К сожалению, сейсморазведчики-теоретики – это, на самом деле, чистые математики, никогда в жизни не сделавшие ни одного самостоятельного измерения.

Представление о том, что ось электродинамического приемника должна совпадать с вектором смещения колеблющихся частиц, кажется настолько очевидным, что, собрав систему из трех взаимно перпендикулярных сейсмоприемников, осуществляют измерения траектории их движения. Увы, эти измерения не имеют под собой ни малейшей метрологической основы. И известное всем экспериментаторам отсутствие повторяемости результатов измерений, выполненных с помощью таких «трехкоординатных сейсмоприемников» (так называемых, 3d сейсмоприемников), не должно вызывать удивления.

Было бы неплохо, если бы с помощью сейсмоприемника можно было хотя бы определять спектральный состав сейсмосигнала, но, к сожалению, как оказалось, и для этого он не годится. Ну, чтобы быть точным, не годился до начала наших разработок [7].

Так сложилось, что все описанные в литературе свойства сейсмоприемников определены не в результате измерений, а путем математической обработки различных мысленных построений. Так, описание спектральных характеристик сейсмоприемников возникло из целого ряда очевидностей³. Как-то само собой, из каких-то логических построений, уже очень давно возникла уверенность, что если интересующий нас частотный диапазон находится достаточно далеко от собственной частоты сейсмоприемника, то в таком случае данный сейсмоприемник можно считать широкополосным и неискажающим спектр. Увы, измерения это не подтверждают.

На самом деле, как оказалось, все существующие сейсмоприемники имеют собственные частоты, то есть обладают собственной колебательностью или, иначе говоря, содержат в себе колебательные системы, и искажение спектра происходит при наличии колебательности сейсмоприемника при любых значениях его собственных частот.

Осознать этот момент можно с помощью аналогии с электротехникой. Эта аналогия заключается в следующем. Допустим, что входная цепь осциллографа содержит колебательный контур. Причем, это неизвестно тем, кто пользуется этим осциллографом. Если есть необходимость исследования колебательного контура, то при подключении его к такому осциллографу возникает система связанных контуров. При этом неизбежно взаимное влияние обоих контуров, из-за которого исследуемый контур изменит свои параметры. Это изменение зависит от такого количества факторов, что исчезает повторяемость измерения.

Вот это отсутствие повторяемости спектра при повторе сейсмозмерений как раз и имеет место.

В отношении электродинамических (самых распространенных) сейсмоприемников также существует непонятно откуда взявшаяся уверенность в том, что применение различных демпферов (механиче-

³ Не откажу себе в удовольствии напомнить, что, как следует из методологии развития научного познания, очевидность в науке – это путь в тупик.

ского и электрического) уничтожает собственную колебательность сейсмоприемника. Это заблуждение снимается очень просто. Достаточно воздействовать на такой сейсмоприемник коротким ударом (падение на его поверхность с примерно 30-сантиметровой высоты 2-миллиметрового стального шарика), и посмотреть форму снимаемой при этом с сейсмоприемника ЭДС. Мы увидим длительный, медленно затухающий колебательный процесс, наличие которого однозначно свидетельствует о том, что данный сейсмоприемник является колебательной системой. Этого уже достаточно, чтобы понять, что такой сейсмоприемник нельзя использовать как источник информации о спектре сейсмосигнала.

Для осуществления спектрально-сейсморазведочных измерений оказалось необходимым создать сейсмоприемник, который не имеет собственной колебательности, а следовательно, гарантирует отсутствие спектральных искажений. Об этом речь пойдет далее.

1.8. О смысле числителя в основном расчетном выражении

Каждый шаг в начальный период разработки спектрально-сейсморазведочного направления делался в неведомое. Для коллег, а тем более, для разного рода научного руководства каждый мой шаг представлялся безусловно ошибочным. Ведь каждый результат из уже перечисленных исследований противоречил существующим представлениям... Одним из таких результатов было обнаружение постоянства скорости в выражении (1).

Согласно существующим представлениям, никакая скорость, характеризующая поле упругих колебаний, не может сохранять такого высокого постоянства в различных горных породах. Так, скорость распространения продольных волн в одном только песчанике, согласно справочникам, может иметь значение, изменяющееся, как указано в справочниках, в зависимости от месторождения, от 1900 до 7000 м/с. Однако поскольку постоянство коэффициента k устойчиво подтверждалось в различных углевмещающих породах, в различных угольных регионах и на различных глубинах, то выражение (1) несколько лет использовалось как чисто эмпирическое, без понимания его физики и смысла коэффициента k , стоящего в числителе. Даже более того,

я старался, как мог, чтобы никто не заметил, что этот коэффициент имеет размерность скорости.

Что за скорость стоит за коэффициентом k , будет показано далее.

1.9. Выводы по главе 1

Испокон веков считалось, что законы распространения упругих колебаний в газообразных, жидких и твердых однородных средах в общих чертах подобны законам распространения света. Пуассон предположил, что твердые среды от жидких и газообразных отличаются тем, что в них, вследствие наличия сдвиговых деформаций, распространяются кроме продольных еще и поперечные колебания. Но принципиально это ничего не изменило, так как предполагается, что эти и многие другие типы упругих колебаний все равно распространяются по законам геометрической оптики. А следовательно, в общем виде, свойства поля упругих колебаний и акустические сигналы, регистрируемые соответствующими приемниками, определяются интерференционными процессами.

Но вот оказалось, что в твердых средах в составе сейсмосигналов существуют затухающие гармонические колебания. То есть в твердых средах есть объекты, имеющие свойства колебательных систем.

И сразу возникла очень серьезная проблема. Ведь если при ударном воздействии на горный массив происходит преобразование этого воздействия в гармонический процесс, то о распространении этого первичного импульса в пространстве земной толщи уже не может быть речи. Этого первичного импульса просто нет. Мы ведь не можем рассматривать звучание, скажем, колокола как следствие многократного переотражения в нем первичного ударного воздействия. Колокол работает как объемный резонатор, и если приложить к его поверхности сейсмоприемник, то никаких следов первичного, ударного воздействия увидеть не удастся. Сейсмоприемник зафиксирует только собственные колебания объемного резонатора, которые имеют вид затухающей синусоиды.

То есть, обнаруженный эффект возникновения в земной толще гармонических затухающих колебаний поставил под сомнение всю общепринятую парадигму теории поля упругих колебаний. Ну, что ж, согласно основным принципам методологии развития научного по-

знания, один несложный эксперимент вполне может оказаться могильщиком как угодно мощной и высоко математизированной теории. Однако на своем опыте могу сказать, что в жизни все происходит иначе, и кто чей могильщик, еще надо посмотреть.

Особого внимания заслуживает описанный эксперимент по определению скорости распространения звука в пластинах. Эксперимент этот настолько прост, что может быть выполнен буквально в школьных условиях. Результаты его хорошо повторяемы. Но осуществление его находится под запретом. Ученые, в присутствии которых я проводил эти измерения в моей лаборатории, в представительных аудиториях категорически отрицали свое присутствие в моей лаборатории. Более того, даже некоторые из моих бывших сотрудников, с которыми мы вместе задумывали и готовили эти измерения, заявляли потом, что никаких измерений не было. Ну, на мой характер, уже хотя бы в силу этих причин, следовало разобраться с физикой этих столь неугодных результатов...

Если бы мы жили вне человеческого общества, и нам были бы чужды интересы конкретных людей, мы бы конечно предпочли экспериментально обоснованную парадигму, той, которая возникла умозрительно и ни одно положение которой экспериментами не подтверждается, как это имеет место в традиционной сейсморазведке. Однако в реальности каждая существующая область знания связана с судьбами людей, и ожидать добровольного признания ошибочности какого-то научного направления нельзя. Ну, как можно требовать, чтобы, скажем, пожилые люди, имеющие научные степени и звания, признались даже сами себе, что вся их жизнь ушла на движение в тупиковом направлении и принесена в жертву научному заблуждению...

Глава 2.

Физика упругих колебательных систем

Известны электрические колебательные системы. Это колебательные контуры. Существуют колебательные системы в виде маятников, пружин. Здесь же мы будем изучать колебательные системы в виде (сначала) плоскопараллельных объектов из однородных, монолитных сред. Их тоже нужно было как-то назвать. Поскольку агентом

этих колебательных систем является поле упругих колебаний, мне показалось логичным назвать их упругими колебательными системами.

Общим у всех колебательных систем является то, что реакцией на импульсное воздействие у них является синусоидальный затухающий процесс.

При первом же моем спуске в угольную шахту я обнаружил, что при ударе (молотком) по кровле угольного пласта возникает сигнал, имеющий форму затухающей синусоиды. Но что за механизм преобразует в данном случае удар в синусоиду, было неясно.

2.1. Об условии реализации упругой колебательной системы

Одно дело – применять физический эффект, физика которого непонятна (надо сказать, что немало из известных эффектов именно таковы), и совсем другое – применять эффект, невозможность существования которого доказывается элементарно просто.

Именно так и произошло на первом этапе разработки спектральной сейсморазведки.

Никакого сомнения нет в том, что в однородном по вещественному составу и по акустическим свойствам слое (пластине) механизма преобразования удара в синусоиду нет и быть не может. Единственно, что может быть в таком слое – это многократное отражение зондирующего сигнала от его границ.

При этом сложилось так, что, несмотря на бывшую у меня уверенность в физической невозможности обнаруженного эффекта, начался процесс внедрения уже разработанной методики прогнозирования устойчивости кровли угольного пласта в угольную промышленность. В результате, возникло очень серьезное противоречие.

Методика оценки и прогнозирования горнотехнической ситуации в угольных шахтах должна была сохранять жизнь шахтерам. Однако вся методика была построена на использовании колебательных (или, иными словами, резонансных) свойств породных слоев, которых, согласно существующей парадигме, просто не существует. И что было бы, если бы в один прекрасный день (на самом деле, это было бы для нас черным днем), методика не сработала, потому что основана она на эффектах, которых быть не может. Это привело бы к гибели людей. Осознав это, я приостановил внедрение методики.

У меня были сомнения – следует ли рассказывать в настоящей работе о разного рода личностных моментах, которые возникали при ведении научного поиска. Думаю, что в данном случае это имеет смысл.

Дело в том, что взаимоотношения между наукой и производством (в частности, с шахтами) таковы, что в подавляющем большинстве случаев наука ничего не дает производству. Совсем наоборот, наука, а точнее, научные работники находятся в прямой зависимости от производства. Так, получить официальное подтверждение о якобы внедрении кому-то якобы нужной научной разработки, без чего не состоялись бы ни защиты диссертаций, ни заключения договоров на проведение научных исследований, можно только при очень личной заинтересованности руководства производством. Делается это негромко, и система взаиморасчетов за взаимные услуги отработана годами и вполне. В данном же случае о внедрении методики оценки и прогнозирования устойчивости кровли попросили сами геологи угольных шахт. Да-да, шахта Распадская официально запросила ЛГИ об организации обучения шахтных геологов использованию аппаратуры для прогнозирования устойчивости кровли. Это событие уникальное.

Уточню. Чтобы шахта просила у науки что-либо – это вряд ли кто припомнит. И когда я начал противодействовать внедрению нашей разработки в практику шахтных геологов, начался вселенский скандал. Никто не собирался вникать в причины и мотивы моих намерений. Предполагалось, что это мой каприз, и, исходя из этого, на меня осуществлялось воздействие. Воздействие было достаточно сильным, чтобы простимулировать усиление моей умственной деятельности. Что потом, естественно, многократно обыгрывалось моими сотрудниками. Так, родился афоризм: «Чтобы в голову пришла толковая мысль, следует по этой голове как следует ударить».

В чем же заключалась возникшая мысль...

Для того чтобы решить какую-то головоломную задачу, необходимо в первую очередь отказаться от всего, в чем нет уверенности, и наоборот, стоять насмерть в том, что сомнению не подлежит.

Что мы имели на тот момент:

1. Мы имели наличие упругого гармонического затухающего процесса, возникающего при ударном воздействии на плоскопараллельный объект, материал которого является однородной по вещественному составу средой – стекло, металл или сплав, керамика или горная порода;

2. Мы имели уверенность в том, что в однородном по акустическим свойствам слое не может быть механизма преобразования ударного воздействия в гармонический отклик.

Вот в том-то эта мысль и заключалась, что сосуществовать эти два положения могут только в том случае, если однородная по вещественному составу среда является неоднородной по акустическим свойствам. Однако что же это за неоднородность акустическая?

2.2. О свойствах звукопроводящих сред, необходимых для возникновения собственных упругих колебаний

Напомню сложившуюся (примерно к 1982 году) ситуацию. С одной стороны, обнаруженный эффект возникновения гармонических затухающих колебаний при ударном воздействии на плоскопараллельные породные структуры уже использовался нами в практике шахтной геофизики, а с другой, было совершенно очевидно, что в однородных по вещественному составу и акустическим свойствам слоях этот эффект никак не может возникнуть.

Как путь к разрешению этого противоречия, мною было высказано предположение о возможном наличии в однородных по вещественному составу слоях какой-то акустической неоднородности. Но какая акустическая характеристика может оказаться неоднородной в однородной по вещественному составу среде?

Акустическое удельное сопротивление $R=rV$ – это единственная известная нам акустическая характеристика среды, которая может быть определена на метрологически корректном уровне. И если плотность материала слоя, по определению и по нашему предположению, постоянна во всем объеме объектов из однородной по вещественному составу монолитной среды, то остается предположить, что акустическая неоднородность могла бы возникнуть, если бы скорость распространения упругих колебаний в различных точках этого объема оказалась неодинаковой.

Мысль эта с самого начала казалась бредовой. Уверенность в том, что скорость распространения фронта упругих колебаний V_{fr} в однородных по вещественному составу средах не может не быть одинаковой во всех точках, наверное, рождается вместе с нами. Но отвергнуть эту мысль было нельзя, потому что если величина V_{fr} действительно во всех точках объекта постоянна, то тогда и совсем непонятно, о каких еще акустических характеристиках может идти речь при поисках акустической неоднородности. С другой стороны, если появилась гипотеза, то какой бы абсурдной она ни казалась, она должна быть проверена. В общем, я пришел к необходимости проверить экспериментально, постоянна ли величина скорости V_{fr} во всех точках объектов из однородных твердых сред. А если говорить честно, то я решил экспериментально доказать, что скорость эта, конечно же, одинакова во всех точках объектов из однородных сред. Чтобы впредь никто даже не задумывался на эту тему. И вот что из этого получилось.

2.2.1. Проверка постоянства скорости звука в однородных средах

Проверка факта постоянства (или непостоянства) скорости V_{fr} в пределах конкретного объекта осуществлялась следующим образом.

Прозвучивая пластину насквозь, мы получаем значение скорости V_{fr} путем деления толщины пластины h на величину времени Δt , в течение которого звук проходит сквозь пластину. При этом величина V_{fr} является средним значением скорости распространения фронта по толщине h . В дальнейшем обозначаем ее как $V_{m(middle)}$. Если скорость движения фронта упругих колебаний одинакова во всех точках исследуемой пластины, то значение определяемой нами скорости V_m будет одним и тем же, независимо от ее толщины. Если же скорость движения фронта неодинакова в различных зонах прозвучиваемых пластин, то определяемая скорость будет как-то изменяться при изменении толщины пластины.

Следуя этой логике, определение скорости было осуществлено в нескольких пластинах из стекла, различающихся по толщине h от 2 до 20мм. Затем точно так же были прозвучены пластины из оргстекла, поскольку этот материал уже проявил себя в измерениях, описанных выше. На рис.2-1 приведены графики зависимостей $V_m(h)$.

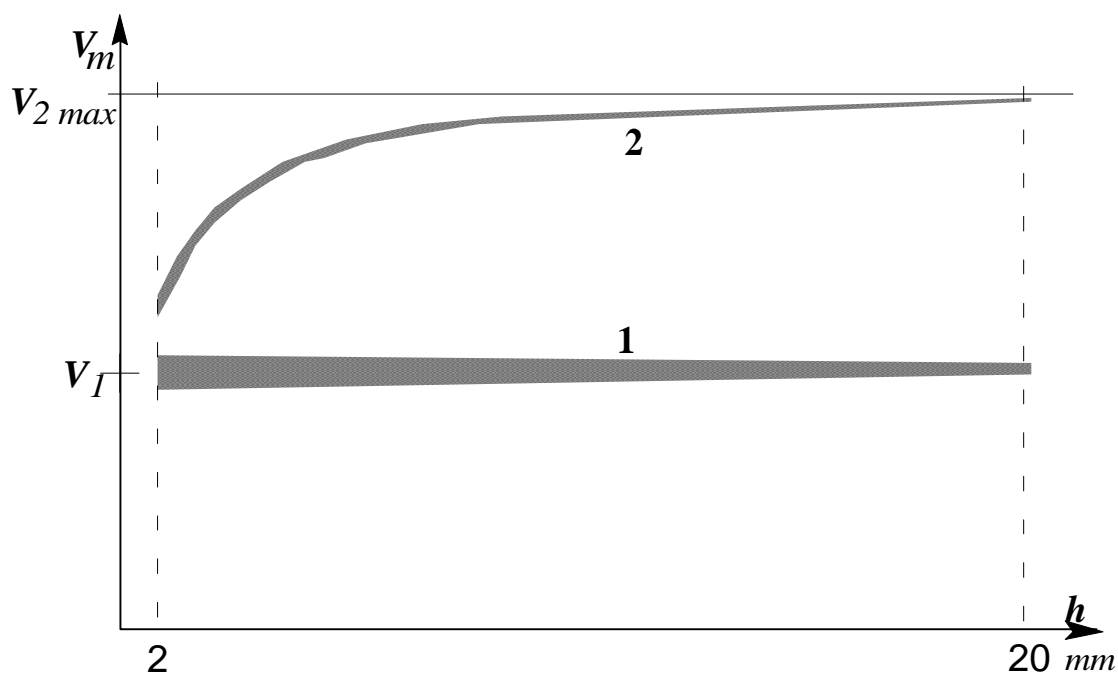


Рис. 2-1

График **1** отражает зависимость $V_m(h)$, полученную при прозвучивании пластин из оргстекла. Как видим, определяемая скорость распространения упругих волн в оргстекле не зависит от толщины пластины и равна V_1 . И, стало быть, в оргстекле скорость постоянна и одинакова во всех точках объекта. И, еще раз напомним, что в оргстекле собственные упругие колебания не возникают.

И совсем другое дело, если точно так же исследовать пластины из стекла. График **2** получен при прозвучивании стеклянных пластин. Здесь величина скорости V_m явно зависит от толщины пластины. С увеличением толщины пластины h скорость V_m сначала увеличивается довольно резко, а затем более плавно, приближаясь к максимальному значению, равному V_{2max} . Отметим, что зависимость, геометрически подобная графику **2**, была затем получена и при прозвучивании пластин из металлов и сплавов, керамики и горных пород.

Полученную зависимость **2** необходимо осмыслить. То, что такая зависимость является свидетельством непостоянства скорости движения фронта упругих колебаний при прохождении их сквозь стеклянную пластину — это бесспорно⁴. Но вот каков характер этого непостоянства...

⁴ Я сам смирился с тем, что зависимость $V_m(h)$ в большинстве твердых сред имеет такой вид только после трех лет непрерывных усовершенствований измерительной установки, когда уже не осталось места для каких бы то ни было сомнений.

В принципе, подобную зависимость значения средней скорости при изменении расстояния между пунктами отправления и прибытия имеет любое транспортное средство. Поскольку как начало движения, так и окончание его характеризуется плавным изменением скорости, то с уменьшением длины пути влияние участков плавного изменения скорости на значение средней скорости увеличивается, и поэтому само значение средней (крейсерской) скорости уменьшается.

Что касается характера изменения скорости звука, то здесь возможны варианты. Так, зависимость $V_m(h)$ будет подобна графику 2 на рис.2-1, если закон изменения скорости движения фронта будет таким, как это показано на рис.2-2а.

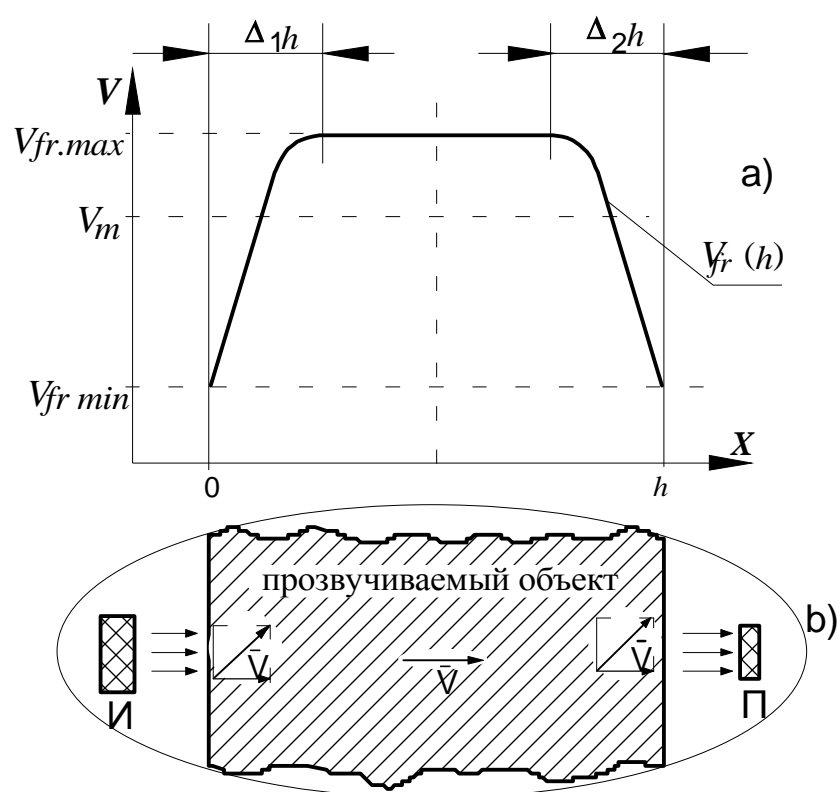


Рис. 2-2

То есть, если, проходя сквозь пластину, фронт сначала разгоняется на протяжении участка $\Delta_1 h$ от значения $V_{fr. min}$, затем движется с максимальной скоростью $V_{fr. max}$, а затем, перед выходом из пластины, на протяжении участка $\Delta_2 h$ снова замедляется. Но точно такая же зависимость $V_m(h)$ будет и в том случае, если зависимость $V_{fr}(h)$ будет несимметричной. Например, если будет только одна зона с плавным изменением скорости фронта ($\Delta_1 h$ или $\Delta_2 h$).

Естественно, что необходимо было выяснить, как именно изменяется скорость фронта при прохождении через пластину.

2.3. О физических предпосылках существования зон Δh

Кроме того, что неодинаковость скорости распространения фронта упругих колебаний в разных точках объекта из однородной по вещественному составу среды чисто субъективно вообще воспринимается чрезвычайно трудно, есть здесь еще один момент. Дело в том, что скорость движения материального объекта в замкнутой системе в силу закона сохранения количества движения вообще-то не может изменяться. И если замедление еще как-то можно было бы объяснить, скажем, влиянием трения, то увеличения скорости без подвода энергии не может быть точно.

Представляется, что решение этой загадки может быть следующим.

Скорость есть величина векторная. Когда мы определяем скорость прохождения фронта сквозь пластину, то фактически имеем в виду только x -составляющую скорости. Эффект изменения x -составляющей по мере прохождения фронта через пластину может возникнуть в том случае, если постоянный по модулю вектор скорости в разных (по оси x) участках пластины имеет различный наклон (показано на рис.2-2b). Наличие ортогональной (к оси x) составляющей вектора скорости свидетельствует о наличии тангенциальной составляющей поля упругих колебаний при движении фронта в направлении x .

Вот это еще один момент, кардинально не соответствующий общепринятой теории поля упругих колебаний. Ведь, как известно, считается, что в случае нормального падения звукового луча на плоскую границу тангенциальной составляющей поля быть не должно.

2.3.1. Исследование приповерхностных зон Δh

Наличие тангенциальной составляющей поля упругих колебаний на поверхности стеклянной пластины при нормальном ее прозвучивании подтверждается следующим экспериментом.

Зависимость $V_{fr}(h)$, показанная на рис.2-2а, получена при прозвучивании пластины, находящейся в звукопроводящей жидкости. Схема измерения приведена на рис.2-2б. Излучатель **И** и приемник **П** непо-

средственно пластины не касаются – акустический контакт осуществляется через жидкость. И поскольку поверхности пластины касаются жидкости, то противодействие ортогональному смещению будет постоянным и не зависящим от давления. Иначе говоря, трение на плоскостях прозвучиваемой пластины будет определяться вязкостью жидкости и не будет зависеть от давления.

Если это трение изменять, то (если причинно-следственные связи между результатами измерений и наличием тангенциальной составляющей смещения были поняты правильно), значение измеряемой скорости должно также изменяться. Для проверки этого предположения изменим граничные условия, и обеспечим непосредственный контакт пластины с пьезопреобразователями (излучателем и приемником) так, как это показано на рис.2-3.

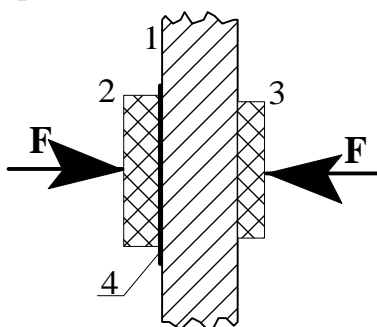


Рис. 2-3

Пластина **1**, подлежащая исследованию, зажимается между двумя пьезокерамическими преобразователями **2** и **3** – излучателем и приемником – с усилием F . В процессе измерений между пластиной и преобразователем (с одной или с двух сторон от пластины) может быть проложена промасленная прокладка **4** из тонкого папируса.

Особенность такого контактного измерения заключается в том, что между поверхностями преобразователей и пластины сила трения, которая равна коэффициенту трения, умноженному на силу F , будет изменяться при изменении силы прижима F . Проложив промасленную прокладку, мы создаем условия такого измерения, как если бы пластина находилась в жидкости. Прижим через промасленную прокладку не приводит к изменению силы трения при прижиме.

Результаты измерений, осуществленных с помощью схемы, приведенной на рис.2-3, приведены на рис.2-4.

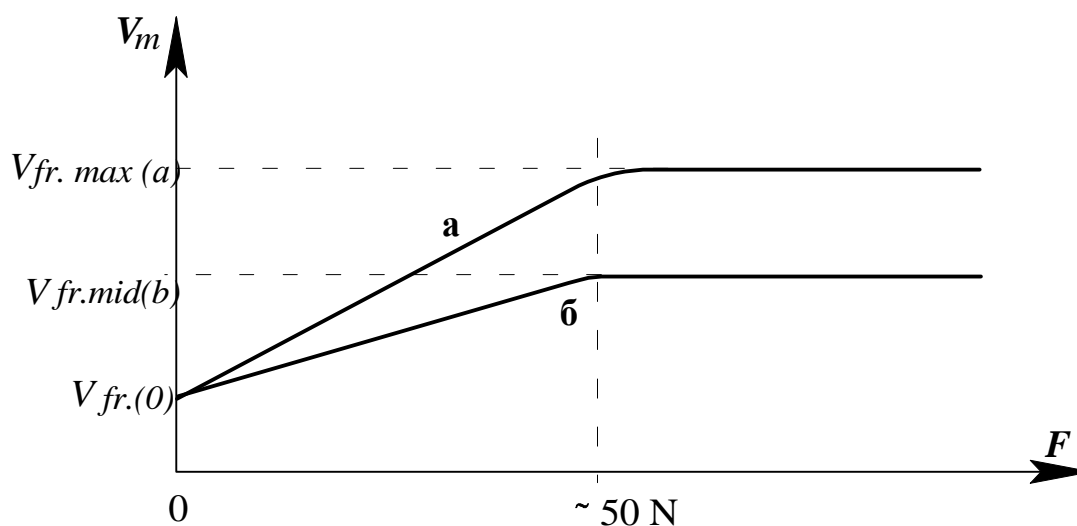


Рис. 2-4

При минимальном прижиме имеют место условия такие же, как и при измерениях, показанных на рис.2-2б, так как при контактных измерениях между поверхностями пластины и пьезокерамики находится жидкая смазка, и измеряемая скорость минимальна, на рис.2-4 – это $V_{fr.(0)}$. Затем, в случае отсутствия промасленной прокладки, с увеличением силы прижима смазка выдавливается, и скорость растет (график **a**), и при усилении порядка 50 ньютонов, что без труда осуществляется силой рук, определяемая скорость увеличивается до значения $V_{fr.mid(a)}$, и при дальнейшем увеличении прижима дальше не растет.

Этот результат доказывает, что на поверхности пластины при ее нормальном прозвучивании возникает тангенциальная составляющая поля упругих колебаний. Увеличение трения (при прижиме) приводит к повороту вектора скорости до совпадения его с осью x и, стало быть, к увеличению определяемой скорости фронта.

При наличии промасленной прокладки только с одной стороны, скорость при минимальном прижиме остается прежней, а с увеличением прижима увеличивается (график **b**) примерно вдвое меньше, чем в первом случае, до величины $V_{fr.max(b)}$. Если прокладку проложить с другой стороны пластины, получим график зависимости $V(P)$, полностью совпадающий с графиком **b**. Если проложить прокладки с обеих сторон пластины, то определяемая скорость будет равна $V_{fr.(0)}$, и изменяться ее величина с усилением прижима не будет. Эта часть эксперимента доказывает, что зоны Δh существуют вблизи обеих поверхностей пластины, и что график $V_{fr}(h)$, – симметричный, и именно такой, как приведен на рис.2-2а.

Исследуя точно таким же образом пластину из оргстекла, мы не обнаружим никаких изменений определяемой скорости при всех тех операциях, которые описаны выше. То есть, получается, что в оргстекле тангенциальная составляющая поля отсутствует.

Кстати, то, что в случае контактных акустических измерений с изменением прижима пьезопреобразователей к пластине время прохождения импульса через пластину изменяется – известно, и это даже отражено в инструкциях по проведению ультразвуковых измерений. Эффект можно усилить, если зажать между преобразователями не одну пластину, а несколько. Чем больше окажется зон Δh между пьезопреобразователями, тем больше будет диапазон изменения скорости при изменении прижима.

При любом количестве пластин из оргстекла изменение силы прижима этих пластин не приведет ни к малейшему изменению определяемой скорости.

Теперь, когда мы убедились в наличии приповерхностных зон Δh , в пределах которых скорость движения фронта (x -составляющая) плавно изменяется, необходимо выяснить, действительно ли наличие этих зон обуславливает возникновение собственного звучания в плоскопараллельных структурах.

2.4. Резонансные эффекты в пластинах

Из сказанного выше можно понять, что к некоторому моменту сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, возник и уже применялся метод спектральной сейсморазведки, а с другой, оставалась совершенно непонятной физика эффектов, лежащих в его основе. И, по сути, все лабораторные измерения, которые делались, чтобы приблизиться к пониманию этой физики, уводили от него (от понимания) еще дальше.

Наконец, на каком-то этапе, было принято решение исследовать в лабораторных условиях резонансные свойства слоев (пластин, плоскопараллельных структур и т.п.).

Как следовало из литературы, единственный резонансный эффект, характерный для пластин – это многократные отражения поля между их плоскостями, и как частный случай – эффект монохроматора.

2.4.1. Эффект монохроматора

Строго говоря, монохроматор не является резонатором, поскольку его работа связана не с наличием у пластины собственных колебательных свойств, а описывается интерференционными процессами. Эффект монохроматора заключается в том, что на той частоте (f_{mc}), когда на толщине слоя h укладывается целое количество (n) продольных (l) полуволин ($\frac{l_l}{2}$), происходит полное прохождение гармонического сигнала и полное отсутствие его отражения:

$$h = n \frac{l_l}{2} \text{ или } f_{mc} = n \frac{V_l}{2h} \quad (2-2)$$

Но с чего-то же нужно было начать изучение резонансных свойств, и поэтому я начал с исследования монохроматора.

На рис.2-5 показана измерительная установка, с помощью которой предполагалось наблюдение этого эффекта.

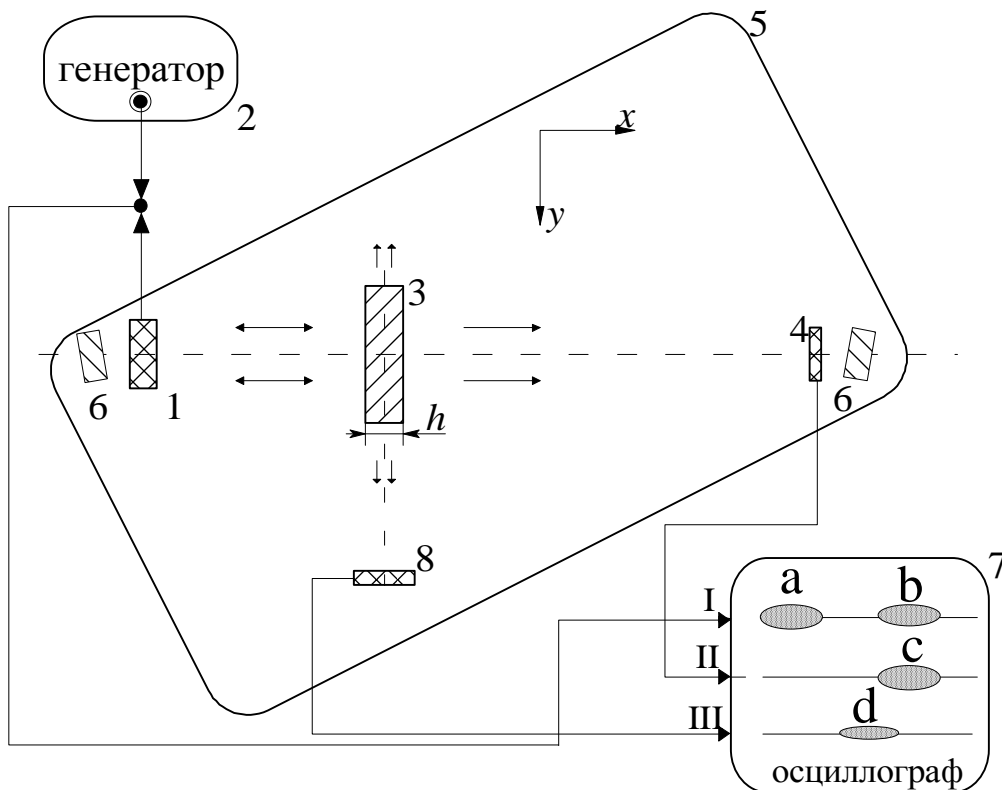


Рис. 2-5

Пьезокерамический дисковый преобразователь **1** возбуждается генератором гармонического электрического напряжения **2**. Преобразователь **1** имеет достаточную направленность, чтобы можно было описывать излучаемое им поле параллельными лучами. Исследуемая пластина **3** толщиной **h** устанавливается нормально (перпендикуляр-

но) направлению излучаемого поля. Пьезопреобразователь **1** используется как в режиме излучения, так и в режиме приема, и поле, отраженное от пластины **3**, регистрируется пьезокерамическим диском **1**. Та часть поля, которая проходит сквозь пластину **3**, регистрируется пьезокерамическим дисковым приемником **4**.

Измерения могут проводиться в воде или в любой другой приемлемой для материала образца жидкости, а для того, чтобы компенсировать отражения от стенок бассейна **5**, установка повернута так, что главная измерительная ось x совпадает с его диагональю a , кроме того, для этого применяются рассеиватели **6**.

Для наблюдения эффекта монохроматора необходимо, чтобы сигнал, возбуждающий пьезокерамическую пластину **1**, будучи гармоническим и изменяющимся, при необходимости, по частоте, имел бы ограниченную длительность, то есть был одновременно и импульсным. В противном случае, разделить зондирующий и отраженный сигнал невозможно. В литературе рекомендуется применять для этого так называемый радиоимпульс, который изображен на рис.2-6а и представляет собой гармонический сигнал, заключенный в огибающую прямоугольной формы.

Однако на самом деле, спектр такого сигнала очень далек от спектра гармонического сигнала. Дело в том, что в моменты времени t_0 и t_T сигнал является удароподобным, то есть быстро изменяется по амплитуде от 0 до максимума, и поэтому является широкополосным. Стало быть, в эти моменты зондирующий сигнал возбудит как излучатель **1** (на его собственной частоте), так и прозвучиваемую пластину **3**, если она обладает резонансными свойствами. И действительно, попытка наблюдать эффект монохроматора с помощью сигнала, изображенного на рис.2-6а, оказалась безуспешной.

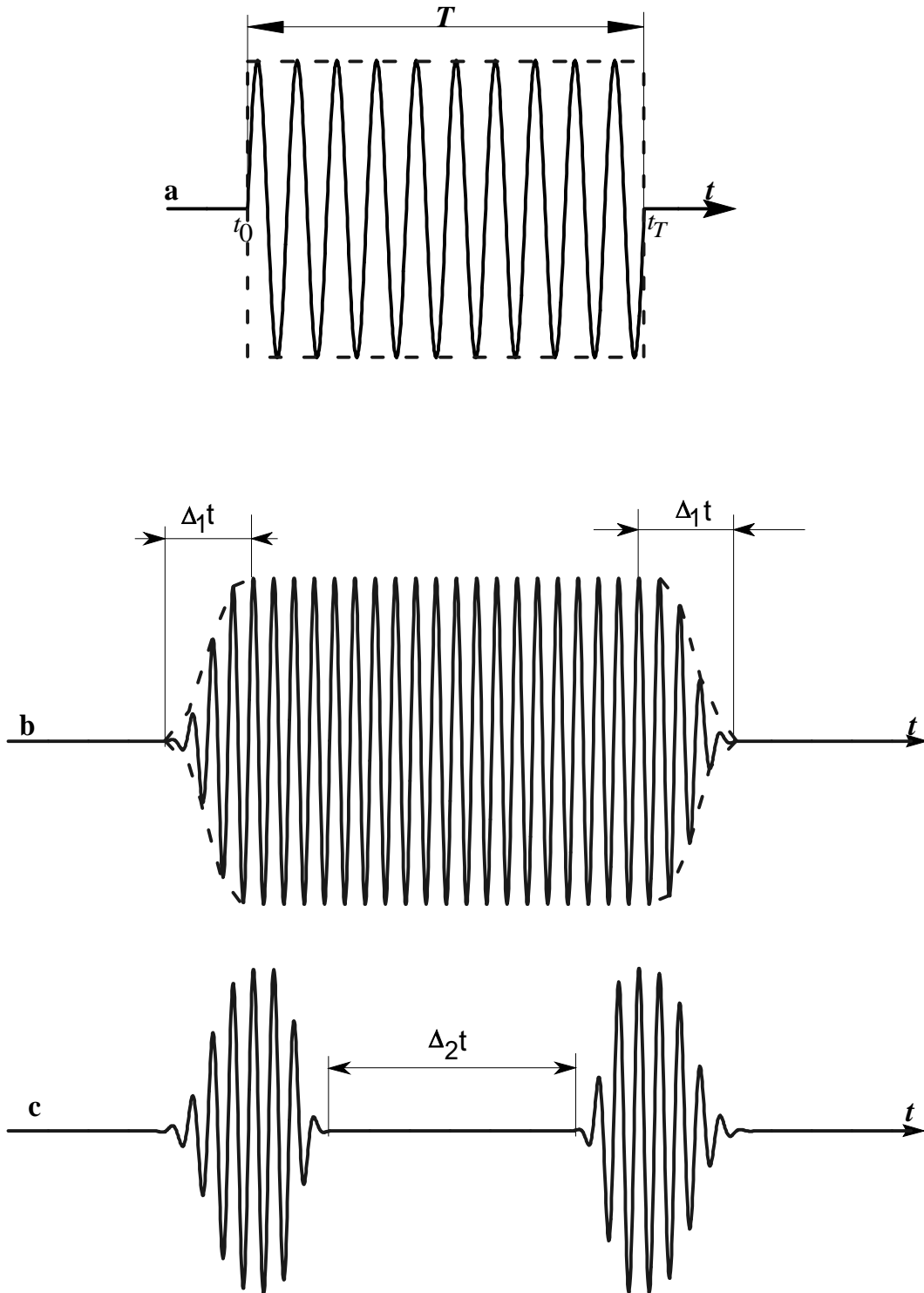


Рис. 2-6

Обратившись к ученым, рекомендовавшим для изучения эффекта монохроматора радиоимпульс, я понял, что сами они этому совету не следовали. И, как оказалось, раньше, до нас, эффект монохроматора в акустике действительно никто не наблюдал. Математическое описание этого эффекта взято из оптики, а экспериментально, в чистом виде, в акустике его не видели.

Наиболее подходящим для наблюдения эффекта монохроматора оказался импульсно-гармонический сигнал, показанный на рис.2-6**б**. Будучи ограниченным во времени, он при этом является узкополосным. Это достигается тем, что как нарастание амплитуды гармонического заполнения, так и спад происходят не мгновенно (удароподобно), а по экспоненте, в течение времени $\Delta_1 t$.

На самом деле, узкополосным является не весь зондирующий сигнал, а только средняя его часть, где амплитуда остается неизменной. И судить об изменении коэффициентов отражения и прохождения звука при прозвучивании пластины **3** следует по изменению только средней части зондирующего сигнала, то есть в течение времени $\Delta_2 t$.

И еще один момент. Описываемые здесь измерения впервые осуществлялись в начале 80-х годов XX века. Тогда генераторы гармонических сигналов, так называемые, генераторы стандартных сигналов (ГСС-6, Г4-19) были действительно источниками гармонических сигналов. Они в своей схеме содержали перестраиваемые колебательные контура. Сейчас же выпускаются генераторы с аналогичными характеристиками, но на самом деле, современные генераторы не являются источниками гармонических сигналов. Сигналы, которые они генерируют, **синтезируются** цифро-аналоговыми преобразователями, и синусоидальными они являются лишь на временной оси, при недостаточно внимательном их рассмотрении. На самом деле, они зубчатые. Спектр таких сигналов является линейчатым, и для спектральных исследований такие генераторы не годятся.

Сейчас уже трудно находить генераторы типа Г4-19, но другого выхода я не вижу.

Визуализатор информации – осциллограф **7**. На канал **I** приходят с пьезокерамики **1** сигналы **a** и **b**. Сигнал **a** – зондирующий, с генератора, а сигнал **b** – отраженный от пластины **3**, и сдвинутый во времени относительно сигнала **a**. На канал **II** приходит сигнал **c**, прошедший сквозь прозвучиваемую пластину **3**.

Эффект монохроматора наблюдается в пластинах из всех материалов, и проявляется он в следующем. На частоте монохроматора f_{mc} отсутствует отражение сигнала от пластины **3**, что проявляется отсутствием средней части сигнала **b** в течение времени $\Delta_2 t$, как это показа-

но на рис.2-6с. При этом сигнал, прошедший через пластину **3**, идентичен по форме зондирующему сигналу, приведенному на рис.2-6б, и имеет такую же амплитуду, как если бы никакого объекта между пьезопреобразователями **1** и **4** не было. Факт полного прохождения сигнала через пластину **3** устанавливается очень просто. Извлекая во время измерения на частоте f_{mc} пластину **3** из бассейна, можно убедиться в том, что амплитуда сигнала c при этом остается неизменной.

Таким образом, коэффициенты прохождения α и отражения β на частоте f_{mc} соотносятся следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha=1 \\ \beta=0 \end{array} \right\}$$

Такое соотношение коэффициентов отражения и прохождения на частоте f_{mc} является, по сути, проявлением закона сохранения энергии: все, что не отражается от пластины, проходит через нее, а всё, что не проходит – отражается. А кроме того, это свидетельствует об отсутствии поглощения в материале пластины **3**, а также, и это самое главное, о правомерности использования выбранной нами измерительной установки для дальнейшего использования ее при изучении эффектов, связанных с прохождением и отражением звука от пластины.

Также можно отметить, что эффект монохроматора оказался действительно идентичным этому эффекту в оптике. И, таким образом, с этого момента уже нельзя было говорить, что ни одно положение теоретической акустики твердых сред не может быть подтверждено экспериментально. Эффект монохроматора оказался первым среди положений, которые могут быть экспериментально подтверждены. Но, пока что, единственным.

2.5. Эффект акустического резонансного поглощения (АРП)

Подготавливая описанный выше эксперимент по наблюдению эффекта монохроматора для изучения его студентами на лабораторных работах, я обнаружил, что на частоте, несколько более высокой (процентов на 10÷15), чем f_{mc} , можно наблюдать эффект, по сути, противоположный эффекту монохроматора. То есть, такой эффект, когда отсутствует не отражение, а сквозное прохождение сигнала. Исчезновение сигнала c проявляется на осциллографе **7** пропаданием средней части сигнала на время $\Delta_2 t$ так, как показано на рис.2-6с. Частота, на

которой коэффициент прохождения становится равным нулю, была обозначена как f_0 . Почему именно так, будет понятно в дальнейшем.

Эффект этот сразу вызвал недоумение, так как при исчезновении прохождения поля через пластину **3** коэффициент отражения от нее (амплитуда сигнала **b**) не увеличивается, что, казалось бы, должно быть из соображений закона сохранения, только что подтвержденного при наблюдении эффекта монохроматора.

Естественно, использование этого эксперимента в качестве студенческой лабораторной работы опять пришлось отложить. Опротестовывать закон сохранения энергии я не собирался, а как иначе объяснить студентам явный энергетический дефект, я не знал.

После года поисков недостающую часть сигнала удалось найти. Как оказалось, та часть сигнала, которая на других частотах проходит насквозь, на частоте f_0 переориентируется в ортогональном направлении и излучается торцами пластины.

Для регистрации этой части сигнала пришлось в установку, изображенную на рис.2-5, добавить пьезокерамический приемник **8**. Осциллограф **7** при этом уже должен быть трехканальным с тем, чтобы на канал **III** поступал сигнал **d** –, снимаемый с пьезокерамического приемника **8**⁵.

На рис.2-7 показаны частотные зависимости коэффициентов отражения (β), прохождения (α), а также величины эдс U (черная штриховая линия), снимаемой с приемника **8**.

⁵ Измерительная установка изображена схематично, и поэтому допущено искажение временных интервалов на осциллографе.

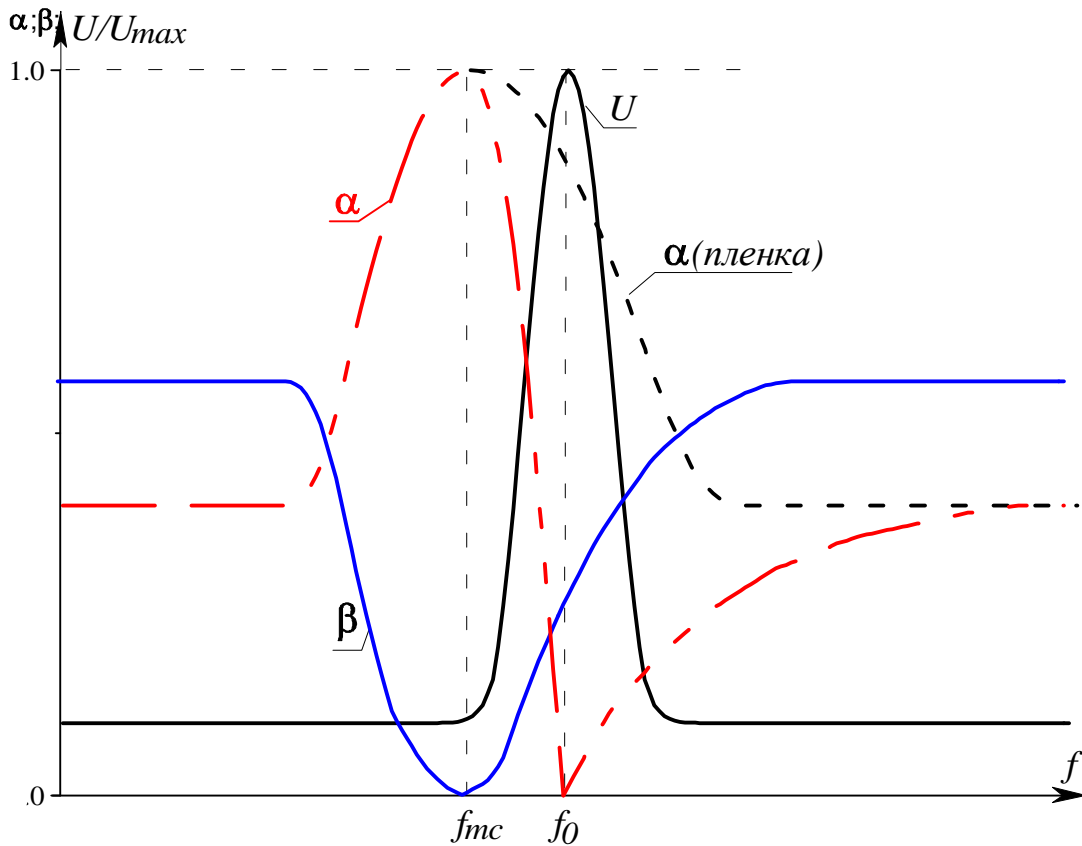


Рис. 2-7

Сразу обращают внимание на себя очертания зависимости $U(f)$, которая соответствует, как было показано выше, изображению колебательной системы. То есть, получается, что эффект переизлучения первичного сигнала в ортогональном направлении указывает на то, что пластина **3** обладает свойствами колебательной системы с собственной частотой по толщине, равной f_0 .

Для того чтобы выяснить физический смысл частоты f_0 , был использован в качестве пластины **3** пьезокерамический диск-резонатор, применяемый, скажем, в эхолотах. При этом частота f_0 оказалась равной собственной частоте пьезорезонатора (по толщине), а частотная зависимость снимаемой с пьезокерамической пластины **3** ЭДС полностью совпала с зависимостью $U(f)$, и это еще с одной стороны свидетельствует о том, что f_0 есть не что иное, как собственная частота пластины-резонатора. Совпадение же собственной частоты колебательной системы с частотой внешнего воздействия (в данном случае, генератора **2**) – это резонанс. То есть переориентирование поля в ортогональном направлении происходит на резонансе.

Наличие пьезоэффекта в использованной в качестве прозвучиваемой пластины **3** пьезокерамике ничего не меняет в регистрируемых

эффектах при исследовании резонансных свойств пластин. Так, я нагрел эту пьезокерамическую пластину до температуры, превышающей точку Кюри, она потеряла свои пьезосвойства, однако при повторном ее прозвучивании после такого нагрева в результатах прозвучивания ничего не изменилось.

Обнаруженный эффект нужно было как-то назвать. По аналогии с другими известными в физике эффектами резонансного поглощения (парамагнитный, ядерно-магнитный, ферромагнитный, электронный), этот эффект был назван акустическим резонансным поглощением (АРП). Особо отмечу, что резонансное поглощение не имеет никакого отношения к собственно поглощению поля в результате диссипативных потерь. Резонансное поглощение – это всегда либо переориентация в пространстве (ферромагнитный резонанс и АРП), либо преобразование спектра (электронный резонанс).

Итак, эффект АРП заключается в том, что при нормальном (перпендикулярном) прозвучивании гармоническим сигналом пластины-резонатора, имеющей толщину h , на собственной частоте f_0 этой пластины зондирующее поле переориентируется так, что переизлучается этой пластиной в ортогональном (относительно первичного) направлении через свои торцы. Связь между f_0 и h выражается соотношением (1).

Частота f_0 – это собственная частота, которой характеризуются гармонические затухающие колебания, возникающие в результате ударного воздействия на пластину-резонатор толщины h . То есть тот колебательный процесс, который всегда воспринимали в сейсморазведке как помеху при выделении эхо-сигнала, на самом деле, спектрально связан с размерами прозвучиваемого объекта, а стало быть, может использоваться, в частности, при определении геологического строения массива горных пород. С 1977 года это используется в спектральной сейсморазведке. Но до обнаружения эффекта АРП это делалось бездоказательно.

В результате исследования эффекта АРП оказалось, что наблюдается он только в слоях, материал которых – стекло, металлы и сплавы, керамика, горные породы. В пластинах из материалов ряда оргстекла этот эффект не существует.

Обнаружение эффекта АРП имело очень большое значение для развития спектрально-сейсморазведочного направления. Теперь уже мы имели моральное право внедрять методику прогнозирования горнотехнической ситуации в угольных шахтах, так как обнаруженный физический эффект явился доказательством правомерности наших утверждений о том, что строение породной толщи имеет непосредственную связь со спектром сейсмосигнала.

Однако и при наблюдении эффекта АРП было не все ясно.

В самом деле, ведь если бы исходное поле, распространяющееся в направлении x , характеризовалось только одним вектором, совпадающим с ним по направлению (а именно так и считалось всегда), то ни при каких условиях в случае нормального прозвучивания пластины **3** не смог бы произойти поворот этого поля на 90 градусов. Следовательно, исходное поле (\vec{I}_1), распространяющееся в направлении x , должно иметь ортогональную составляющую, то есть описываться двумя взаимно ортогональными составляющими ($I_{1x} + jI_{1y}$). И, стало быть, вектор, характеризующий поле, распространяющееся в направлении x , по направлению не совпадает с направлением x .

Но если это действительно так, то, с одной стороны, становится понятным, что на резонансе в направлении y излучается мнимая составляющая поля. Но с другой стороны, реальная часть, по идее, не должна была бы никуда исчезнуть, и мы должны были бы ее обнаружить с помощью приемника **4**.

2.6. Первое использование пьезопленки

История открытия эффекта АРП – это довольно длительная история сплошных поисков. Сначала в течение года велись поиски той (мнимой) части поля, которая потом обнаружилась с помощью пьезоприемника **8**. А еще год велись поиски реальной части поля, которая должна была быть воспринята там, где стоит приемник **4**. И опять на помощь пришел Случай.

В процессе изучения амплитудно-частотных характеристик, приведенных на рис.2-7, не очень однозначно получались участки спектра, удаленные от частот f_{mc} и f_0 . Это было обусловлено наличием неравномерных частотных характеристик излучающей и приемной пьезопластин. Поскольку пьезокерамические пластины приемников сами

являются колебательными системами, причем как по толщине, так и по диаметру, то это неизбежно. Для того чтобы избежать этого, было решено применить вместо приемной пьезокерамики пьезопленку, так как пьезопленка по механическим свойствам подобна полиэтилену, который относится к средам ряда оргстекла, а стало быть, собственных колебаний не имеет.

По поводу пьезопленки в литературе говорится, что она имеет очень низкую чувствительность, и это является препятствием для ее применения. Но в наше время, когда применение усилителей не является проблемой, это не может быть препятствием для использования пьезопленки в ультразвуковых измерениях.

2.6.1. Сравнение свойств пьезокерамики и пьезопленки

Для ознакомления со свойствами пьезопленки можно применять любую установку, в которой можно установить на некотором расстоянии l друг от друга два пьезопреобразователя – АЭП (акустоэлектрический) и ЭАП (электроакустический), и при этом менять пьезокерамические и пьезопленочные преобразователи, а также их режимы с излучения на прием в соответствии со схемой, приведенной на рис.2-8.

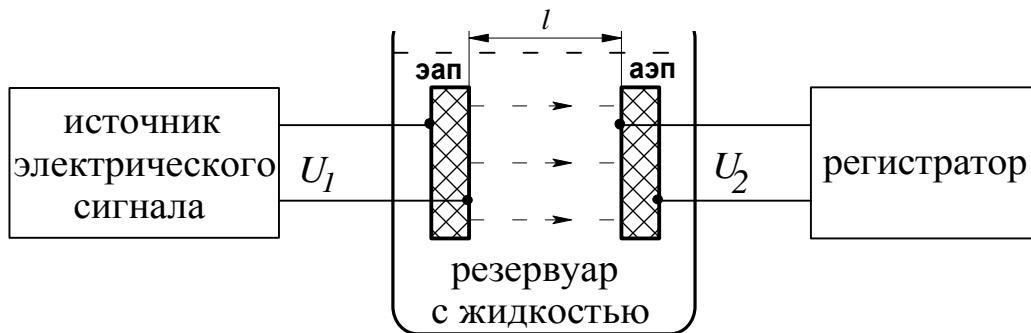


Рис. 2-8

В таблице 2-1. приведены коэффициенты передачи получившихся при этом четырехполюсников.

При наличии у преобразователей резонансных явлений коэффициент передачи изменяется в очень широких пределах, и поэтому пары, содержащие пьезокерамику, должны работать на частоте, существенно меньшей самой низкой собственной частоты пьезокерамического преобразователя.

Табл. 2-1.

№№	излучатель (зап)	приемник (аэп)	коэффициент передачи U_2/U_1
1	пьезокерамика	пьезокерамика	10^{-3}
2	пьезокерамика	пьезопленка	$\sim 0,2 \cdot 10^{-3}$
3	пьезопленка	пьезокерамика	$\sim 0,2 \cdot 10^{-3}$
4	пьезопленка	пьезопленка	0

Как видно из этой таблицы, пьезопленка как в режиме излучения, так и в режиме приема не намного (всего лишь раз в 5) уступает по эффективности пьезокерамике, но это касается тех случаев, когда пленка работает в паре с керамикой. В случае пары пленка-пленка коэффициент передачи оказывается столь малым, что полезный сигнал на выходе выделить на фоне помех не удастся. В связи с этим у меня возникла гипотеза, заключающаяся в том, что пьезопленка излучает один тип упругих колебаний, а принимает другой, ортогональный излучаемому. При этом стало понятным происхождение легенды о том, что по чувствительности пьезопленочный приемник намного уступает пьезокерамическому.

Кроме того, при использовании пьезокерамических приемников, в случае одинаковой собственной частоты излучателя и приемника, возникает эффект кажущегося увеличения их чувствительности за счет их колебательных (резонансных) свойств. Этот эффект иллюстрируется рис.2-9.

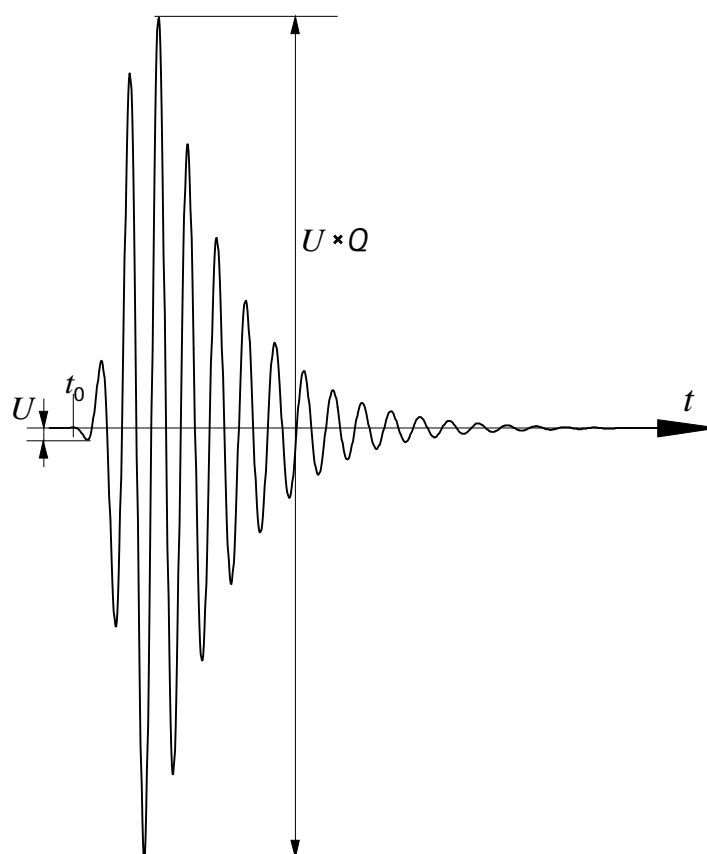


Рис. 2-9

При регистрации пьезокерамическим приемником сигнала, размах амплитуды электрического напряжения на его клеммах достигнет величины, в Q раз большей, чем самая первая часть сигнала U . Это увеличение никому не нужно, так как информативным является только начальный участок сигнала. Точно такой же сигнал, как на рис.2-9, будет иметь место при измерениях кинематических характеристик поля упругих колебаний. При регистрации момента первого вступления t_0 нас вообще интересует только самое начало сигнала, а увеличение его за счет резонансных свойств пьезокерамического приемника является даже мешающим, поскольку при недостаточном усилении мы можем ошибиться и зарегистрировать момент t_0 на несколько периодов позже.

Но чувствительность пьезопленки – это попутный момент, поскольку мы использовали ее исключительно для того, чтобы при измерениях избавиться от резонансных свойств пьезоприемника. Однако кроме того, что мы при этом действительно избавились от резонансных свойств пьезоприемника, обнаружилась недостающая составляющая поля.

Оказалось, что при использовании пьезопленки в качестве приемника **4**, никаких резонансных проявлений вблизи частоты f_0 вообще не видно. Частотная зависимость коэффициента прохождения при использовании пьезопленочного приемника **4** на рис.2-7 показана графиком, помеченным надписью « α (пленка)». То есть, если бы с самого начала в качестве чувствительного материала приемника **4** использовалась не пьезокерамика, а пьезопленка, то об эффекте АРП мы бы так ничего и не узнали.

Таким образом, оказалось, что поле на резонансе переориентируется в ортогональном направлении не всё, а только часть, и пьезопленка в режиме приема регистрирует как раз ту часть поля, которую не регистрирует пьезокерамика. Можно еще сказать, что пьезопленка регистрирует реальную часть поля, которая в формировании эффекта АРП не участвует.

В связи с этой находкой, вернемся к таблице 2-1. Совместив вывод о том, что пленка в режиме приема реагирует только на реальную составляющую поля, получим:

1. В режиме приема пленка реагирует только на реальную составляющую поля упругих колебаний;
2. В режиме излучения пленка является источником мнимой составляющей поля упругих колебаний;
3. В режиме приема пьезокерамика реагирует только на мнимую составляющую поля;
4. В режиме излучения пьезокерамика является источником обеих составляющих поля.

На самом деле, эта информация о свойствах пьезоматериалов относительно разных составляющих поля упругих колебаний далеко не полная, и является зародышем для совершенно нового подхода к физике этого поля.

2.7. О комплексном характере звукопроводности и поля упругих колебаний

Итак, в ходе исследования эффекта АРП выяснилось, что пьезокерамика в режиме приема не воспринимает реальную составляющую поля, то есть, работает как датчик мнимой составляющей поля, а пьезопленка – наоборот, воспринимает только реальную часть. В режиме

же излучения пьезокерамика, как видим, создает как реальную, так и мнимую составляющие поля упругих колебаний.

Я вот уже несколько раз использовал понятия реальной и мнимой составляющих поля упругих колебаний. Этот подход, без которого при рассмотрении собственных колебательных процессов обойтись невозможно, категорически не воспринимается моими оппонентами.

Учение о комплексных числах начало развиваться в XVI веке, но, в отличие от многих других областей математики, практической необходимости в наличии этого раздела не было еще очень долго. Так, в 1702 году Эйлер характеризовал комплексные числа исключительно как "некий промежуточный момент между земным и божественным". Боюсь, что отношение к этому учению и сегодня у многих ученых примерно такое же.

Раздел математики «функции комплексного переменного» по-настоящему, на практике, используется только в электротехнике. Подходя к изучению процессов, связанных с возникновением собственных колебательных процессов, мы неизбежно должны столкнуться с понятием мнимости.

В математике мнимость рассматривается при изучении функции комплексной переменной, когда некий вектор G описывают суммой взаимно ортогональных составляющих x и y таким образом, что $G = x + jy$, где $j = \sqrt{-1}$.

Иначе это выражение можно представить следующим образом:

$$G = \operatorname{Re}(G) + j\operatorname{Im}(G)$$

Абсцисса x и ордината jy совместно представляют собой комплексную плоскость и, соответственно, реальную (Real) и мнимую (Imreal) составляющие комплексной функции G .

Формально функции комплексного переменного могут быть использованы в любой области физики при операциях с векторами, однако физический смысл мнимости впервые был выявлен при описании электрических цепей, содержащих индуктивность L и емкость C , при прохождении через них переменного электрического тока.

Это оказалось связанным с тем, что при протекании переменного тока синусоидальной формы как через L , так и через C , ток, проходящий через них, и прикладываемое к ним напряжение оказываются взаимно сдвинутыми на 90° . Ток через индуктивность отстает на 90°

от прикладываемого к ней напряжения, а на конденсаторах, наоборот, напряжение отстает (также на 90°) от протекающего через них тока. Взаимная ортогональность тока и напряжения на индуктивности и емкости приводит к тому, что на этих элементах не происходит расходования энергии. В самом деле, мощность, рассеиваемая на элементе электрической цепи, определяется скалярным произведением векторов тока и напряжения, и вследствие их взаимной ортогональности ($\cos 90^\circ = 0$) равна нулю. В отличие от активного сопротивления, на котором ток и напряжение совпадают по фазе, индуктивность и емкость являются сопротивлениями реактивными.

В случае если электрическая цепь содержит элементы активной и реактивной электропроводности, следует говорить об активной и мнимой мощности. Активная мощность выделяется в виде тепла на активных элементах схемы. Реактивная же или мнимая - на реактивных, но при этом не расходуется, а либо запасается (заряд конденсатора), либо перекачивается из одного реактивного элемента в другой, как это происходит в L - C колебательном контуре.

Очень важно здесь отметить, что собственные колебания электрического контура, состоящего из индуктивности и емкости, происходят без тепловых потерь, и описываются на мнимой оси, за счет периодической перекачки этой самой мнимой мощности. Разумеется, идеального контура не существует, и неизбежно существуют потери на тепло и на излучение в пространство, что ограничивает добротность собственных колебаний.

Наличие мнимой энергии приводит к возникновению явлений, которые без учета этой мнимости объяснены быть не могут. Так, возбуждая колебательный контур электрическим напряжением U , мы получим на любом из элементов контура (L или C) напряжение, во много раз большее, чем U . То есть амплитуда возбуждаемых в контуре колебаний может оказаться больше амплитуды возбуждающего воздействия. Это также очень важный для нас момент, так как из практики акустических и сейсмоизмерений известно, что зачастую амплитуда упругих колебаний достигает величины необъяснимо большой, если рассматривать поле упругих колебаний только на вещественной оси.

В общем виде, с учетом возможной мнимости, закон Ома выглядит следующим образом:

$U = Z * I = (R + jX) * I$, где Z характеризует полное электросопротивление цепи, R - активная составляющая сопротивления цепи, а X - реактивная.

То есть, как только коэффициент передачи Z между воздействием U и откликом I приобретает комплексный характер, тотчас же и электрическое поле приобретает мнимую составляющую.

Электромагнитное поле, распространяющееся в идеальном диэлектрике, характеризуется взаимной ортогональностью своих составляющих – E и H (соответственно, электрической и магнитной напряженностей) и характеризуется крайне низким затуханием. Именно этим объясняется известный факт, что радиоволны распространяются в атмосфере и в космосе на как угодно большие расстояния. Так, из опыта радиолюбителей-коротковолновиков известно, что радиосвязь между двумя участниками осуществляется на неограниченно большие расстояния при мощности в антенне, не превышающей 1вт.

Как будет показано далее, при распространении поля упругих колебаний вдоль напластования затухание практически отсутствует, что не имеет объяснения, если не учитывать мнимость этого поля.

В механике и акустике понятие мнимости также возникает при несовпадении направлений векторов воздействия и отклика.

Вернемся к определению поперечных волн. Как известно, поперечные (сдвиговые) волны, по определению, характеризуются ортогональностью векторов механического напряжения и траектории смещения колеблющихся частиц. Энергия механического процесса есть скалярное произведение силы на путь или, в данном случае, механического напряжения на смещение. Скалярное произведение взаимно ортогональных векторов равно нулю. Налицо аналогия с энергетикой электрических цепей, содержащих элементы только с реактивной электропроводностью. Если предложить гипотезы на основе подобных аналогий, то следует ожидать, что:

В силу мнимого характера поперечных волн собственные упругие колебания должны идти именно на этой, мнимой части поля упругих колебаний, а также в силу мнимого характера поперечных волн

следует ожидать их крайне низкого затухания. Забегая вперед, отметим, что гипотезы эти полностью подтверждаются.

Но здесь, к сожалению, есть еще один аспект. Напряженное состояние поля упругих колебаний и траектория смещения колеблющихся частиц – субстанции неизмеряемые. И, стало быть, само понятие поперечных волн не входит в компетенцию метрологических служб. Проще говоря, любой тип упругих колебаний является фикцией, поскольку не может быть определен в эксперименте. Но вот непонятно другое. Почему Пуассон, который не подозревал о невозможности идентификации каких-либо типов упругих колебаний, не указал на мнимость поперечных волн?

Там, где проявляется комплексный характер какого-либо поля, неизбежно возникает непонимание и подозрение на необязательность выполнения закона сохранения энергии. Так было и в эру осознания физики электрических контуров. Так же обстоит дело и в акустике.

По аналогии с электродинамикой, когда возникает речь о комплексном характере поля упругих колебаний, неизбежным становится рассмотрение и комплексного характера звукопроводности. И действительно, если при прохождении через прозвучиваемый объект поле не только уменьшается по амплитуде, но изменяется соотношение между составляющими его векторами, то это свидетельствует о том, что коэффициент прохождения через этот объект имеет комплексный характер. Коэффициент прохождения a есть отношение амплитуды поля в зоне приемника $\mathbf{4}$ (\bar{I}_4) к амплитуде излучаемого поля (\bar{I}_1).

Звукопроводящие свойства слоя-резонатора на резонансе таковы, что исходное поле разделяется на две его составляющие. Активная составляющая проходит сквозь этот резонатор и может быть зарегистрирована пьезопленкой на месте приемника $\mathbf{4}$, а мнимую составляющую регистрируем с помощью пьезокерамического приемника $\mathbf{5}$. Пластина из оргстекла такими свойствами не обладает. Звукопроводность сред, подобных оргстеклу, имеет чисто активный характер и соотношения между реальной и мнимой составляющими поля при их прозвучивании не изменяются. И таким образом, получается, что звукопроводность подавляющего большинства твердых сред, и в том числе, горных пород, обладает звукопроводностью, имеющей комплексный характер.

Следующим этапом исследований было совмещение пьезопленочного и пьезокерамического преобразователей, и такой комбинированный приемник в дальнейшем использовался в качестве приемника 4 (на рис.2-5). При этом оказалось, что регистрируемые этими двумя чувствительными элементами сигналы, соответствующие обеим составляющим поля, приходят к приемнику 4 одновременно (естественно, это касается измерений вне частоты f_0). Следовательно, скорость распространения в жидкости обеих составляющих поля – реальной и мнимой – одна и та же.

2.8. О скоростях продольных и поперечных волн.

О групповой и фазовой скорости.

Таким образом, на основании изложенных выше экспериментов можно считать доказанным, что поле упругих колебаний в общем виде состоит из реальной и мнимой части. Мнимая часть поля отвечает за формирование собственных колебаний. Возникает вопрос, имеем ли мы право называть реальную и мнимую составляющие поля соответственно продольными и поперечными волнами...

Если по признаку значений скоростей, которым удовлетворяют выражения (2-2) и (1), то можем. И тогда можем предложить следующие формулировки:

продольными волнами можно считать реальную часть поля упругих колебаний, характеризуемую скоростью V_l , определяемой по выражению (2-2), то есть с помощью эффекта монохроматора;

поперечными волнами можно считать мнимую часть поля упругих колебаний, характеризуемую скоростью V_{sh} , определяемой по выражению (1), то есть с помощью эффекта АРП.

Но, с другой стороны, как мы видели, обе составляющие поля распространяются в звукопроводящей жидкости измерительной установки с одинаковой скоростью. Кстати, это противоречит известному утверждению о том, что поперечные волны в жидкостях не распространяются. Но как мы уже видели, очень многие утверждения о свойствах поля упругих колебаний базируются на чисто мысленных

конструкциях, что является очень ненадежным основанием, так что пока что это противоречие оставим без комментариев.

Что же касается физического смысла скоростей V_l и V_{sh} , то дело здесь в следующем.

Между скоростью распространения, определяемой как отношение расстояния ко времени и скоростью, определяемой как произведение длины волны на частоту, существует принципиальная разница. Скорость, характеризующая разного рода резонаторы, работающие в режиме стоячих волн, не является скоростью распространения, поскольку данный конкретный процесс никуда не распространяется, а существует в замкнутом объеме. Скорость, которая характеризует поле в режиме стоячих волн, является фазовой скоростью. А скорость распространения поля – это скорость групповая.

Понятия фазовой и групповой скоростей возникли в электродинамике в 30-х годах XX века, когда было обнаружено, что скорость электромагнитного поля в волноводах превышает скорость распространения света в свободном пространстве. Скорость в волноводе определялась путем измерения расстояния между узлами и пучностями по длине короткозамкнутого волновода. Интерпретация этого явления Мандельштамом [2] показала, что скорость фазовая в электродинамике не есть скорость распространения. На фазовую скорость не распространяется закон Эйнштейна, согласно которому скорость распространения не может превышать скорость света.

В научной и учебной литературе по акустике тоже существует понятие фазовой скорости, но смысл этого понятия определен не четко. Неопределенность понятия обусловлена неопределенностью результатов при проведении измерений, направленных на определения кинематических характеристик поля упругих колебаний. Скорость фазовую в акустике некоторые авторы определяют как любую скорость, которую можно определить в эксперименте, и противопоставляют ее скорости групповой, которая в однородных материалах должна иметь постоянное значение независимо от того, что получается в эксперименте. С чисто методологических позиций такой подход не является приемлемым. В рамках физики нет и не может быть субстанций, не подлежащих экспериментальному определению. В связи с этим, мы под фазовой скоростью поля упругих колебаний будем впредь пони-

мать, как и в электродинамике, характеристику поля в режиме стоячих волн.

В связи с выше сказанным, мне представляется логичным впредь заменить понятия продольных и поперечных волн скоростью распространения фронта V_{fr} и скоростью фазовой V_{ph} . Хотя, с другой стороны, называть ли фазовую и групповую скорости скоростями поперечных и продольных волн – несущественно. Как дань традиции – можно и так. Важно ведь понимать суть, а термин – дело условное.

Перейдем к конкретике. Скорость V_{ph} может быть определена на метрологически корректном уровне с помощью эффекта АРП, и многочисленные измерения показали, что эта скорость имеет величину в горных породах, равную 2500м/с с погрешностью, не превышающей 10%.

В связи с этим, выражение (1) приобретает вид:

$$f_0 = \frac{V_{ph}}{h} \quad \text{или} \quad h = \frac{V_{ph}}{f_0} \quad (1)$$

2.8.1. Измерение скоростей поперечных и продольных волн [3, 4].

Установка, используемая для наблюдения эффектов монохроматора и АРП, является довольно громоздкой, требует изготовления образцов в виде пластин, и не может быть использована в производственных условиях, и тем более, в поле. В этих условиях целесообразно использовать упрощенную схему измерений, которая показана на рис.2-10.

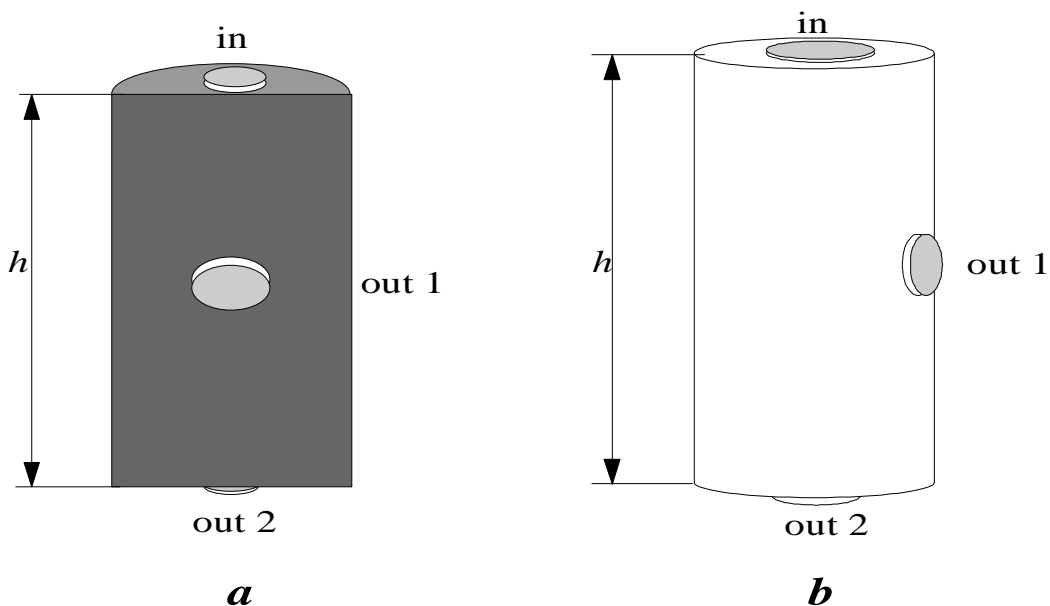


Рис. 2-10

На этом рисунке приведены два примера образцов. *a* – половинка керна, а *b* – стержень.

Для осуществления измерений используется генератор изменяющегося по частоте напряжения и двухлучевой осциллограф. Излучатели и приемники – пьезокерамические диски, прилепленные воском к образцам. Образцы могут быть более или менее произвольной формы. Единственное к ним требование – наличие двух параллельных плоскостей.

С генератора синусоидальное напряжение подается на пьезокерамический преобразователь (in). С двух других пьезопреобразователей сигналы подаются на входы осциллографа (out 1, out 2).

Изменяя частоту генератора, следует добиться проявления обоих эффектов – монохроматора и АРП. На частоте монохроматора максимумы напряжений out 1 и out 2 одинаково экстремальны, на частоте АРП максимуму напряжения out 1 соответствует минимум напряжения out 2.

Очень интересно, связаны ли эти скорости и соотношение между ними с прочностными или какими-то другими свойствами материалов образцов. Почему возник этот вопрос. Кроме того, что значениям величины скорости продольных волн приписывается связь с прочностными характеристиками горных пород, есть еще один момент. Считается, что отношение скорости продольных волн к скорости поперечных волн также соотносится с прочностными характеристиками горных пород. Это тоже умозрительная модель, но всё же интересно теперь, когда появились методы метрологически корректного определения этих скоростей, посмотреть, представляют ли эти соотношения какой-нибудь интерес.

2.9. Проявление собственных колебательных явлений при ультразвуковых исследованиях

На рис.2-11 приведена схема установки, с помощью которой можно исследовать проявления собственных колебательных свойств прозвучиваемых объектов.

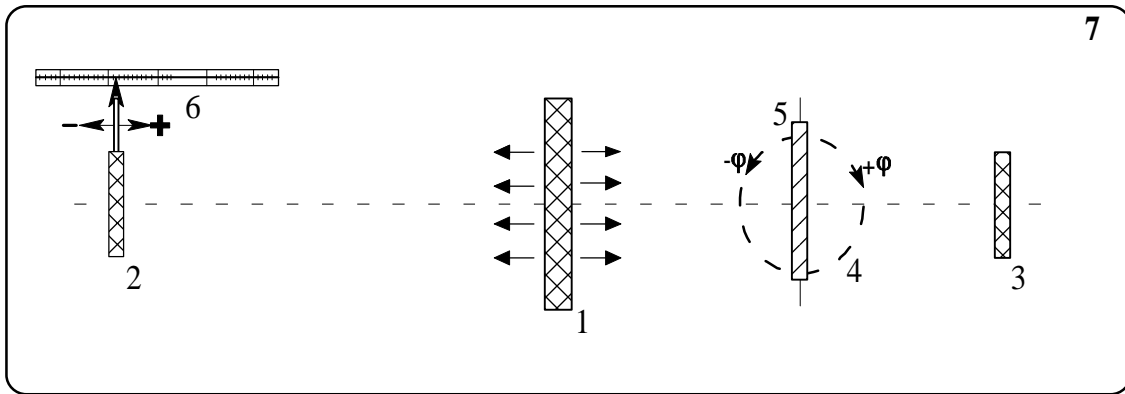


Рис. 2-11

Пьезокерамический дисковый излучатель **1** возбуждается электрическим генератором коротких импульсов и излучает упругие волны в обоих противоположных направлениях. Два одинаковых дисковых пьезокерамических приемника⁶ **2** и **3** установлены строго параллельно излучателю **1**. Поворотный предметный столик **4** служит для установки исследуемой пластины **5**. Нониус **6** позволяет отсчитывать величину перемещения приемника **2** вправо-влево. Вся установка размещена в бассейне **7**, заполненном звукопроводящей жидкостью (водой или маслом).

Важнейшим моментом является настройка установки непосредственно перед исследованием. В результате этой настройки, электрические сигналы, снимаемые с приемников, в отсутствии пластины **5** должны быть совершенно одинаковыми по форме и амплитуде. Для обеспечения этого, сигналы с обоих приемников подаются на двухлучевой осциллограф. Регулировкой усиления каналов осциллографа следует добиться одинаковости сигналов по амплитуде. Кроме того, приемник **2** перемещается так, чтобы оба сигнала были совмещены по времени.

Следующим этапом исследований является прозвучивание пластины из оргстекла, которая устанавливается на предметный столик **4**.

Ослабление сигнала на приемнике **3** следует компенсировать усилением канала осциллографа, а изменение времени прихода сигнала к приемнику **3** – смещением приемника **2**. При этом признаком настройки будет полное совпадение по форме сигналов с обоих приемников.

⁶ Приемник всегда тоньше и меньше по размеру, чем излучатель.

Неизменность формы сигнала при прохождении его через пластину из оргстекла свидетельствует о том, что объекты из оргстекла не изменяют спектр. Или, иначе говоря, не являются резонаторами.

И, наконец, устанавливаем на предметный столик стеклянную пластину. При прохождении через стеклянную пластину сигнал изменяется кардинально. Многократно увеличивается его длительность. Огибающая сигнала по форме уже ничего общего не имеет с огибающей сигнала, снимаемого с приемника **2**. Заполнение сигнала также может изменяться по частоте. Форма сигнала, снимаемого с приемника **3**, будет изменяться при любых изменениях размеров стеклянной пластины – как при изменении ее толщины, так и при изменении любых других ее размеров. Характер изменения сигнала будет аналогичным при прозвучивании пластин из металлов и сплавов, керамики, а также из горных пород.

Из этого делаем вывод, заключающийся в том, что наличие поверхностных зон Δh в объектах соответствует наличию у них резонансных свойств. А при отсутствии этих зон отсутствуют и резонансные свойства.

На рис.2-12 показан характер сигналов при проведении описанных исследований.

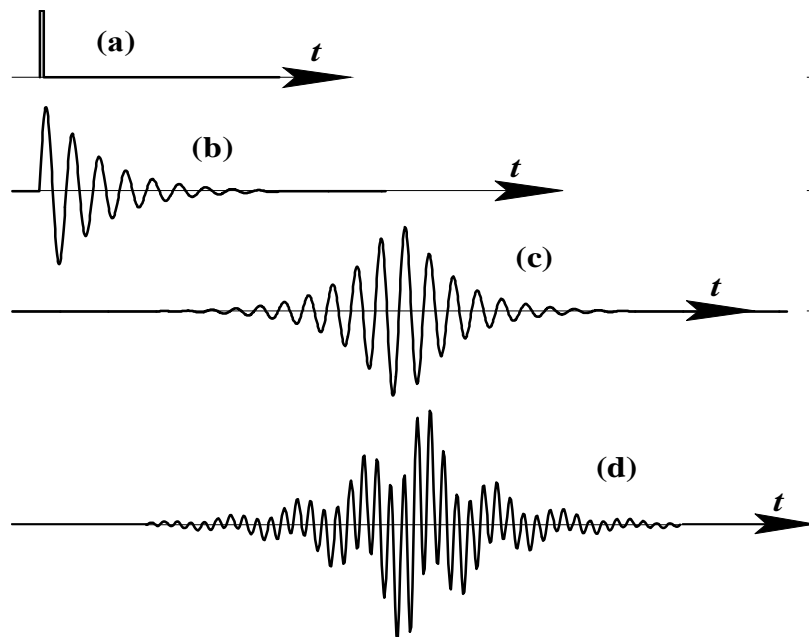


Рис. 2-12

(а) – короткий сигнал, возбуждающий пьезокерамический излучатель **1**.

(b) – сигнал, снимаемый с приемника 2, а также приемника 3 в отсутствие прозвучиваемой пластины или при установке на предметный столик пластины из оргстекла.

(c) и (d) – два из множества возможных сигналов, снимаемых с приемника 3 при установке на предметный столик пластин из всех перечисленных сред кроме оргстекла.

Добавим к описанию этого эксперимента еще один момент.

Если поворотный столик 4, на котором установлена стеклянная (металлическая, керамическая и т.п.) пластина, потихоньку поворачивать, то, начиная с какого-то угла поворота φ_0 , сигнал, снимаемый с пьезокерамики 3, станет идентичным по форме сигналу, снимаемому с пьезокерамики 2. То есть, он станет таким, как если бы мы прозвучивали слой-нерезонатор (оргстекло).

Этот угол поворота φ_0 имеет отношение к углу поворота вектора \bar{V} на рис.2-2б. То есть, угол поворота, который при реализации метода критических углов воспринимается обычно как критический угол при определении скорости распространения волн, на самом деле, является углом, характеризующим поворот вектора скорости распространения упругих колебаний в средах ряда стекла вблизи свободной поверхности.

2.10. Кто открыл упругую колебательную систему

С самого начала, как только я обнаружил колебательные свойства породных слоев, я всё время ожидал, что мне кто-нибудь скажет о том, что это всё уже давно всем известно. В самом деле, поверить в то, что за почти что век существования сейсморазведки никто не видел, что сейсмосигнал представляет собой затухающий синусоидальный сигнал, невозможно.

То же самое происходило, когда я обнаружил эффект АРП. Ну не может быть, чтобы на такую простую вещь никто не наткнулся! Первую публикацию по эффекту АРП я сделал в академическом журнале еще в 1990 году [5]. Более того, чтобы вызвать реакцию на мою неосведомленность о существовании этого эффекта, я сразу же после этой публикации сделал сообщение в лондонский журнал *Natura*. Уж в редакции этого журнала точно известно обо всех физических эффектах

и явлениях⁷! Но нет, ничего подобного не происходило. Редакция журнала мне ответила, что подобные глупости ее не интересуют. Ну что тут скажешь... Люди всюду одинаковы. Как в РФ, так и в любой другой стране настоящие ученые всё, что им неизвестно, воспринимают с одинаковой враждебностью.

И вот, наконец, я обнаружил, что обнаруженный мной в 1977 году эффект, оказывается, известен с 1917 года, и, более того, массово используется подавляющим большинством землян. Речь идет о кварцах. Или, если правильно их называть, о кварцевых резонаторах.

В 1917 году было обнаружено, что если пластину из пьезоэлектрика включить в обратную положительную связь усилителя, то получим генератор синусоидального напряжения с какой-то определенной частотой. Собственно, то же самое произойдет, если вместо пьезоэлектрика в обратную положительную связь будет включен обычный колебательный LC контур. Но только в случае пьезоэлемента стабильность частоты генератора будет очень высокой, другими средствами (в то время) недостижимой.

Сначала для этого использовали сегнетову соль, затем – вырезали пластины из природного кварца, потом научились для этих нужд выращивать искусственный кварц... Сейчас пьезоматериалов, пригодных для получения высокостабильных генераторов, существует много, но все резонаторы, использующие их, объединяются одним названием – кварцы. Сегодня нет ни одного электронного устройства, в состав которого не входили бы кварцы.

Если посмотреть в разного рода энциклопедиях, то мы увидим, что работу кварца объясняют наличием в пластине неких электрических колебательных контуров. Как сейчас говорят, виртуальных. А также наличием пьезоэффекта...

Кстати, об этом последнем аргументе. Я для лабораторного моделирования использую пьезоэлементы из титаната бария – наиболее дешевый и технологичный вид пьезокерамики. Так вот, резонансные

⁷ Большинство стран Мира издает журнал Природа, но лондонский журнал *Natura* имеет свою особенность. При получении информации об открытии нового эффекта, явления или свойства редакция журнала поручает двум независимым и незнакомым друг с другом ученым проверить эту информацию. В случае ее подтверждения журнал публикует эту информацию, и это один из престижнейших моментов в науке.

свойства этих пластин не изменяются, если их лишить пьезосвойств. Для этого их достаточно нагреть до точки Кюри... Значит, резонансные свойства пьезодиэлектриков никак не связаны с наличием или отсутствием пьезоэффекта. Пьезоэффект позволяет лишь наиболее простым способом обнаружить резонансные свойства и их использовать, но причиной их возникновения он не является (написано повторно, для того, чтобы подчеркнуть этот момент).

Научной и учебной литературы по кварцам существует предостаточно. Сложнейшая математика, решение уравнений, описывающих якобы находящиеся в них, а на самом деле, несуществующие электрические колебательные контура, но узнать самое главное – какой толщины должна быть пластина, чтобы получить требуемую частоту, с помощью этих книг невозможно.

На самом же деле, пьезоэлемент представляет собой пластинку, собственная частота которой связана с ее толщиной... СООТНОШЕНИЕМ (1)! О том, что при изготовлении кварцев используется именно выражение (1), я узнал случайно, когда покупал на заводе очередную партию пьезокерамики. Там только в числителе стоит другое число. Для кварца и пьезокерамики – это около 3000м/с, для сегнетовой соли – около 2000м/с... Значит, получается, что колебательная система этого типа была открыта в начале XX века! Но почему же это не было заявлено?

В чем же здесь дело? Почему обнаруженная в начале XX века колебательная система не была названа таковой?

К тому времени, когда были открыты кварцы, прошло всего лет 30 с тех пор, как был открыт электрический колебательный контур. Это было время всемирного и стремительного освоения контуров, возникновения радиосхем, в которых контура использовались совместно с кварцами. Почему же контура числились колебательными системами, а кварцы – нет?

Я думаю, что дело здесь в том, что Поль Ланжевен, впервые использовавший пьезоэлемент как резонатор для часов еще перед 1-й Мировой войной, не понимал физику его работы. Но ведь и лорд Кельвин не понимал физику колебательного контура, когда он провозгласил открытие новой колебательной системы... Кстати, и я не вполне понимаю физику упругой колебательной системы.

Так, абстрактно, всё кажется очень простым. Раз устройство преобразует удар в синусоиду, значит, оно является колебательной системой. Но попробуйте представить себе, что вы заявляете о том, что открыли новую колебательную систему... Наши коллеги начала XX века на это не осмелились, и я их хорошо понимаю. Но вот то, что они пустили развитие представлений о кварцах по пути наукообразия, это, конечно, очень жаль. Наукообразие ведь не может сосуществовать с наукой. Оно глушит попытки научного развития, как сорняки – полезные культуры. Сорняки всегда сильнее... А наукообразие выглядит респектабельнее, умнее. Развившееся до значительных размеров наукообразие отменить крайне трудно. В науке ведь практически невозможно однажды сказанное слово взять назад.

Такое вот ущербное развитие представлений о кварцах, когда вместо полноценной теории используют наукообразие, как оказалось, весьма ограничивает знание их свойств.

А история открытия упругих колебательных систем – это удивительное повторение истории открытия электрического колебательного контура!

2.11. Колебательные свойства объектов произвольной формы

Описывая колебательные свойства плоскопараллельных структур (слоев, пластин), я преследовал две цели. Во-первых, любое изложение материала должно идти от простого к сложному, а плоские объекты как раз и являются простейшими. Они имеют всего один размер, поскольку остальными мы пренебрегаем. И, во-вторых, в природе это действительно самый распространенный объект. Так, осадочный чехол, в условиях которого и на котором живет большинство людей – состоит из породных слоев.

Однако вокруг нас находятся также объекты, не являющиеся такими вот простейшими. Так, лабораторная пластина имеет, кроме толщины, еще и другие размеры, которыми пренебрегать нельзя.

На основании опыта и множества произведенных экспериментов, можно сказать, что объект-резонатор имеет столько собственных частот, сколько он имеет размеров. Или, иначе говоря, имеет в себе, в своем составе столько колебательных систем, сколько он имеет размеров.

Простейший в этом смысле объект, имеющий одну собственную частоту – это шар из материала ряда стекла. Его собственная частота определяется из соотношения (1), в котором размер – диаметр шара d , а скорость V_{ph} соответствует свойствам материала, из которого сделан шар.

Цилиндр имеет два размера – высоту (толщину) h и диаметр d , и имеет две собственные частоты, каждая из которых определяется соотношением (1). Параллелепипед имеет 3 размера, ну и так далее.

Пьезокерамический преобразователь в виде, скажем, диска, имеет толщину и диаметр, и при возбуждении его коротким импульсом будет излучать два гармонических затухающих процесса.

2.12. Принцип спектрально-акустической дефектоскопии

Зависимость спектра объекта-резонатора от количества его размеров является основанием для создания и разработки метода спектрально-акустической дефектоскопии. Каждая трещина, даже закрытая микротрещина, сомкнутая буквально на молекулярном уровне, является дополнительной границей, и, стало быть, порождает дополнительные частоты в спектре.

Так, например, если при спектрально-акустическом исследовании параллелепипеда имеют место три гармонические составляющие (по количеству размеров), то наличие микротрещины в таком объекте приводит к возникновению дополнительных гармонических составляющих. Значения этих дополнительных частот позволяют понять, как именно проходит эта трещина.

Первый раз эта идея была проверена на гранитных блоках.

Как оказалось, изготовление полированных гранитных плит и других изделий связано с одной интересной особенностью гранита. В граните могут залегать трещины значительной площади, но настолько закрытые, что обнаружить их имеющимися методами невозможно. Например, это может оказаться так называемая «постельная» трещина, которая в природе имеет вид горизонтальной, практически почти гладкой границы, почти повсеместно залегающей на глубине от 1 до 3 метров от кровли гранита.

Подобного рода трещины проявляют себя, как правило, на конечной стадии обработки, при полировке. Оказалось, что эти трещины

надежно выявляются при спектрально-акустических (спектрально-сейсморазведочных) исследованиях.

Первый раз мы обнаружили такие трещины, когда на карьере «Возрождение» под Выборгом был отколот гранитный блок, который после обработки стал стелой, что стоит сейчас на площади Восстания в СПб. Заказчик проигнорировал нашу информацию, и сейчас эти трещины можно увидеть под не очень скрывающими их бронзовыми нашлепками.

Второй опыт спектрально-акустической дефектоскопии заключался в следующем. Гранит является незаменимым материалом для бумагоделательных машин. Из него делают валки, между которыми прокатывают бумажную массу, поскольку полированный гранит является единственным материалом, к которому не прилипает бумажная масса. Сила прижима валков – десятки килоньютон.

Обработка гранита от заготовок до полированных валков – очень трудоемкий процесс, и длится он до нескольких лет. Длина этих валков – от 0,5 до 9 м. Как правило, если разваливаются валки, то на последней стадии обработки, при полировке. Кпд этой работы не превышает 10%. То есть, более 90% заготовок разрушаются при обработке.

На нас вышло руководство бумагоделательного завода с просьбой попытаться сделать дефектоскопию гранитных заготовок. В одной из заготовок, длиной около 5 м, мы обнаружили трещину, делящую ее по диагонали, сообщили об этом, и стали ждать развития событий. Через год нам сообщили, что эта заготовка лопнула где-то на середине процесса обработки, и действительно по диагонали. Спустя какое-то время мы узнали, что в наших услугах не нуждаются.

Как выяснилось, договор на дефектоскопию завод заключил с московской академической организацией, которая использует традиционную сейсмоаппаратуру. Информацию они давать не могут, но зато стоимость их работ более чем в 100 раз превышает стоимость наших работ....

Когда объект, требующий обследование, очень сложен, имеет много размеров, то дефектоскопия сводится к сравнению спектров различных, но геометрически идентичных деталей. Так, нас пригласили на вагоноремонтный завод попытаться сделать дефектоскопию де-

тали, называемой автосцепкой. Это сложный по форме стальной объект весом килограмм 20, который изготавливается литьем под давлением. Чтобы выявить скрытые дефекты, используют рентген. На обследование одной автосцепки уходит около 8 часов и много рентгеновской пленки. При этом микротрещины рентген не выявляет.

Нам для исследований принесли 10 автосцепок, среди которых одна была с дефектом, выявленным с помощью рентгена. Обследование сводилось к тому, что мы наносили удары в одно и то же место каждой автосцепки, и снимали сигналы с пьезопленочных датчиков, установленных в одних и тех же местах. В течение получаса мы выявили автосцепку с дефектом. Начальник производства, присутствовавший при наших исследованиях, долго объяснял нам, что это потрясающе, что этого не умеет никто в Мире, что теперь можно будет отказаться от дорогого и вредного рентгена... Попросил позвонить через неделю.

Через неделю нам отказали от сотрудничества. Все положительные стороны использования спектральной дефектоскопии были представлены как отрицательные...

2.13. Понятие о резонансных явлениях

Резонанс – это ситуация, которая возникает в результате совпадения собственной частоты колебательной системы с частотой периодического воздействия на эту колебательную систему. В результате возникновения этой ситуации амплитуда колебаний источника периодического воздействия начинает плавно увеличиваться. В пределе, в Q раз.

Q – это добротность, и величина ее показывает, во сколько раз может увеличиться амплитуда колебаний в случае резонанса.

Для сравнения, средняя величина добротности электрических колебательных контуров – 100. Это значит, при подаче на контур напряжения 10 вольт, мы при возникновении резонанса получим плавное увеличение напряжения, достигающее 1000в. Следовательно, если конденсатор контура рассчитан на 100в, то на резонансе произойдет его пробой. Именно так и происходило, когда в конце XIX века начали использовать колебательные контура. Это сопровождалось различными авариями, и когда оказалось, что напряжение на контуре может

многократно превышать подаваемое на него напряжение, возникло серьезное непонимание.

В механике резонансное явление проявилось в истории с мостами. Когда по мосту идет воинское подразделение, печатая шаг, то возникает вибрация моста, которая плавно увеличивается, достигая такой величины, что мост разрушается. Такое резонансное разрушение моста произошло многократно и во многих странах, после чего последовал запрет передвижения по мостам печатным воинским шагом. Сейчас воинское подразделение, следующее в ногу, при приближении к мосту шаг сбивает, и идет обычным шагом, вразнобой.

Здесь для нас что важно:

1. Если есть плавное увеличение амплитуды вибрации, завершающееся разрушением, значит, имеет место резонансное разрушение.

2. Если есть резонансное явление, значит, имеет место наличие колебательной системы.

3. Если имеет место наличие колебательной системы, то существует вероятность возникновения резонансного явления.

Почему это так важно?

Обнаружив и доказав, что земная толща по акустическим свойствам является совокупностью колебательных систем, мы должны понимать, что все инженерные сооружения, оказывающие на опору (на грунт) вибрационное (динамическое) воздействие, находятся в группе риска, так как при этом возможно их резонансное разрушение.

Ну, пока что, на данном этапе повествования об этом достаточно. Продолжим эту тему позже.

2.14. Об упругих свойствах горных пород

В основе строительной и горной наук лежит представление о горных породах и/или грунтах как об упруго-пластичных средах. На этом построена следующая модель взаимодействия инженерных сооружений с грунтом.

Если уподобить грунт упругой плите, нетрудно доказать, что с увеличением толщины (мощности) этой плиты прогиб ее от воздействия со стороны сооружения будет уменьшаться, а радиус искривления увеличиваться. Следовательно, зона воздействия с глубиной увеличи-

вается, а само влияние сооружения с увеличением глубины должно снижаться. Начиная с какой-то глубины добавка к естественному горному давлению со стороны сооружений будет настолько ничтожной, что ее можно не учитывать. Иначе говоря, начиная с каких-то глубин, влиянием со стороны сооружений можно пренебречь полностью. Глубины эти не превышают 10 метров. По этой причине, при бурении скважин, когда осуществляют инженерно-геологические изыскания, ограничиваются сравнительно небольшими глубинами, считая, что если грунт до глубины, скажем, 10м достаточно прочный, то более глубинные исследования уже нецелесообразны.

Точно по той же логике рассчитывают, как высоко в осадочных породах прослеживается влияние тектонических нарушений. Так, поскольку считается, что сами тектонические нарушения находятся в кристаллических породах, то находящиеся над ними осадочные породы должны, казалось бы, уменьшать их влияние. Причем с увеличением мощности осадочного чехла влияние тектонических нарушений будет уменьшаться.

Все выводы горной науки базируются именно на том, что горные породы подчиняются закону Гука. И именно на этом основана правомерность пересчета деформаций в механическую напряженность.

Считается, что доказательством наличия упругих свойств является общеизвестная зависимость скорости продольных волн от механического напряжения в горных породах. В общем виде, эта зависимость выглядит так, как изображено на рис.2-13.

Плавный рост скорости продольных волн в пределах упругих деформаций с ростом давления на образец почему-то считается доказательством того, что материал образца подчиняется закону Гука.

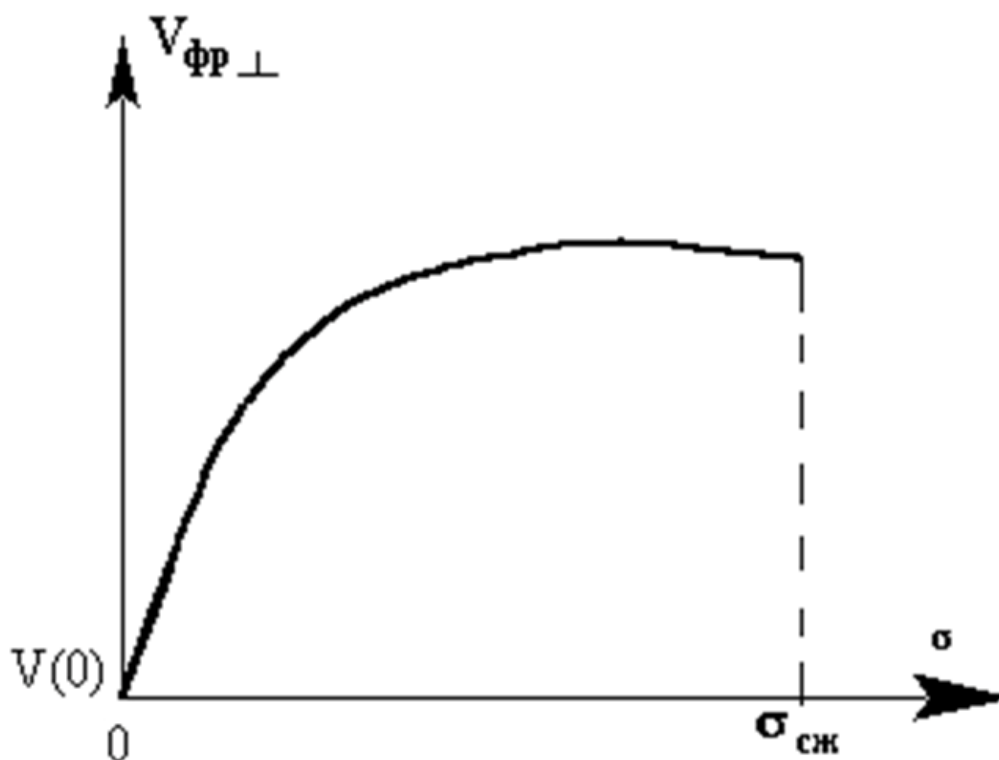


Рис. 2-13

Представляется очевидным, что при нагружении образца из горной породы наблюдают вначале увеличение скорости упругих колебаний V_{fr} , потом эта зависимость V_{fr}/s выполаживается, а затем, по достижении предельного значения напряжения $s_{сж}$, образец разрушается. Одним из следствий этой общеизвестной, во всех учебниках по механике горных пород приведенной зависимости, является то, что чем выше значение скорости V_{fr} в образце из горных пород, тем прочнее образец.

Всё написанное выше хорошо знакомо всем выпускникам ВУЗов горной тематики. Оно является фундаментом горной науки. Однако, увы, всё это, от первого до последнего слова не подтверждается экспериментально, и на самом деле, является чистым вымыслом.

Начнем с самого начала.

Однажды так сложилось, что мне пришлось помочь одному аспиранту осуществить измерения, которые должны были подтвердить взаимосвязь между значением скорости V_{fr} и величиной предельного напряжения $s_{сж}$ для нескольких сотен образцов из известняка. Образцы представляли собой кубики со стороной 45мм. Измерения заклю-

чались в следующем. Сначала определялась величина скорости V_{fr} для каждого образца. А затем каждый образец раздавливался под прессом, и при этом регистрировалось значение $S_{сж}$.

Как ни странно, но закономерности, казавшейся столь очевидной, подчинились не более 10% всех образцов. То есть величина $S_{сж}$ фактически не коррелировала с величиной V_{fr} . А еще более странным оказалось то, что в диссертации этого аспиранта, в конце концов, оказалась информация о том, что в 98% образцов была подтверждена прямая пропорция между значениями V_{fr} и $S_{сж}$. То есть, фактически, это был подлог. Мне стало интересно, как к этому относятся другие ученые. И оказалось, что то, что я случайно обнаружил и посчитал чем-то из ряда вон выходящим, является общеизвестным фактом. Когда же я выразил вслух свое недоумение, то мне объяснили, что никому еще не удалось экспериментально доказать ни наличие зависимости, приведенной на рис.2-13, ни основного следствия этой зависимости. Однако это никому не дает оснований сомневаться в их существовании. Дескать, зависимости, приведенной на рис.2-13 не может не БЫТЬ, а уж сомневаться в том, что скорость V_{fr} пропорциональна прочности горной породы, просто нельзя.

В общем-то, картина знакомая. Я это уже проходил при знакомстве с акустикой твердых сред и сейсморазведкой. Там всё построено на очевидностях, и что из этого получилось, можно посмотреть в приложении к этой книге.

Поэтому немедленно (а это было примерно в 1981-82 годах) я решил самостоятельно проверить истинное положение дел с зависимостями между кинематическими характеристиками поля упругих колебаний и прочностными характеристиками горных пород.

Ну, во-первых, поскольку в научной и учебной литературе зависимость, приведенная на рис.2-13, обосновывается упругими свойствами твердых материалов, подчиняющихся теории упругости, я осуществил измерения скорости при изменяющемся давлении на образцы из различных металлов. Металлы, безусловно, подчиняются теории упругости, поскольку эта теория для них и создана. И если зависимость $V_{fr}(\sigma)$, приведенная на рис.2-13 действительно имеет место и находится в компетенции теории упругости, то она должна была проявиться при этих измерениях.

Однако на самом деле, скорость звука в металлических образцах действительно увеличивалась, но совершенно незначительно, и при этом на самом начальном этапе нагружения. Ну, это понятно, этот эффект уже описывался в главе 2, (см. рис.2-3 и 2-4). Дальнейшее нагружение уже изменения скорости не вызывало. Причем нагружение металлических кубиков осуществлялось до такого уровня, что образец ощутимо изменял свои размеры.

Следовательно, в средах, подчиняющихся теории упругости, такого изменения скорости V_{fr} при увеличении нагружения, как это показано на рис.2-13, нет. Проведение же точно таких измерений на кубиках из горных пород показало, что изменение скорости при нагружении действительно происходит, но не так, как показано на рис.2-13, а беспорядочными толчками в непредсказуемую сторону. А если при плавном увеличении нагрузки величина постоянно определяемой в образце скорости изменяется толчками, и при этом в непредсказуемую сторону, то, следовательно, изменение скорости связано не с изменением давления, а с изменением трещиноватости материала.

Но ведь это же совершенно меняет дело. Одно дело, если скорость увязывается с напряженным состоянием, и другое, если с трещиноватостью. Ведь подавляющее большинство диссертационных и научных работ по геомеханике имеет своей целью делать какие-то выводы именно на основании логики, графически изображенной на рис.2-13...

Надо сказать, что несмотря на множество моих выступлений и публикаций на эту тему, количество научных работ, использующих в качестве своей основы этот самый, явно ошибочный постулат, не уменьшилось... Поэтому продолжим заниматься физикой, не обращая внимания на то, что выгоднее было бы идти в ошибочном направлении.

Тогда еще, в начале 80-х годов, я осуществил измерения, на основании которых можно было с уверенностью говорить, что если область упругих деформаций у горных пород и существует, то она явно меньше, чем 5% от $s_{сж}$. Идея этих измерений заключается в том, что скорость V_{fr} определялась в образцах многократно, но не в процессе их нагружения, а между нагружениями. Причем величина нагружения каждый раз не превышала 5% от $s_{сж}$. Определяемая скорость каждый

раз изменялась, но изменялась в непредсказуемую сторону. Это приводит к выводу, заключающемуся в том, что даже 5-процентное от $S_{сж}$ нагружение вызывает развитие нарушенности, то есть выходит за пределы зоны упругих деформаций.

То есть, при статическом нагружении горных пород в них сразу начинает накапливаться микронарушенность. Это объясняет то, что прогибаясь, породные слои после снятия нагрузки свою форму не восстанавливают, так как прогиб происходил именно вследствие развития микронарушенности.

Говорить о полном отсутствии области упругих деформаций у горных пород тоже нельзя, так как при этом оказались бы сомнительными все те их акустические свойства, о которых сказано выше. С другой стороны, низкий уровень значения S , при котором происходит переход от упругих деформаций к неупругим, имеет своим следствием то, что разрушения в горных породах могут быть вызваны даже акустическими процессами. Скажем, при возникновении резонансных явлений, когда амплитуда колебаний возрастает от периода к периоду, и, начиная с какого-то момента, начинается разрушение материала. И действительно, как оказалось, в целом ряде случаев так и происходит. В частности, на этом основан механизм таких грозных явлений как техногенные землетрясения, о чем речь впереди.

Из факта отсутствия упругих деформаций в горных породах следует ряд весьма важных выводов. Один из них заключается в том, что как бы глубоко ни происходили подвижки в горных породах, последствия этих подвижек проявляются также и вблизи от земной поверхности.

Глава 3.

Поле упругих колебаний в слоистых средах

Распространение поля упругих колебаний в плоскопараллельных структурах принято рассматривать чисто геометрически. Если расстояние от источника поля меньше толщины слоя, то закон затухания соответствует закону затухания сферических волн, а если больше – то цилиндрических. Почему никто не обратил внимания на то, что при

практических измерениях почти всегда все происходит совсем не так – не знаю.

Во всяческих научных трактатах по акустике твердых сред и сейсморазведке на первом месте по важности стоит скорость (кинематические характеристики поля упругих колебаний), а на втором – затухание. Способа определить уровень (величину) поля упругих колебаний не существует, а следовательно, не существует и метрологически корректных способов измерения затухания, и поэтому разного рода формулировок, мнений, запретов и т.п. – больше, чем достаточно. Так, любые непонятности в результатах акустических измерений можно не задумываясь объяснять своеобразием затухания, а еще лучше – поглощением, и никто возражать не будет.

То, что поглощение существует – это бесспорно. Ведь любой акустический сигнал рано или поздно исчезнет, перейдя в тепло. Но вот оценить скорость этого перехода является серьезной, и пока еще нерешенной проблемой. Для обычных звукопроводящих сред при небольшой протяженности измерительной базы затуханием как следствием поглощения можно пренебречь. О том, что для сред типа стекла и оргстекла это именно так, свидетельствует то, что в пластинах из этих материалов можно наблюдать эффект монохроматора. Наличие ощутимого поглощения привело бы к тому, что отражение на частоте монохроматора не исчезало бы.

3.1. Затухание звука в слоистых средах

При рассмотрении поля упругих колебаний в слоистой среде представляет интерес его затухание при распространении как вдоль, так и поперек поверхностей напластования.

На рис.3-1 приведены результаты исследований затухания звука при распространении вдоль слоев.

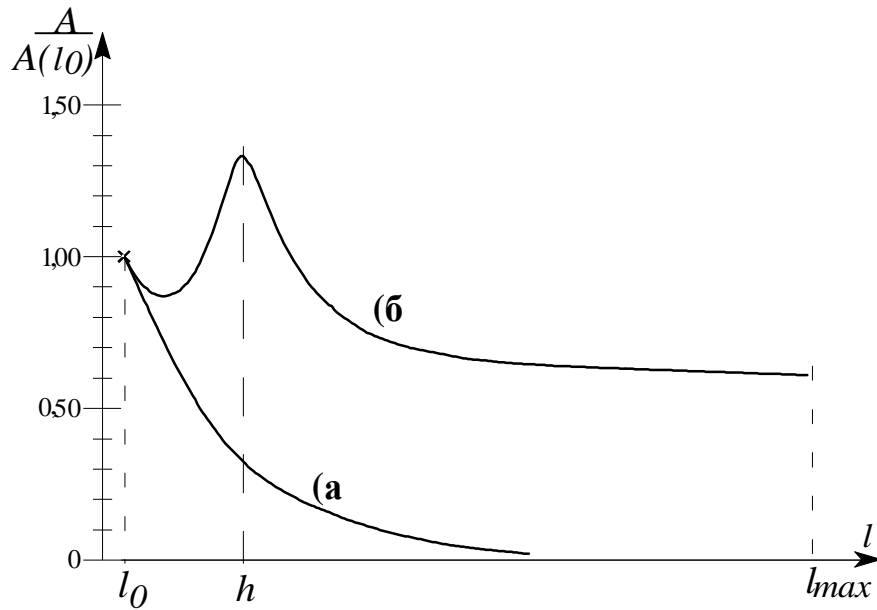


Рис. 3-1

Графики иллюстрируют зависимость величины акустического сигнала от расстояния между излучателем и приемником в случае, когда и излучатель и приемник находятся на одной и той же поверхности листа из оргстекла или стекла.

Источник ударного воздействия представляет собой устройство, с помощью которого маленький стальной шарик может падать на исследуемую пластину с одной и той же высоты и в одну и ту же точку. Размеры исследуемой плоскопараллельной структуры должны быть такими, чтобы, работая примерно в середине ее, не иметь влияния краевых эффектов.

График **а** получен при работе с листом из оргстекла. Он полностью соответствует существующим представлениям, и большая крутизна графика при $l < h$ соответствует затуханию сферических волн, а при $l > h$ крутизна уменьшается, и скорость затухания ($\Delta A / \Delta l$) становится соответствующей закону затухания волн цилиндрических. Здесь l_0 – то минимальное значение измерительной базы, меньше которого погрешность измерений становится недопустимой. Значение амплитуды сигнала при $l=l_0$ принято равным единице. На расстоянии от источника, равном $(2 \div 3)h$, сигнал уменьшается настолько, что воспринимается где-то на уровне помех. Такой результат увязывается с расчетными значениями и показывает, что подобное исследование затухания звука в слоях правомерно.

Совсем иное дело, когда подобные же исследования осуществляются на листе из материала ряда стекла. Это проиллюстрировано на рис.3-1 графиком **б**. Первоначально, при малых значениях измерительной базы, сигнал точно так же уменьшается с увеличением l , как и на графике **а**. А затем, при дальнейшем удалении от источника, сигнал, вместо того чтобы уменьшаться – увеличивается, и при $l \approx h$ график имеет положительный экстремум. При дальнейшем увеличении l сигнал несколько уменьшается, а затем остается по амплитуде примерно таким же, незначительно уменьшаясь с удалением от источника. Здесь два момента, которые не укладываются в общепринятую картину.

Во-первых, наличие участка, на котором происходит увеличение сигнала с удалением от источника. На практике, этот момент известен. При сейсморазведочных работах на осадочном чехле, на малых базах этот экстремум наблюдается практически всегда. При сейсмоакустических измерениях в угольных шахтах, также на малых базах, мы неоднократно наблюдали зону, в которой звук при удалении от источника не уменьшается, а увеличивается. Кроме того, при испытательных подземных взрывах зачастую разрушаются дальние объекты при отсутствии разрушений в ближних.

Наличие острого экстремума на зависимости $A(l)$ приводит к тому, что при небольших значениях измерительной базы наблюдаются крайне нестабильные и слабо повторяющиеся результаты измерения амплитуды сигнала. Ведь на самом деле, на практике, при сейсмоизмерениях действительное значение мощности породного слоя h во-первых, неизвестно, а во-вторых, оно и непостоянно, поскольку плоскопараллельность поверхностей напластования довольно относительна. И понятно, что при измерениях в зоне экстремума малейшее изменение места контакта сейсмоприемника приведет к значительному изменению амплитуды сигнала. Это тот эффект, который я обнаружил при самом первом шахтном измерении, но тогда еще я его объяснить не мог.

Чем больше добротность слоя-резонатора, тем острее экстремум, тем больше увеличение амплитуды сигнала при удалении от источника вблизи $l \approx h$.

И второе. При значениях $l > h$ в слоях-резонаторах звук в лабораторных условиях практически не затухает. А в природных условиях, затухает, но крайне медленно.

Отметим, что распространяющийся вдоль пластины-нерезонатора сигнал по очертаниям эквивалентен исходному, возникающему при падении шарика. То есть, вдоль слоя-нерезонатора распространяется сам зондирующий импульс. В отличие от этого, в слое-резонаторе сигнал имеет очень большую длительность, и по очертаниям не имеет ничего общего с сигналом, наблюдаемом при исследовании слоя-нерезонатора, поскольку распространяется вдоль слоя-резонатора не исходный (зондирующий) сигнал, а вызванный зондирующим сигналом собственный колебательный процесс слоя-резонатора.

Результаты по своему характеру не изменятся, если вместо падающего шарика использовать в качестве излучателя возбуждаемую коротким электрическим импульсом пьезокерамику.

Затухание поля при распространении вдоль слоя-резонатора при $l > h$ столь незначительно, что становится понятной физика одного используемого испокон веков эффекта.

Речь о том, что, приложив ухо к земле, можно услышать топот лошадей значительно раньше, чем их увидеть. Но одно здесь необходимо отметить. Мы при этом слышим не сам топот, а возбуждаемые им собственные упругие колебания, распространяющиеся вдоль породных слоев-резонаторов. С учетом этого становится понятным, почему топот конницы слышен в виде звонкого низкочастотного гула: это соответствует распространению собственного звучания породных слоев-резонаторов вдоль напластования.

Собственный упругий колебательный процесс, распространяющийся вдоль слоя-резонатора, не выходит за его пределы. Это свойство слоев-резонаторов оказалось очень важным при разработке метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП).

Схема формирования и распространения поля упругих колебаний в слоистой среде показана на рис.3-2.

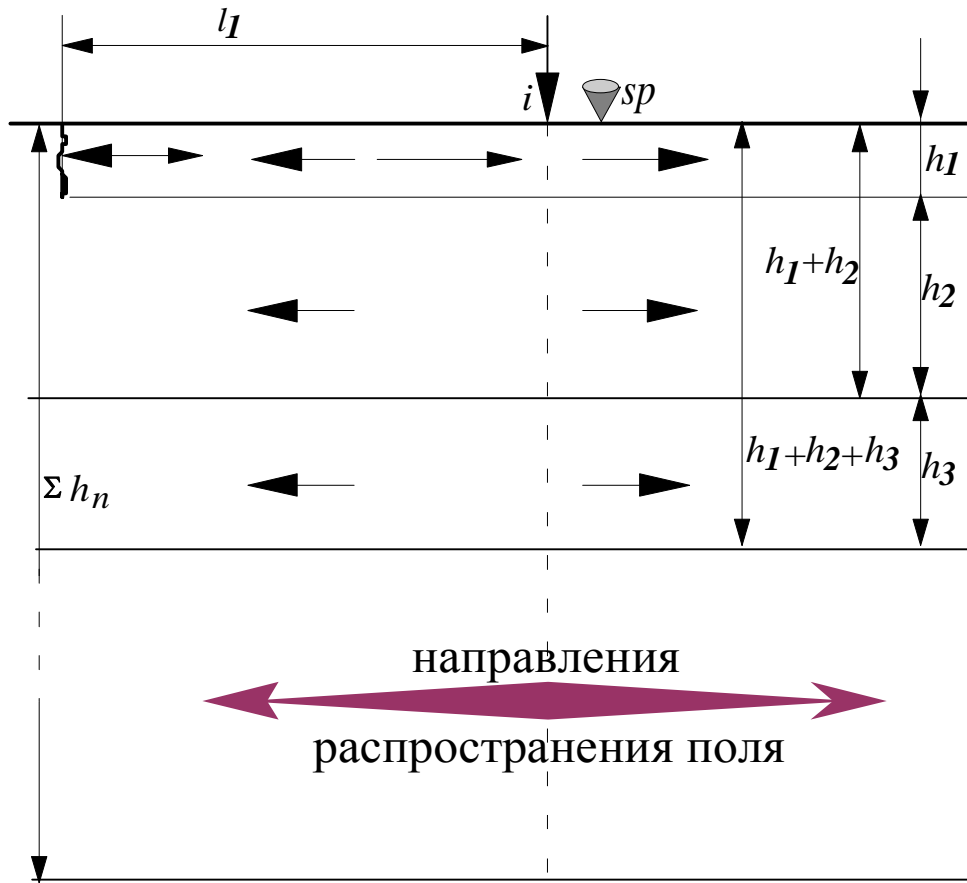


Рис. 3-2

На примере трехслойной модели показано, что в результате ударного воздействия в каждом из слоев-резонаторов (как в простых, так и в составных) возникают собственные колебательные процессы, которые распространяются вдоль соответствующих слоев. Каждый из этих колебательных процессов не выходит из своего слоя-резонатора, и поэтому сейсмоприемник в точке контакта регистрирует собственные колебания только тех слоев, которых он касается. То есть, h_1 , h_1+h_2 и $h_1+h_2+h_3$. Собственные колебания слоев h_2 , h_3 и h_2+h_3 сейсмоприемник не регистрирует.

Здесь следует обратить внимание на то, что упругий импульс, который, по представлениям сейсморазведчиков, должен возникнуть в результате ударного воздействия, отсутствует. Так же точно отсутствует звук удара, когда мы бьем, скажем, по клавишам рояля. В обоих случаях, реакция колебательной системы на удар содержит только гармонический затухающий сигнал. На рис.3-3 показан реальный сеймосигнал, полученный при обычных полевых работах при минимальном (сантиметры) расстоянии между точкой удара и сейсмоприемником.

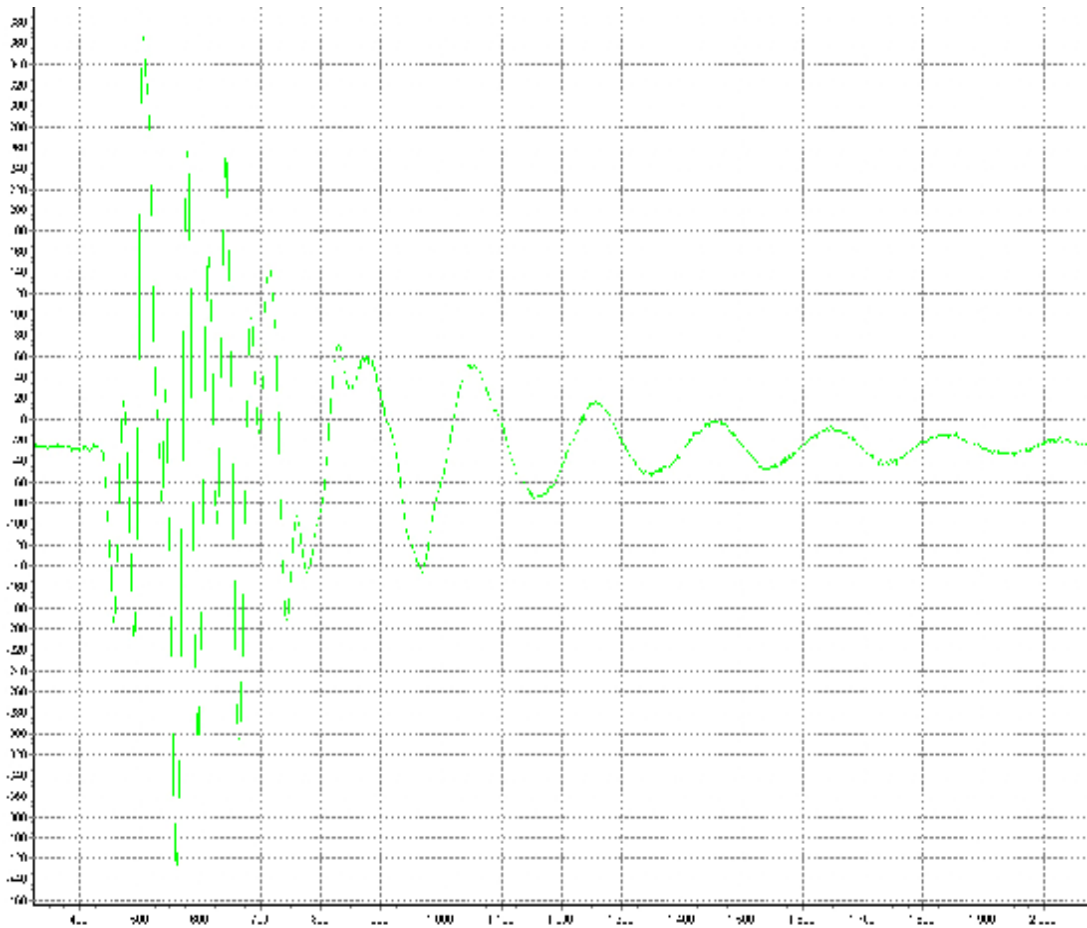


Рис.3-3

Здесь отчетливо видно, что в момент удара возникает несколько гармонических составляющих, но более высокочастотные затухают быстрее, и остается единственная, низкочастотная составляющая.

То есть, получается, что в результате ударного воздействия ожидаемый упругий импульс, относительно которого сформировалась вся сейсморазведка, просто отсутствует, а вместо него возникают гармонические составляющие, которые, к тому же, распространяются не вниз, в массив, а в горизонтальных направлениях.

Следовательно, если при обычных сейсморазведочных работах возникают эхо-сигналы, то приходят они не снизу, а сбоку. Это замечание, пожалуй, является катастрофическим для всей традиционной сейсморазведки, которая создавалась с уверенностью в том, что при ударе возникает упругий импульс, и что распространяется он в глубину.

На рис.3-2 показан случай, когда слой h_1 на расстоянии $-l_1$ от точки удара i имеет границу. Возможно, он выклинился в этом месте или граница возникла по какой-нибудь другой причине. Тогда гармониче-

ская составляющая f_{0l} , соответствующая породному слою-резонатору h_l достигнет этой границы и отразится обратно. И по моменту приема в точке установки сейсмоприемника этого эхо-сигнала, а также по частоте этого эхо-сигнала мы узнаем о расстоянии до этой границы и о мощности слоя, который имеет там эту границу. Понятно, что глубинность сейсмометода, основанного на этом подходе определяется нижним частотным пределом аппаратуры. Так, при значении низшей частоты, равном 1 Гц, максимальная мощность слоя, в соответствии с соотношением (1), равна 2,5 км.

Описанную здесь модель распространения поля упругих колебаний при сейсморазведочных работах подтвердили, сами того не желая, ученые института Геофизики СО РАН. Их эксперимент заключался в следующем. Мощный, 100-тонный генератор гармонического поля упругих колебаний (вибросейс) находится под Новосибирском, и излучаемое им поле может изменяться по частоте плавно и как угодно медленно от 1,5 Гц и до 12 Гц. Сейсмоприемник, регистрирующий это поле, находился в Казахстане на расстоянии около тысячи километров. Задача этого эксперимента заключалась в том, чтобы доказать, что излученное поле уходит на огромные (десятки километров) глубины и отражается от залегающей там поверхности, в соответствии с лучевой моделью. В соответствии с идеей вибросейса, этот метод может использоваться как альтернатива взрывной сейсмике, для сейсморазведочных региональных работ, для выявления границ, находящихся на больших глубинах.

Однако в процессе обсуждения результатов этих экспериментов, выяснилось, что в ходе описанного вибросейс-измерения есть такие частоты, на которых сигнал от источника не регистрируется в точке приема. Это происходит следующим образом. Оператор в точке приема получает по радиоканалу постоянную информацию о частоте излучаемого поля. И вот, когда частота достигает некоторого значения, сигнал пропадает. А далее, с дальнейшим изменением частоты, появлялся опять. Повторяемость этого эффекта очень устойчива. А поскольку никакими интерференционными процессами это не объяснялось, то и в отчет оно не попало.

Но здесь ведь, по-моему, все очень просто. Диапазон от 1,5 до 12 Гц, согласно выражению (1), соответствует диапазону глубин от

1,66км до 210м. Если бы в этом диапазоне глубин было множество равномерно распределенных границ, то, по-видимому, проходили бы все частоты диапазона. Но вот если в некотором диапазоне мощностей границ не было (шел однородный материал), то в соответствующем диапазоне частот сигнал не проходил. То есть, причина отсутствия сигнала на некоторых частотах заключается в том, что просто не было соответствующих этим частотам слоев-резонаторов.

Осуществляя виброрейс по такой схеме, ученые, по сути, провели сеанс спектральной сейсморазведки. Разница лишь в том, что при обычном спектрально-сейсморазведочном профилировании (ССП) применяется спектральный анализ с помощью машинного преобразования Фурье, а в случае виброрейса – последовательный спектральный анализ путем изменения частоты излучения.

Я очень сожалею, что сотрудник этого института, рассказавший (в рамках семинара) об этих результатах применения виброрейса, был за это уволен. И чувствую за это перед ним свою вину. Если бы меня при этом не было, его бы не уволили.

Сейсморазведчики ведь и сами давно понимают, что лучевая сейсморазведка – это великое заблуждение, но очень стараются, чтобы факты, подтверждающие это, сохранялись в тайне.

Теперь что касается ссылок на закон сохранения энергии.

3.1.1. Об измерении энергетики

Полагаю, что любой человек, имеющий самые минимальные познания в метрологии, должен бы заметить некорректность уже в самом названии настоящего параграфа. Потому что энергетика не измеряется.

Даже в тех областях физики, где метрологическое обеспечение удовлетворительно, энергия (соответственно, и мощность) не измеряется, а вычисляется. Так, электрическая мощность определяется как произведение тока на напряжение. Если бы у нас не было, скажем, амперметра и фазометра, то с одним только вольтметром электрическую мощность нельзя было бы оценить даже приблизительно.

Даже более того, пользуясь исключительно вольтметром, нетрудно было бы обнаружить невыполнение закона сохранения энергии. Так, подав на колебательный контур один вольт, мы можем снять с

его индуктивности или емкости 100 вольт и более. И действительно, на заре науки о колебательных контурах из подобных результатов именно и делали вывод о невыполнении в электричестве закона сохранения. Вольтметр отдельно или амперметр отдельно являются датчиками линейных (а не квадратичных) параметров поля, а посему служить для оценки энергетики не могут.

В акустике (сейсморазведке) не существует средств, чтобы дать хотя бы какую-нибудь количественную характеристику сеймосигналу. И тем не менее, если обратиться к научной литературе, то по амплитуде сигнала, снимаемого с сейсмоприемников, сплошь и рядом делаются заключения об энергетике поля упругих колебаний. Независимо от того, какую информацию мы считываем с сейсмоприемника, он является безусловно датчиком линейных параметров поля упругих колебаний, и поэтому не является источником информации об энергетике.

Поэтому нельзя говорить, что наличие положительного экстремума на графике **б** рис.3.1 свидетельствует о том, что это энергетический экстремум. А крайне низкое затухание поля при $l > h$ свидетельствует о том, что вдоль слоя-резонатора распространяется мнимая составляющая поля упругих колебаний.

3.2. Скорость звука при распространении вдоль слоя-резонатора

График **2** рис.1-5б иллюстрирует характер скорости распространения поля упругих колебаний вдоль слоя-резонатора. При больших значениях измерительной базы величина скорости звука вдоль слоя-резонатора $V_{fr_{\bar{a}}}$ примерно равна скорости, значение которой стоит в числителе выражения (1). При уменьшении расстояния от излучателя величина $V_{fr_{\bar{a}}}$ уменьшается.

В принципе, этот эффект давно известен. При проведении сейсморазведочных работ замечено, что на малых расстояниях от точки ударного (взрывного) воздействия скорость распространения фронта имеет небольшие значения. Объясняют это наличием приповерхностной зоны, которая в результате атмосферного воздействия обладает малыми значениями скорости распространения упругих колебаний. Это так называемая зона малых скоростей (ЗМС). Но вот мы видим то

же самое и при исследовании слоев из безусловно однородных сред, когда приповерхностная разрушенность отсутствует.

На самом деле, график 2 рис.1-5б объясняется следующим образом.

Вдоль слоя-резонатора распространяется не сам акустический импульс, созданный ударным источником в точке i , а тот гармонический затухающий процесс, который возникает в этом слое-резонаторе. То есть, в результате ударного воздействия идут одновременно два процесса – формирование спектра собственных колебаний слоя-резонатора и распространение этих колебаний вдоль слоя-резонатора. Там, где идет распространение уже сформировавшегося процесса, скорость максимальна и равна скорости V_{ph} . Это тот случай, когда скорость распространения упругих волн вдоль слоя-резонатора по своей величине приближается к фазовой скорости.

Там, где идет изменение спектра по длине пути, скорость распространения снижается. Максимальное изменение спектра происходит вблизи точки ударного воздействия, и поэтому скорость там минимальна. Там, где толщина слоя-резонатора изменяется (местное утолщение или утоньшение), спектр изменяется, и скорость также уменьшается.

Распространяющийся вдоль слоя-резонатора упругий гармонический процесс достигает его границы, отражается от нее и идет обратно. Однако в зоне этой границы также идет преобразование спектра, а стало быть, и там происходит замедление. Таким образом, измеряемая величина скорости распространения звука вдоль слоя-резонатора всегда оказывается несколько меньше, чем скорость V_{ph} .

Границей слоя-резонатора в земной толще (в слоистом осадочном чехле) может оказаться разрывное (тектоническое) нарушение. И таким образом, оказалось возможным осуществлять эхо-локацию зон тектонических нарушений. В том числе, и непосредственно в условиях угольных шахт. В этом случае, как показал опыт, вполне приемлемые результаты будут, если принять значение скорости распространения упругих волн вдоль породного (кровли или почвы) слоя равным 2000м/с.

И, наконец, важнейший для традиционной сейсморазведки момент – вопрос о том, какой конкретный тип упругих колебаний прояв-

ляется при регистрации сейсмосигнала. Споры о том, какой именно тип упругих колебаний сформировал эхо-сигнал – непрерывны и не имеют своего метрологически оправданного обоснования.

Как показали наши эксперименты, все сейсмосигналы имеют вид гармонических затухающих процессов. Преобразование их к гармоническому виду происходит, как было показано выше, только в том случае, если они обусловлены наличием слоев-резонаторов. Отсюда делаем вывод, что все сейсмосигналы обусловлены упругими процессами, обусловленными наличием структур-резонаторов.

Приведенный выше анализ можно свести к следующим пунктам:

1. При ударном воздействии на земную толщу сам зондирующий импульс отсутствует уже непосредственно в зоне удара, поскольку преобразуется в совокупность гармонических затухающих процессов.

2. Преобразование ударного воздействия в гармонические затухающие процессы происходит в находящихся в зоне удара породных слоях, которые, кроме того, что являются резонаторами, преобразующими исходное поле в поперечные волны, выполняют роль направляющих структур.

3. Упругие колебания распространяются не вниз, перпендикулярно дневной поверхности, как было принято считать до сих пор, а в направлениях, соответствующих характеру залегания направляющих породных структур-резонаторов. В большинстве случаев, залегание направляющих структур субгоризонтально, и поэтому вертикальная составляющая вектора направления распространения поля упругих колебаний обычно отсутствует;

4. Сейсмосигналы гармонического характера формируются мнимой частью поля упругих колебаний или, пользуясь традиционной терминологией, поперечными волнами. Вопрос, распространяются ли в земной толще другие типы волн, может возникнуть, если обнаружится негармонический сейсмосигнал;

5. Скорость распространения упругих колебаний V вдоль направляющих структур имеет значение несколько меньшее, чем V_{ph} . Значение V тем ближе к V_{ph} , чем протяженнее направляющая структура, так как в зоне ударного воздействия, а также вблизи границ структуры величина скорости распространения V уменьшается. Это обусловлено процессами, связанными с преобразованием спектра в этих зонах;

6. Дойдя до границы направляющей структуры (наличие которой может быть обусловлено тектоническим нарушением), упругие колебания отражаются от этой границы и возвращаются в зону ударного воздействия в виде эхо-сигнала.

3.3. Канал сверхдальнего распространения звука в воде

Еще до 2-й Мировой войны было обнаружено, что в Индийском и Тихом океанах на глубинах $1000 \div 1200$ м существует канал сверхдальнего распространения звука. Звук вдоль этого канала распространяется практически без затухания, и при этом не выходит за его пределы. Военно-морские силы США использовали это явление для определения местонахождения терпящих бедствие судов. Происходило это следующим образом. С терпящего бедствие судна следовало сбросить глубинную бомбу, которая взрывалась как раз в пределах этого канала. В этом случае звук от взрыва достигал берегов, и береговые гидроакустические станции его фиксировали. Сравнивая моменты прихода звука в различные точки береговой линии, можно определять координаты взрыва.

Замечено было два момента. Первый – скорость распространения звука в канале сверхдальнего распространения равна примерно половине скорости звука в воде. Второй – сигнал, принимаемый береговыми гидрофонами, имеет вид длительного гармонического, плавно затухающего колебания.

При исследовании физики этого явления выяснилось, что формируется этот канал на глубине, где существует зависимость скорости звука от глубины, геометрически подобная приведенной на графике рис.3-4а.

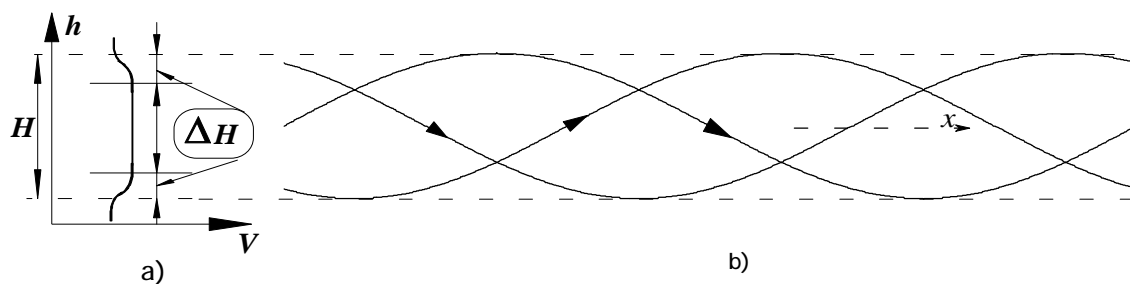


Рис. 3-4

На некоторой глубине происходит сначала плавное увеличение скорости звука с глубиной, а затем, при дальнейшем увеличении глу-

бины скорость плавно уменьшается. Толщина слоя воды, в пределах которого происходят эти изменения скорости, равна H . Предполагается, что звук, попавший в такой слой, двигается вдоль него за счет изгибания лучей (рефракции) в соответствии с рис.3-4б.

На самом же деле, как мы теперь это понимаем, причина этого явления в другом. Водяной слой, в котором существуют две зоны Δh , становится слоем-резонатором. И именно поэтому в нем происходит преобразование импульсного воздействия в гармонический сигнал, который не выходит за его пределы, и регистрируется береговыми гидроакустическими станциями. И поэтому отсутствует затухание звука при распространении его в этом слое, а скорость распространения равна скорости V_{ph} в воде, которая примерно вдвое меньше известной скорости звука в воде.

Звук, однажды попавший в слой-резонатор, идет вдоль слоя и не выходит за его пределы. То есть водная толща, обычно прекрасно звукопроводящая во всех направлениях, при таком законе изменения скорости с глубиной, в направлении, пересекающем водный слой-резонатор, звук не проводит. Это объясняет один феномен, хорошо известный подводникам.

3.3.1. О безопасности подводных лодок [6]

Начиная с самых первых шагов при создании подводных кораблей, важнейшей задачей было создание средств, позволяющих избежать абсолютно слепой подводной лодке (п/л) столкновения с различными объектами – будь то подводная скала, другой подводный корабль или надводный корабль, представляющий опасность при всплытии. Средства эти, в основном, гидроакустические. Вот и стала гидроакустика глазами и ушами п/л.

О современных гидроакустических средствах говорить не могу, но уже 40 лет назад их возможности были колоссальными. Средних возможностей гидроакустическая станция, стоящая на корабле, обеспечивала контакт с другим плавсредством на дистанциях, порою превышающих 40км. В активном режиме, то есть в режиме гидролокации даже на приличных дистанциях без труда выявлялись не то что корпуса любых плавсредств, но и такие незначительные по размерам объекты как отдельно плавающее бревно. Казалось бы, уже тогда возмож-

ности гидроакустики были такими, что полностью исключалась возможность столкновения п/л с любым объектом. И вместе с тем...

Занимаясь с 1962-го по 1968-й годы ремонтом и настройкой гидроакустических средств на Северном флоте, я время от времени выходил в море для обеспечения разного рода ходовых испытаний. При этом я заметил, что самая нервная обстановка на подводном корабле возникала в момент всплытия. Казалось бы, что тут опасного, если гидроакустика на всплытии работает в локационном режиме, а следовательно, столкновение с надводным объектом должно быть исключено. Однако во время одного из всплытий, еще в 1963 году, я сам столкнулся с явлением, которого как раз и опасаются опытные моряки.

Осмотрев тщательнейшим образом горизонт, гидроакустики сообщили в центральный пост о том, что горизонт чист. Однако при всплытии мы просто чудом не столкнулись со сторожевым кораблем. Созданные для плавания в высоких широтах, надводные корабли имеют такой мощный форштевень, который позволяет дробить 3-метровый лед. Понятно, что при столкновении с таким объектом мы могли получить весьма серьезные повреждения. Как ни странно, реакция командира на ошибку гидроакустиков была не очень бурной. Как я потом выяснил, является общеизвестным, что время от времени при всплытии пропадает акустический контакт между надводными и подводными объектами, и примерно раз в год (на то время) предположительно по этой причине в Море происходит гибель одной подводной лодки.

Так, в 1962 году в док города Николаева (на Черном море) на ремонт встал танкер, у которого оказался пробитым один отсек (танк). Согласно записям в ходовом журнале, пробоина была получена за год до этого от столкновения с неизвестным объектом при нахождении танкера в Атлантическом океане. В квадрате, где был получен удар, несла патрулирование пропавшая там тогда подводная лодка. Анализ показал, что в этот момент п/л шла на всплытие для осуществления сеанса связи.

В наше время, когда все плавсредства оснащены современной спутниковой радионавигацией, место, где получен удар от всплывающей подводной лодки, может быть определено с высокой точно-

стью. Это очень важно, так как если столкновение произошло на мелководье, то эта информация позволила бы немедленно обнаружить затонувший подводный корабль, чтобы незамедлительно начать спасательные работы.

Как мне представляется, именно так произошла авария п/л «Курск», так как на поиски ее не было потрачено ни минуты. Думаю, что никому объяснять не надо, что для того, чтобы найти лежащую на грунте на 100-метровой глубине лодку, корпус которой обклеен специальной, не отражающей звук резиной, пришлось бы затратить немало времени. «Курск» же не искали вовсе, из чего я и заключаю, что информация о местонахождении его была получена от надводного корабля, на который и натолкнулась лодка при всплытии.

А через полгода после этого американская п/л при всплытии ударила японский сейнер...

С тех пор, чем бы я ни занимался, я искал ответ на вопрос: какая причина могла бы привести к тому, чтобы вода на время теряла свою звукопрозрачность. Сейчас стало ясно, что если по каким-то гидрологическим причинам (предположительно, после шторма) на малых глубинах возникает распределение скорости звука, подобное показанному на рис.3-4а, то формируется водяной слой-резонатор, поперек которого звук не проходит. Поэтому и возникает ситуация, когда теряется акустический контакт между подводным и надводным объектами.

Известно ведь, что для того, чтобы борьба с каким-то явлением была плодотворной, нужно знать его физику. Однако для этого необходимо еще одно – потребность в этой борьбе. Более или менее понятной для меня физика водяных слоев-резонаторов стала лет 25 назад. Я тогда поставил лабораторную работу, где смоделировал описанный здесь случай. Однако все мои попытки передать эти знания военным ученым, по долгу службы обязанным радеть о безопасности п/л, пресекаются на корню. Причина в том, что наука о звукопроводности водной толщи не предусматривает наличие водяных слоев-резонаторов. А стало быть, и разговор на эту тему исключается.

3.4. Понятие о границах

Главный вопрос при применении любого метода исследования, использующего физическое поле – это физические свойства выявляемых с помощью этого метода границ.

Когда мы используем, скажем, оптическое поле (иначе говоря, зрение), мы видим объекты только благодаря тому, что свет отражается от их границ. Невидимый объект – это объект, на границах которого не происходит изменение оптической плотности. Так, например, кристаллы алмазов увидеть в воде невозможно, так как оптическая плотность в этих средах (вода и кристаллы) одинакова. А стало быть, оптической границы между ними нет, и алмазы в воде увидеть невозможно.

Акустическими границами всегда считались поверхности, на которых происходит скачок удельного акустического сопротивления R , которое равно произведению плотности среды ρ на скорость звука в ней V . То есть, если соседствуют среды с одинаковыми значениями R , то всегда считалось, что акустической границы между ними как бы и нет.

При спектрально-акустических измерениях, как оказалось, акустические границы имеют совершенно другой смысл. Акустической границей при спектрально-акустических измерениях являются поверхности, по которым соседние среды могут скользить относительно друг друга. И таким образом, с помощью метода ССП можно выявлять сомкнутые трещины, а также совокупности микротрещин, то есть зоны микронарушенности. Границы такого рода никакими другими существующими на сегодняшний день неразрушающими методами выявить нельзя.

3.5. Комбинированные колебательные системы

Во всех своих статьях про упругие колебательные системы я рассматриваю обычно объекты из материалов ряда стекла (стекло, керамика, металлы и сплавы, горные породы). И здесь, в общем-то, уже всё более или менее понятно.

Объекты ряда оргстекла (оргстекло, некоторые сорта угля, некоторые виды пластмасс, а также газы и жидкости) резонаторами не являются, и при ударе по ним собственные колебательные процессы не

возникают. В таких объектах упругие лучи распространяются прямолинейно и отражаются от границ аналогично тому, как это происходит в оптике.

А вот что происходит, если объекты-резонаторы акустически контактируют с объектами-нерезонаторами? Как при этом ведет себя поле упругих колебаний?

Первый раз я столкнулся с таким феноменом случайно, когда, находясь в чужой, уже не существующей сейчас лаборатории, я решил показать на их аппаратуре только что обнаруженное мной различие акустических свойств стекла и оргстекла. Показав на стеклянной модели возникновение собственных колебаний, я взял кусочек листа оргстекла круглой формы, диаметром примерно 15см с тем, чтобы продемонстрировать отсутствие в нем собственных колебаний. Но, увы, реакция на ударное воздействие модели из оргстекла имела вид затухающей синусоиды с частотой около 10 кГц.

И только спустя несколько лет я понял, что произошло. Этот кусочек листа из оргстекла был по контуру покрыт тонким слоем пластилина. Это было сделано для того, чтобы легко было закреплять по контуру маленькие пьезокерамические сейсмоприемники. Пластилин, как оказалось, по акустическим характеристикам относится к группе стекла, и при хорошем акустическом контакте с оргстеклом приповерхностные зоны Δh пластилина стали принадлежностью также и оргстекла. Таким образом, пластина из оргстекла превратилась в пластину-резонатор. Но только по диаметру. По толщине эта пластина осталась нерезонатором. Резонатор, в состав которого входят материалы группы стекла и группы оргстекла, будем называть комбинированными.

Частота возникшего синусоидального затухающего процесса в описанном случае была равна примерно 10кГц. Подставив размер (15см) и частоту (10кГц) в выражение (1), получим $V_{ph}=1500\text{м/с}$. Эта скорость равна примерно половине от скорости распространения фронта упругих колебаний в оргстекле. Значит, получается, что при искусственном присоединении к объекту-нерезонатору зоны Δh , этот объект становится резонатором. Комбинированным резонатором.

Если слой-нерезонатор зажат между двумя слоями-резонаторами, то такая трехслойная структура будет резонатором комбинированного

миниовых обкладках $h_1=h_3=3\text{мм}$ и $h_2=10\text{мм}$, $V_{sh.m}\approx 3000\text{м/с}$ и $V_{sh.w}\approx 600\text{м/с}$: $T\approx 17,610^{-6}\text{с}$ или $f\approx 56\text{кГц}$.

Из изложенного материала следует очень важное следствие.

Мне долго не давал покоя следующий вопрос. Обнаружив, что породный слой проявляет свойства колебательной системы, я пришел к выводу, что Земля по акустическим свойствам является совокупностью колебательных систем. Затем, когда я выяснил, что ряд сортов угля входит в группу оргстекла, у меня возникло в этом сомнение. То есть, было непонятно, как будет вести себя поле упругих колебаний в земной толще, если она содержит как слои-резонаторы, так и слои-нерезонаторы. Теперь стало понятно, что независимо от того, какие породы залегают, земная толща всегда проявляет свойства совокупности колебательных систем. И то, что некоторые из этих колебательных систем являются комбинированными, ничего не меняет.

Материалом среднего слоя-нерезонатора комбинированной колебательной системы может служить и воздух. Так, кстати, реализуются многие музыкальные инструменты.

В литературе часто встречается описание такого фокуса, когда в результате воздействия громким голосом или с помощью музыкального инструмента разлетаются тонкие стеклянные стаканы. Физику этого явления можно рассмотреть с помощью генератора сигналов звуковых частот, стакана и пьезокерамического приемника. На рис. 3-6 показана блок-схема измерительной установки.

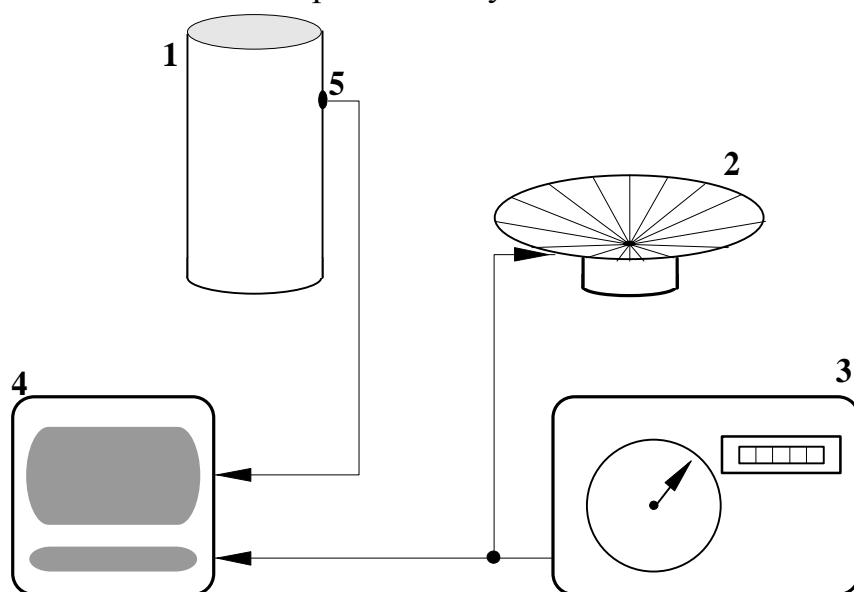


Рис. 3-6

Тонкостенный стеклянный стакан **1** находится в поле упругих колебаний, создаваемом динамиком **2**, который лежит рядом со стаканом. Динамик возбуждается генератором **3** (ГЗ-117), на передней панели которого находится регулировка частоты сигнала и цифровой измеритель частоты. Выходное напряжение с этого генератора подается на динамик **2** и на двухлучевой осциллограф **4** для контроля амплитуды этого напряжения. **5** – пьезокерамический приемник, приклеенный с помощью воска к стенке стакана. Напряжение, снимаемое с этого приемника, поступает на второй канал осциллографа.

На рис.3-7 показана частотная характеристика амплитуды сигнала, снимаемого с приемника **5**.

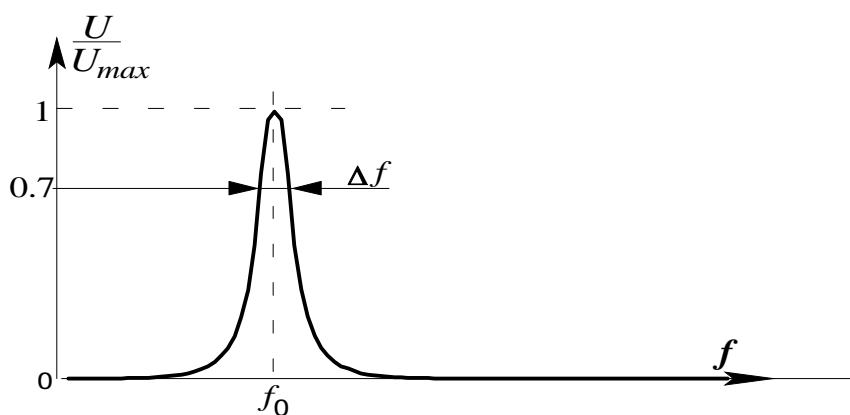


Рис. 3-7

Сама форма амплитудно-частотной характеристики является спектральным изображением синусоидального затухающего сигнала. То есть, форма этой характеристики показывает, что исследуемый объект является колебательной системой.

f_0 – собственная частота этой колебательной системы. Величина этой частоты определяется с помощью выражения (1), где h – диаметр стакана (толщиной стенок пренебрегаем). Диаметр его (h) равен 0,06м.

V_{ph} – фазовая скорость воздуха. Сейчас мы ее определим. $f_0=2.7$ кГц. Следовательно, V_{ph} воздуха равна 160 м/с. Это примерно половина скорости распространения звука в воздухе, которая равна 340м/с.

Далее, что касается разрушения стакана звуком. Разрушительное действие резонанса определяется добротностью колебательной системы. Физическая сущность добротности может рассматриваться с нескольких позиций. Одна из них – длительность звучания ударно возбуждаемой колебательной системы. Так, камертон очень долго звенит

при ударном на него воздействии. Его добротность Q составляет несколько тысяч. Если пальцами прикоснуться к вибрирующим усикам камертона, добротность резко упадет.

Добротность может быть определена несколькими способами. Например, в соответствии с рис.3-7, $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$. Для нашего случая, для стакана Δf – полоса частот на уровне 0,7 оказалась равной 38Гц. Следовательно, $Q=2700/38=70$. Это достаточно высокая добротность, но она значительно снижена тем, что к стакану приклеен пьезоприемник. Если бы его не было, добротность была бы гораздо больше, и стакан лопнул бы.

3.6. Выводы по главе 3

Реальные акустические свойства слоев-резонаторов кардинальным образом отличаются от тех свойств слоев, которые изложены в общепринятой научной и учебной литературе. Отличие звукопроводящих свойств следующие:

1. Упругие колебания, возникающие при сейсмоработах, распространяются не во всех направлениях, а только вдоль залегающих в земной толще слоев напластования;
2. Вдоль каждого слоя-резонатора распространяется не первичный, зондирующий импульс, а собственный этого слоя-резонатора колебательный процесс, который возбуждается зондирующим импульсом;
3. Скорость распространения поля упругих колебаний вдоль слоя-резонатора меньше или стремится к величине скорости поперечных волн V_{sh} (или V_{ph});
4. Затухание поля упругих колебаний, распространяющегося вдоль слоя-резонатора, чрезвычайно мало;
5. Поле, распространяющееся вдоль слоя-резонатора, не выходит за его пределы. По этой причине, оно может быть зарегистрировано только при непосредственном акустическом контакте с этим слоем;

И, наконец, главные для сейсморазведки выводы:

6. По акустическим свойствам, земная толща представляет собой не совокупность отражающих границ, а совокупность колебательных систем;

7. Эхо-сигналы, получаемые при сейсмоработах, приходят не снизу, из глубины, а сбоку, от границ тех слоев-резонаторов, вдоль которых распространяется сигнал от точки ударного воздействия.

Неоднократный повтор ряда утверждений имеет следующую причину. Когда я приходил к этим утверждениям, это для меня было сложно. Мое сознание сильно сопротивлялось этому, и мне приходилось многократно всё это доказывать самому себе. Повторяя по несколько раз одно и то же, я как бы даю понять, что это не оговорка.

Глава 4

Введение в метод ССП

Согласно основам методологии развития познания, бесполезных физических эффектов и явлений не бывает. Любой новый эффект обязательно вызывает создание нового исследовательского метода. Исследовательский метод, основанный на новом физическом эффекте, с одной стороны, требует для своей реализации создания принципиально новой аппаратуры, а с другой, является источником принципиально новой информации. А что есть принципиально новая информация? Опять же новый физический эффект, явление или свойство... Вот вместе с этим снежным комом и качусь я последние 40 лет. Только дух захватывает!

Любой геофизический метод должен быть источником вполне определенной информации. Так, например, электроразведочные методы служат для определения электросопротивления земной толщи. И параметры электроразведочной аппаратуры (мощность генератора, параметры приемника) должны соответствовать значениям реального электросопротивления.

Когда какой-то геофизический метод представляют как универсальный или, что то же самое, предназначенный для решения общегеологических задач, я так понимаю, что этот метод не дает вообще никакой информации. Для этого существуют примеры. Так, например, именно таким образом характеризуется традиционная сейсморазведка.

Очень часто последнее время я слышу такую же характеристику методам, использующим георадары...

Спектрально-сейсморазведочная аппаратура создавалась еще до того, как было ясно, какую информацию можно будет получать с ее

помощью. Первоначальные характеристики ее задумывались из общих соображений, исходя из того, что конечной информацией, получаемой с ее помощью, будет спектральный состав сейсмосигнала.

4.1. Принципы построения спектрально-сейсморазведочной аппаратуры

Существующая и общепринятая на сегодняшний день аппаратура для акустических измерений – лабораторная и сейсморазведочная – направлена на изучение эхо-сигналов. Создавалась она на основании чисто умозрительных представлений о свойствах поля упругих колебаний. То есть, без учета реальных, неизвестных ранее свойств поля упругих колебаний. И сейчас, когда эти свойства стали известными, оказалось, что существующая аппаратура непригодна для получения объективной информации.

Основным препятствием для использования существующей аппаратуры в спектрально-акустических измерениях является следующее.

Аппаратура, пригодная для осуществления спектрально-акустических (спектрально-сейсморазведочных) исследований, в первую очередь, не должна иметь спектральных искажений.

Надо сказать, что вообще-то отсутствие спектральных искажений декларируется для всей существующей сейсмоаппаратуры. Но, как оказалось, оно только декларируется...

На рис.4-1 приведена обобщенная схема сейсмоизмерений.

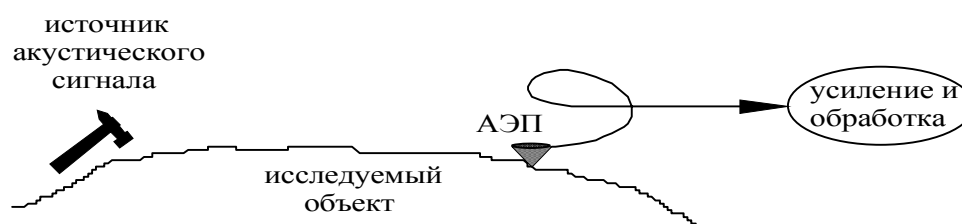


Рис. 4-1

В этой совершенно обычной сейсморазведочной схеме следует учесть, что исследуемый объект (земная толща) представляет собой не совокупность отражающих границ, а совокупность колебательных систем. Из этого сразу следует, что сейсмоприемник, а также вся аппаратура в целом должны обладать такими свойствами, чтобы при измерениях не возникала дополнительная колебательная система к уже

имеющимся в земной толще. Решить эту задачу удалось лишь после того, как был создан специальный сейсмоприемник.

4.1.1. Сейсмоприемник для спектральной сейсморазведки [7]

У меня часто спрашивают: какую лабораторию я создал бы в первую очередь, если бы у меня возникла такая возможность? Ну конечно, это была бы лаборатория сейсмоприемников. Нет ничего более интересного и таинственного...

Для того, чтобы при сейсморазведочных работах учесть и использовать выявленные свойства поля упругих колебаний, необходимо иметь пригодный для этого сейсмоприемник.

Главное требование к сейсмоприемнику для спектрально-сейсморазведочных измерений состоит в том, что он должен обеспечивать тождество спектров сеймосигнала в точке приема и электрического сигнала, снимаемого с сейсмоприемника. В переводе на человеческий язык, он должен иметь абсолютный слух. Или, на языке нашего повествования, он не должен иметь собственной колебательности.

Как следует из выше сказанного, для того, чтобы сейсмоприемник не имел собственной колебательности, в его состав не должны входить материалы группы стекла. Понятно, что никакие электромагнитные, электродинамические и, тем более, магнитострикционные системы такую задачу не выполняют. Далее, чувствительным элементом такого сейсмоприемника не может быть и пьезокерамика. Ситуация, казавшаяся безвыходной, разрешилась удивительно просто. В качестве чувствительного элемента или, иначе говоря, акустоэлектрического преобразователя (АЭП) была применена пьезопленка.

Пьезопленка – это, по механическим свойствам – как бы полиэтилен, который по акустическим свойствам относится к материалам ряда оргстекла. Таким образом, удалось создать сейсмоприемник, целиком состоящий из материалов ряда оргстекла, что и требовалось для того, чтобы сейсмоприемник не имел собственной колебательности.

Что касается преобразовательных свойств пьезопленки, то так сложилось, что общепринятая точка зрения об их свойствах оказалась ошибочной. Считается, что чувствительность пьезопленки настолько мала, что применять ее в акустических измерениях нецелесообразно.

Как оказалось при лабораторных исследованиях, значения акустоэлектрического коэффициента пьезопленки (это как бы чувствительность) не слишком отличается от такого же коэффициента пьезокерамики. Повышенная (относительно пьезопленки) эффективность пьезокерамики оказалась кажущейся, за счет ее резонансных свойств.

Важнейшим моментом в создании сейсмоприемника для спектрально-сейсморазведочных измерений была разработка метода его калибровки. Идея метода калибровки заключается в том, что сейсмоприемник вводят в контакт с объектом, собственные частоты которого известны, и проверяют соответствие спектра сигнала, возникающего при ударном возбуждении объекта, известному спектру объекта. Идеальным объектом для калибровки является сплошной стеклянный шар.

Сплошной стеклянный шар имеет одну-единственную собственную частоту, определяемую его диаметром, в соответствии с соотношением (1). Прикладывая к этому шару различные сейсмоприемники, мы получим различные частоты. Так, шар диаметром 50мм при контакте с пьезопленкой показывает собственную частоту 61кгц. Это соответствует скорости $V_{ph}=3050\text{м/с}$, что подтверждается путем использования эффекта АРП. А если к этому шару приложить пьезокерамику, то нам покажется, что частота шара равна 54,5кгц. То есть, налицо искажение спектра, которое возникло из-за того, что пьезокерамика имеет собственную колебательность.

Далее, даже если сейсмоприемник на основе пьезопленки и не имеет собственных частот, то когда он прижат к земле (что необходимо во время работы), у него могут появиться собственные частоты. Это зависит от того, чем он прижат и как. Здесь существуют некоторые тонкости, которые можно показать только в процессе работы.

Мы по-прежнему не можем назвать чувствительность этого сейсмоприемника, но это и не нужно, так как вопрос чувствительности аппаратуры решается экспериментально, при проведении измерений в реальных условиях.

4.2. Аппаратура обработки сигнала

Аппаратура обработки сейсмосигнала представляет собой спектроанализатор, и он постоянно совершенствуется в соответствии с

развитием элементной базы и цифровой техники. Вначале это был последовательный спектроанализатор на основе двойного моста Вина, теперь же, с приходом эры компьютеров, аппаратура представляет собой АЦП, работающий совместно с компьютером. Программное обеспечение позволяет получать результат непосредственно во время полевых измерений.

Как показал анализ существующих сейсмостанций, искажение спектра в них происходит не только из-за сейсмоприемников, но и в усилительном тракте. Не будем разбирать причины этого. Главное, что аппаратуру спектрально-сейсморазведочного профилирования следует проверять всю, от сейсмоприемника и до индикатора на предмет спектральных искажений. Правильно сказать – поверять (метрологическая поверка), а не проверять. Но создание этой методики потребует больших сил и высокой квалификации поверителей.

4.3. Методика ССП

Назначение метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) – дать разрез земной толщи на основании спектров сейсмосигналов. При этом напрямую используются два физических эффекта:

Первый эффект заключается в соответствии значений собственных частот гармонических составляющих сейсмосигнала мощностям геологических структур согласно выражению (1). Учет этого эффекта определяет построение аппаратуры и программы спектрального преобразования сигнала и пересчета собственных частот в соответствующие мощности.

Второй эффект имеет непосредственное отношение к логике интерпретации. Он заключается в том, что, согласно выявленным свойствам слоя-резонатора, собственный его колебательный процесс можно выявить только при непосредственном контакте сейсмоприемника с этим слоем. Отсюда следует, что если исследуемый массив многослойный, то с помощью метода ССП возможно увидеть только те структуры, которых касается сейсмоприемник, как это показано на рис.3-2. Согласно схеме расположения границ, приведенной на этом рисунке, с помощью спектрально-сейсморазведочного профилирования можно выявить мощности слоев h_1 , h_{12} , h_{123} . Всех остальных

структур сейсмоприемник, находящийся на дневной поверхности, непосредственно не касается, и поэтому они (h_2, h_3, h_{23}) выявлены быть не могут.

Мы здесь говорим о плоско-параллельных структурах. Но на самом деле, речь может идти о любых объектах. Например, о плоско-параллельных структурах с как угодно малой протяженностью.

Иллюстрирует метод рис.4-2, на котором приведена схема перехода от сеймосигнала к разрезу исследуемого массива.

На рис.4-2а показан произвольно взятый, из полученных при измерениях, сеймосигнал на оси времени. С помощью преобразования Фурье любой процесс, изменяющийся во времени, может быть изображен на оси частот или, иначе говоря, в спектральном виде. На рис.4-2б приведено спектральное изображение того же самого сеймосигнала. Спектральное изображение эквивалентно временному, но при этом дает большее разрешение по частоте, которое не зависит от количества гармонических составляющих в сигнале.

На спектральном изображении видны гармонические составляющие сеймосигнала с частотами: 33 Гц; 71 Гц; 114 Гц. Пересчет с помощью основной формулы спектральной сейморазведки (1) позволяет провести еще одну ось абсцисс - ось глубин (h), и тогда спектрограмма приобретает смысл разреза. В связи с обратной пропорциональной зависимостью между частотой и соответствующим ей размером равномерной может быть только одна из осей абсцисс. Поскольку основная для нас информация – это глубины h , то равномерной делаем ось глубин. Неравномерность оси частот приводит к тому, что с увеличением глубины разрешающая способность метода уменьшается.

По оси ординат отложена величина плотности спектра $A(f)$. Значения экстремальных значений плотности спектра имеют смысл добротности Q , и для всех гармонических составляющих (в данном примере) лежат в пределах от 5 до 20.

Разрез естественно строить при вертикальном положении оси глубин. Поэтому спектральное изображение сеймосигнала поворачиваем на 90 градусов так, как это показано на рис.4-2с. Кроме того, из соображений удобства визуализации кривую спектрального изображения целесообразно дополнять симметричной ей кривой и получившуюся фигуру зачернять.

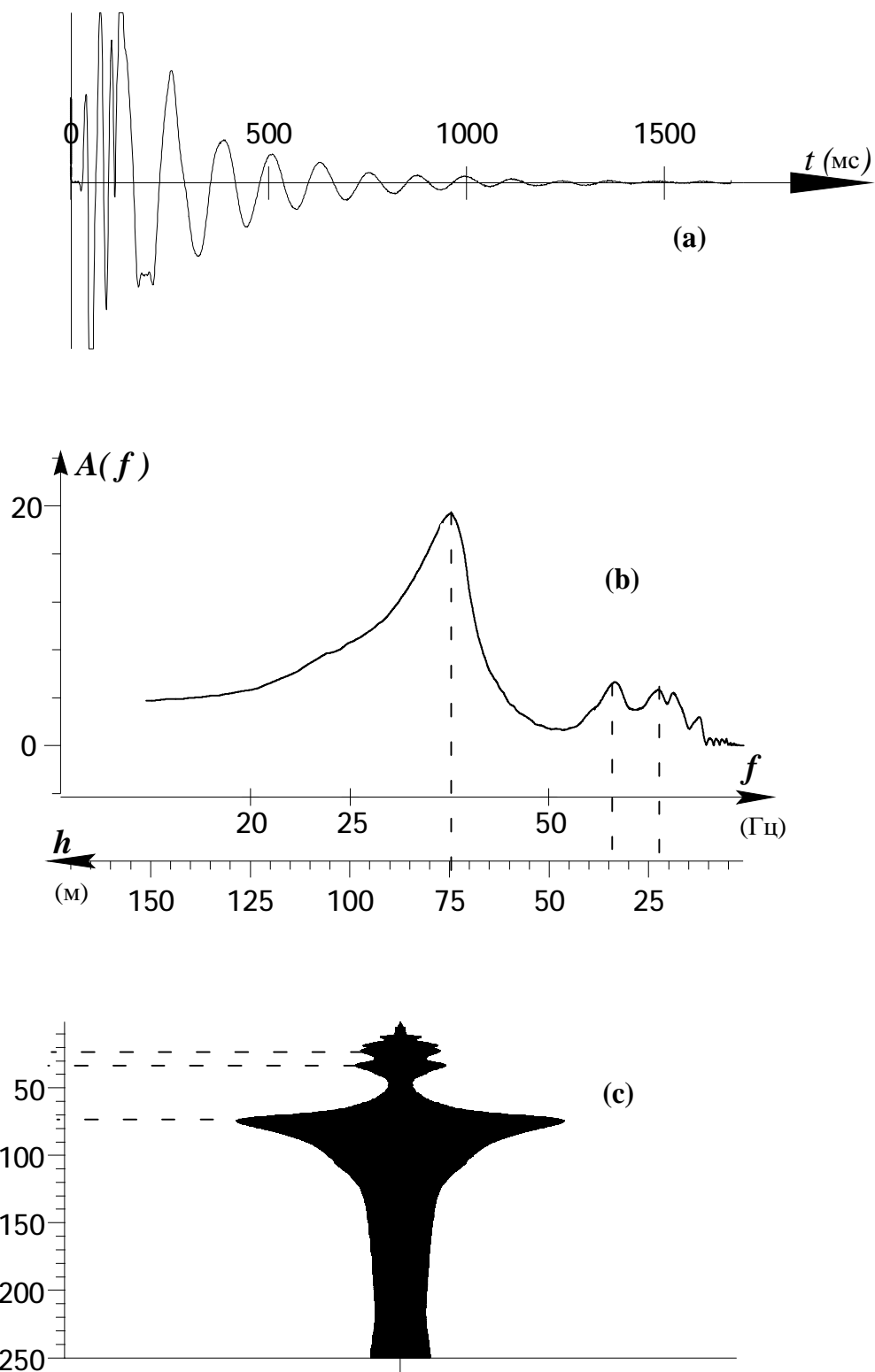


Рис. 4-2

Различие по величине добротностей гармонических составляющих сейсмосигнала соответствует различию характера сцепления пород по каждой из границ. Так, на глубине 75 м граница наиболее четкая, то есть с наименьшим сцеплением между породами. Далее, с приближением к поверхности четкость границ спадает, а на глубинах,

меньших 25м идет слоистый участок. А возможно, что не слоистый, а участок повышенной нарушенности.

Более определенно можно классифицировать выявляемые границы и даже давать им геологическое истолкование при многократных сейсмоизмерениях, смещая место измерения от точки к точке. То есть путем спектрально-сейморазведочного профилирования (ССП).

Здесь очень важно понимать, что изображение спектра сейсмосигнала в одной точке не имеет геологического смысла. Геологический смысл возникает при наличии рисунка. То есть в случае совокупности нескольких спектральных изображений сейсмосигналов.

На рис.4-3 приведен ССП-разрез, полученный при профилировании в южной части Ленинградской области, где возможны появления карбонатных пород.

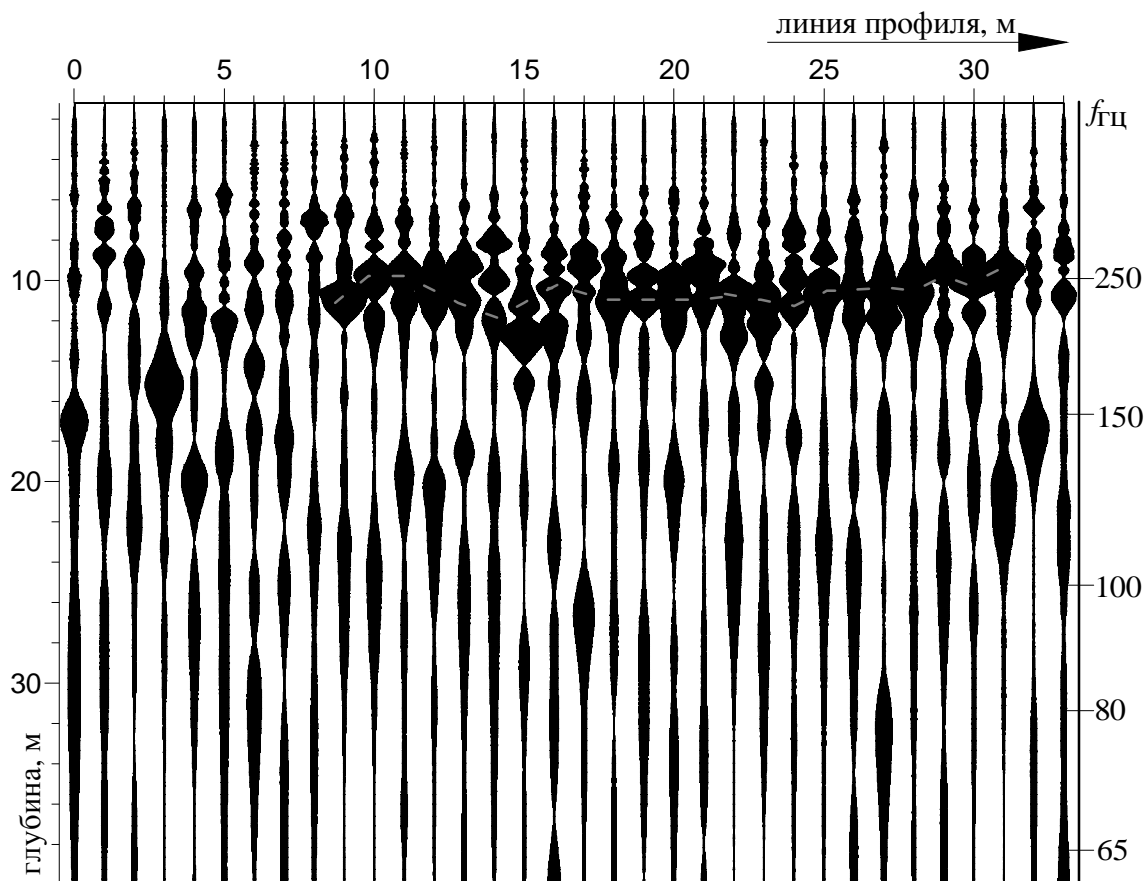


Рис. 4-3

ССП-разрез, приведенный на рис.4-3, представляет собой совокупность спектров сейсмосигналов, полученных при измерениях с шагом 1м. Разрез имеет две оси ординат, связанные между собой главным расчетным соотношением при $V_{ph}=2500\text{м/с}$.

На ССП-разрезе видна субгоризонтальная граница на глубине около 10м. Эта граница выделена серой штриховой линией. Она соответствует местонахождению кровли карбонатной толщи. Здесь важно то, что никакими другими методами эту информацию получить невозможно. Бурение дает точечный результат, а частое бурение – вероятно дорого.

При анализе результатов исследований с помощью ССП нужно обратить внимание на следующее. ССП-разрез представляет собой, по сути, совокупность спектральных изображений сейсмосигналов. То есть, совокупность исходной, первичной информации. Получается, что конечная информация – разрез – жестко, с математической точностью, однозначно, без участия интерпретаторов связана с первичной информацией, получаемой в поле.

Подобной однозначности прочтения не существует ни для какого другого геофизического метода.

4.4. Геологический смысл границ при ССП

Геологический разрез, в общем виде, представляет собой описание земной толщи с указанием залегающих в ней пород. Геологи на основании изучения керна выявляют и разделяют породы земной толщи по вещественному составу, по их механическим параметрам, по цвету... До сих пор считалось, что изучение керна – это самый надежный метод описания горных пород. Однако, как оказалось, при выбуривании керна безвозвратно теряется очень важная часть информации.

При использовании метода ССП в угольных шахтах неоднократно возникала ситуация, когда границы, выявленные с помощью этого метода, не подтверждались при изучении керна. То есть, границы, выявленные ССП, оказывались неизвестными геологам. Кто занимается геофизикой, знает, насколько драматична подобная история. Особенно болезненным оказалось это расхождение при исследовании первых метров от обнажения породной толщи кровли угленосного массива, так как именно эта часть породной толщи главным образом влияет на устойчивость кровли.

Поскольку сам характер ССП-разреза не допускает неоднозначности интерпретации, то в ошибку не верилось. И пришлось прибег-

нуть к крайней мере – изучать породы кровли в обрушенном пространстве. Сегодня, спустя столько лет, уже можно признаться, что для того, чтобы увидеть процесс разрушения пород кровли, я проник в обрушенное пространство для изучения обрушившихся пород кровли. При этом оказалось, что на самом деле, в обрушенных породах присутствует множество границ, информация о которых в геологическом описании керна отсутствовала. Границы эти представлены углистыми, мергелистыми, слюдяными прослоями, а также поверхностями, образованными плоскостями скольжения.

Общее у этих, выпавших из описания керна границ то, что ни бурением, ни какими-либо геофизическими методами они не могут быть обнаружены. Все они являются поверхностями ослабленного механического контакта (ОМК). При бурении скважины керн в тех местах, где он пересекается поверхностью ОМК, обязательно ломается, материал прослоя немедленно истирается за счет вращения обломка и вымывается промывочной жидкостью, и причина излома керна остается неизвестной. [8]

Анализ границ, выявленных при визуальном исследовании пород кровли в обрушенном пространстве, который был сделан совместно с описанием керна вблизи от исследования с помощью ССП, показал, что в общем случае, метод ССП выявляет те границы, которые являются поверхностями ОМК.

Поверхности ОМК – это поверхности, по которым не происходит «склеивания» соседних пород, не происходит взаимной диффузии соседствующих материалов. Это сомкнутые трещины, а также плоскости или плоские структуры, по которым имеет место повышенная микронарушенность.

Такого рода границы никогда раньше не подлежали выявлению и исследованию неразрушающим методом. И, таким образом, метод ССП является первым (и пока единственным) геофизическим методом, пригодным для выявления поверхностей ОМК - поверхностей фактического и (или) потенциального расслоения пород – независимо от их природы.

Вернемся к рис.4-3. Граница, помеченная серой штриховой линией – это граница между осадочными терригенными и карбонатными породами. Эти два типа пород не диффундируют друг в друга, между

ними возможно проскальзывание, почему и выявляется граница между ними с помощью ССП.

Границы между терригенными и карбонатными породами – это, пожалуй, единственные чисто геологические границы в осадочных породах, которые могут быть надежно идентифицированы методом ССП. Границы в терригенных породах методом ССП вне ЗТН, как правило, не выявляются, поскольку переход от одной терригенной породы к другой происходит плавно, с взаимной диффузией соседних пород. Исключение составляют случаи, когда профиль ССП пересекает Зоны тектонических нарушений. Но об этом – позже.

Чем свободнее границы, тем выше добротность регистрируемых сигналов. Именно такие границы, выявляемые с помощью ССП – это следы подвижек. Как оказалось, в результате подвижек, на ССП-разрезах проявляются границы между породами, различающимися по прочности. Так, в зонах подвижек и изгибов породных слоев, сильно проявляются границы между прочными песчаниками и, скажем, аргиллитами, которые в результате подвижек превращаются в сыпучий материал. Следы подвижек – это обычно наклонные границы, и по этой причине добротность сигналов, полученных от наклонных границ, оказывается больше, чем от горизонтальных. На ССП-профилях большие добротности проявляются большей зачерненностью.

Аппаратура и методика ССП позволяет получать информацию, которой раньше никогда не было. И таким образом, на сегодняшний день не существует метода, с помощью которого можно было бы напрямую проверить достоверность этой, получаемой с помощью ССП, информации. Должен сказать, что это очень непростое дело – использовать непроверяемый метод.

Но с другой стороны, ведь это неизбежно в физике. Когда был создан рентгеновский метод исследования, он тоже проверялся только на операционном столе. Я представляю себе, какая ответственность была на первых рентгенологах.

Думаю, что в такой ситуации самое главное – выполнение известных метрологических принципов. Любое сомнение должно разрешаться повтором измерений. И что, я полагаю, самое важное – это осуществление постоянного контроля характеристик аппаратуры. Чтобы сейсмоприемник не искажал спектр. Чтобы АЦП не вносил ис-

кажений в спектр. Ну, и чтобы в обсуждении результатов участвовало, по возможности, большее количество людей, заинтересованных в получении непредвзятой, объективной информации.

Первоначально, при написании этого раздела я привел подробные характеристики применяемых в аппаратуре ССП схем и программ. Однако уже за время написания данной работы описанная аппаратура морально устаревала. При той скорости развития элементной базы, которое происходит в Море, приведение принципиальных схем в публикациях бессмысленно. Главное, что если понять основные принципы построения аппаратуры, то ее можно реализовать множеством различных способов. Здесь как с телевизорами или радиоприемниками, в которых за время их существования многократно изменялась элементная база при неизменности их принципа действия и, в конечном итоге, результатов.

Глава 5

Зоны тектонических нарушений

5.1. Первое ознакомление с объектом

В 1993 году мы прекратили свою работу в ленинградском Горном институте, а заодно, завершили свою 16-летнюю работу в условиях угольных шахт. Время в РФ, кто помнит, было сложное. Заводы, институты и прочие организации исчезали, и была, просто-напросто, изрядная безработица. Ну, а мы, так уж сложилось, кроме исследования горных пород из подземных выработок с помощью специально созданной нами для этого аппаратуры, ничего делать толком не умели. Как могли, мы сопротивлялись обстоятельствам, и прежде чем уйти работать в ларек или в охрану, решили посмотреть, что может дать эта наша шахтная аппаратура при работе с земной поверхностью, с травки.

Для этого мы наметили себе, прямо в Петербурге, километровый профиль вдоль Торфяной дороги, от Серафимовского кладбища до Богатырского проспекта. Приступая к какой-либо работе, мы, естественно, как-то оцениваем, предполагаем, что из этого может получиться. В данном случае, ничего хорошего для себя мы не видели. В самом деле, если в шахтных условиях, на больших глубинах мы имели дело с четкими границами между отдельными породами, то при работе с поверхностью ни на какие границы рассчитывать не приходится. Супеси,

суглинки – это материал, вообще не содержащий никаких логичных границ. И тем не менее, мы сделали этот профиль.

И еще раз я убедился, что ценность эксперимента всегда несравнимо больше любых гипотез, любых рассуждений. На километровом профиле наряду с очень слабой слоистостью, естественной для осадочных пород, обнаружили четыре более или менее геометрически подобных объекта. Эти объекты имели вид как бы воронок. Или, иначе говоря, воронкообразных (V-образных) структур. Они имели вид, подобный показанному на рис.5-1.

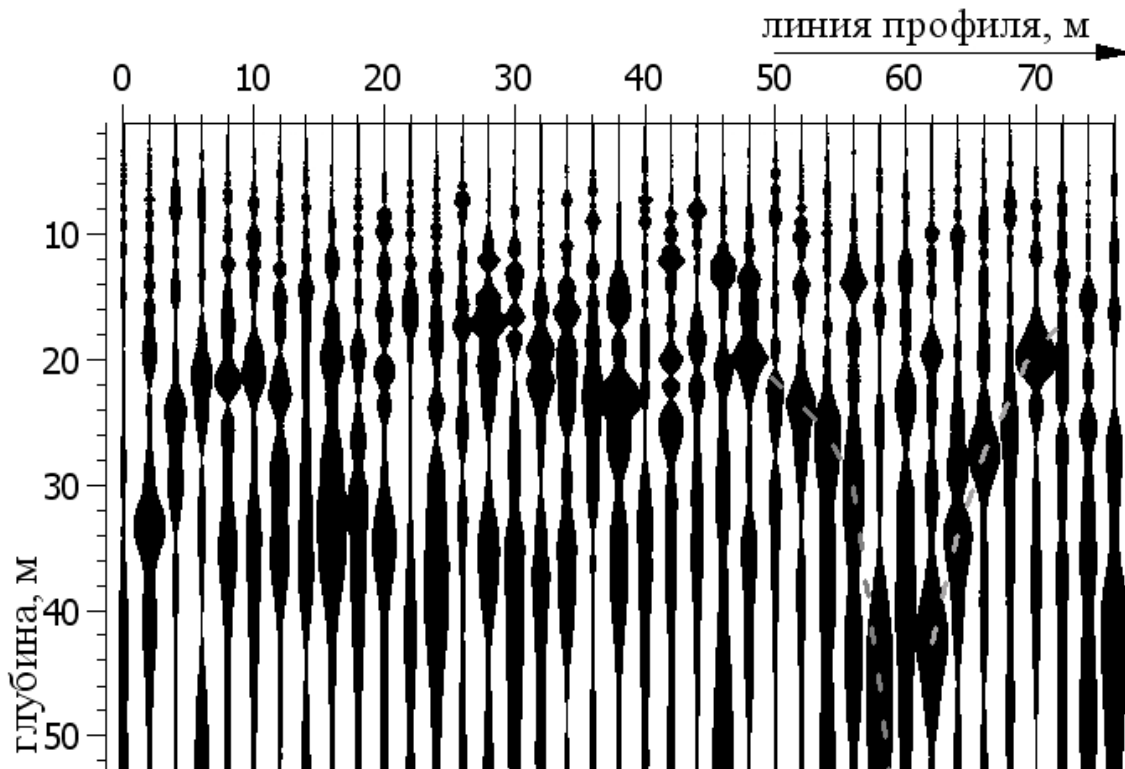


Рис. 5-1

За консультациями по этому поводу мы обращались к геологам и геофизикам, но ничего подобного никто из них не видел. Однако когда сделали радоновую съемку по этому профилю, то оказалось, что над каждой из воронок уровень радона многократно превышает фоновый. На этом основании мы назвали такие зоны зонами тектонических нарушений.

Однако превышение концентрации радона – это единственное совпадение с тектоническими нарушениями, о которых можно узнать из весьма многочисленной учебной и научной литературы. И только спустя несколько лет мы поняли, что вся информация о тектонике, вся

наука о тектонике – это результат огромного количества гипотез, и не имеет под собой ни одного экспериментального подтверждения.

Достаточно сказать, что единственным подтверждением научных изысканий по тектонике являются... результаты сейсморазведки. К этому времени я уже понимал, что сейсморазведка не может служить источником никакой информации. Чтобы был ясен смысл сказанного, прочтите приложение в конце книги.

На сегодняшний день можно сказать ответственно, что ССП является единственным аппаратным методом, с помощью которого возможно выявление и изучение зон тектонических нарушений (ЗТН). Понятно, что такое заявление может быть воспринято весьма неоднозначно. Но, если есть еще какой-нибудь метод, позволяющий выявлять ЗТН, то как же до сих пор не было обнаружено ни одного свойства этих зон?!

5.2. Свойства зон тектонических нарушений [9]

Все приведенные ниже свойства ЗТН обнаружены с помощью метода ССП.

5.2.1. ЗТН как признак разрушения сооружений

Может быть, мы бы и не придали такого значения воронкообразным объектам, случайно выявленным в 1993 году. Но дело в том, что, как оказалось, все 4 дома, оказавшиеся в непосредственной близости от тех четырех воронок, которые прорисовались на ССП-разрезе, находились в состоянии разрушения, что можно было увидеть невооруженным глазом. В стенах этих домов были вертикальные и косые, между углами переплетов окон, трещины. Рядом с этими домами проваливался асфальт. В удалении от этих объектов никаких разрушений видно не было.

Такое случайное совпадение вряд ли возможно, и мы стали изучать это явление. Мы профилировали рядом с домами, имеющими признаки разрушения, и обследовали стройплощадки с тем, чтобы посмотреть, будет ли проявляться в построенном доме влияние выявленных там ЗТН. Статистика оказалась впечатляющая. Наличие разрушений соответствовало наличию ЗТН практически повсеместно.

Это было первое обнаруженное нами свойство ЗТН. Оно заключается в том, что в зонах тектонических нарушений разрушаются лю-

бые инженерные сооружения. Будь то инженерные сооружения, находящиеся на поверхности или в подземном пространстве. В этих зонах разрушаются даже сами горные породы.

Однако сообщения об этом, которые я делал в журналах, на конференциях и в СМИ, воспринимались очень отрицательно. Главная причина заключалась в том, что ЗТН, выявляемые с помощью метода ССП, очень непохожи на те тектонические нарушения, которые описаны в литературе.

5.2.2. О методах выявления ЗТН

Очень возражали против наших работ геофизики. Дело в том, что как указывается в учебниках по геофизике, тектонику «видят» все геофизические методы, и метод ССП они считали как бы лишним.

Мне это показалось странным. Ведь лишних исследовательских методов не бывает. Каждый метод видит исследуемый объект со своей стороны, и чем больше методов, тем более разносторонним, в конце концов, будет видение этого объекта. Но на деле всё оказалось иначе. Дублируя наши измерения с исследованиями, осуществленными с помощью других методов, я убедился в том, что никакой другой геофизический метод зоны тектонических нарушений не выявляет. Дело в том, что любую непонятную аномалию геофизики объясняют именно наличием тектоники, поскольку ни подтвердить, ни опровергнуть это было невозможно. Понятно, что когда появился метод, однозначно регистрирующий ЗТН, то это как бы несколько уменьшило возможности других геофизических методов.

Более других сопротивлялся метод космодешифрирования. Во всех учебниках утверждается, что космодешифрирование является самым эффективным методом выявления тектоники. Я пытался выяснить для себя, как происходит само дешифрирование космических снимков. Однако ни один специалист в этой области не согласился на то, чтобы это мне показать. Тогда, получив заказ на изыскания по кольцевой автодороге вокруг Санкт-Петербурга, мы часть средств, полученных на выполнение этой работы, использовали на то, чтобы заказать ВНИИКАМу (институт космоаэрометодов) работу по космическому выявлению ЗТН там, где мы работали.

Условие, которое мы поставили исполнителям – это предъявлять результаты работы Заказчику (Ленгипротранс) одновременно со сдачей нашего отчета. То есть, чтобы у них до этого не было информации о наших результатах.

При сдаче отчетов (нашего и ВНИИКАМа) оказалось следующее. На картах, полученных при космодешифрировании, было нанесено множество отрезков прямых линий, так называемых линеаментов, ориентированных в различных направлениях. Вот как объясняется понятие линеамента в энциклопедии:

Линеамент (от лат. *lineamentum* — линия, контур), 1) выдержанные по направлению прямолинейные элементы рельефа и ландшафта, обычно связанные с трещинами и разломами земной коры. 2) Крупнейшие, глобального значения, зоны разломов, мегалинеаменты (по Е. Хиллсу, 1967). См. Глубинные разломы.

Вот так! Не больше, не меньше. Но как они об этом узнали, и как это делается на практике? Ведь линий этих, линеаментов - много, и практически любой ориентировки. Оказывается, всё очень просто. При наличии информации о тектонике выбирается тот линеамент, который этой информации соответствует. А остальные не учитываются. Как если бы их и вовсе не было.

Позже я выяснил, что если дать задание нескольким специалистам по космодешифрированию, то при исследовании одной и той же территории каждый из них даст свою информацию, никак не связанную с информацией, полученной другими специалистами. Думаю, что и в этом случае комментарии не нужны.

Но здесь есть еще один момент. Вот я написал фразу: «При наличии информации о тектонике...». А откуда может быть получена такая информация? Только от геологов. Опытный геолог методом осмотра вертикального обнажения или шурфованием, в принципе, может выявить тектоническое нарушение. Но опыт 20-летних работ с аппаратурой ССП и сравнения с работами геологов показывает, что эффективность выявления тектонических нарушений геологическими методами крайне невысока.

При пересечении профилем ССП зоны тектонического нарушения вид объекта зависит от угла, под которым эта зона пересечена. На рис.5-1 воронкообразный объект имеет более или менее симметрич-

ную форму. Это значит, что ССП профиль пересек ЗТН примерно под прямым углом. В случае острого угла воронка становится существенно несимметричной, а в том, случае, когда профиль идет вдоль ЗТН, ССП-разрез содержит горизонтальные или субгоризонтальные образующие.

Часто зона тектонического нарушения проявляется не симметричным V-образным объектом, а только одной его образующей. Причина различия формы ЗТН в различии геологического строения. V-образный объект возникает в случае бессдвигового разрывного нарушения, тогда как одна образующая соответствует наличию сдвига (сброса или взброса). У этих двух разновидностей нарушений весьма различно воздействие на инженерные сооружения. Сброс воздействует на сооружение значительно более сокрушительно, чем бессдвиговое нарушение. Так, наличие сброса под железобетонной плитой плавающего основания однозначно приводит к тому, что плита эта обязательно лопнет.

И еще одна причина неприятия выявляемых методом ССП зон тектонических нарушений. Дело в том, что считается, будто все объекты тектонического происхождения имеют очень большие, исчисляемые многими километрами, размеры. Сейчас, после многих лет исследований можно утверждать, что размеры реальных ЗТН, выявляемых с помощью аппаратуры ССП, находятся в пределах от единиц метров и до единиц километров. Они разбросаны хаотично, и могут находиться как весьма близко одна от другой, так и далеко.

5.2.3. О разрушении горных пород в ЗТН

В результате общения с геологами было выяснено, что иногда бывают такие случаи, когда потери керна при бурении достигают 100%. Как рассказывают геологи, бывает так, что буровой инструмент при бурении не встречает сопротивления, и, более того, может проваливаться даже на километровых глубинах. О таких случаях при бурении даже рассказывать никому нельзя, потому что считается, что такого не может быть.

При проверке таких случаев выяснялось, что это происходит тогда, когда скважина оказывается в ЗТН.

На практике, когда потери керна при бурении превышают допустимые, буровики, чтобы не получить взыскание, приносят куски керна от соседних скважин. К сожалению, это не только российская практика.

То есть, следующее свойство ЗТН заключается в том, что не только инженерные сооружения (ИС), но и горные породы в ЗТН на всю глубину тектонического нарушения находятся в весьма разрушенном состоянии.

Грунт, сформированный разрушенными горными породами, имеет пониженную несущую способность. Понятно, что часть фундамента сооружения, которая попала в ЗТН, будет погружаться в такой вот разрушенный грунт. Проваливающиеся крылечки и веранды, проваливающаяся крыша, наклон домов, постоянно возобновляющиеся углубления в земной поверхности – это всё следствия пониженной несущей способности грунта вследствие разрушенного грунта и горных пород в ЗТН.

Но здесь остается ряд неясностей. Непонятен механизм разрушения любых объектов в ЗТН. То, что дома наклоняются, частично погружаясь в зоны с пониженной несущей способностью – это понять можно. Но наклон – это еще не разрушение. Что за сила, которая именно разрушает, разламывает сооружения? Вот на рис.5-2 показано здание управления портом СПб.



Рис. 5 -2

Какая сила его так разворотила? Таких примеров, когда сооружение находится в подобном состоянии, можно привести сколько угодно.

И еще вопрос. При формулировании этого свойства было сказано: «горные породы в ЗТН на всю глубину тектонического нарушения находятся в весьма разрушенном состоянии». Так какова же эта вся глубина тектонического нарушения? В дальнейшем мы увидим ответы на эти вопросы.

5.2.4. Планетарная пульсация

Перед геодезистами уже много лет стоит одна загадка. Одной из решаемых ими задач является установка точек триангуляционной сети. Точность определения местонахождения этих точек при использовании современных приборов может достигать единиц миллиметров. Но вот есть на Земле такие зоны, где эта точность падает в десятки раз, вплоть до десятков сантиметров. Причина этого явления заключается в том, что в этих зонах грунт находится в состоянии постоянных колебаний. Понятно, что координаты этих точек могут быть определены с погрешностью, зависящей от амплитуды этой пульсации. [10]

Явление это носит название планетарной пульсации, и как оказалось, наблюдается оно исключительно в зонах тектонических нарушений. Амплитуда этой пульсации может достигать 10 см и более, но визуально это явление зарегистрировано быть не может, так как период колебаний очень велик, и может достигать несколько минут. Источник планетарной пульсации неизвестен, но понятно, что находится он где-то на колоссальных глубинах.

Планетарная пульсация – принципиально нестабильное явление. Как период ее, так и амплитуда всё время изменяются в очень широких пределах. Во время профилирования с помощью аппаратуры ССП время от времени можно встретиться с этим явлением. Это выглядит как периодический сверхнизкочастотный сигнал с колоссальной амплитудой. Продолжать работать при этом невозможно, и до того, как стало понятно происхождение этого сигнала, мы каждый раз были уверены, что это результат выхода из строя нашей аппаратуры. Однако при возвращении на это же место, где был остановлен профиль, на следующий день, никаких следов пульсации не оказывалось. Теперь, когда мы сразу распознаем эту ситуацию, мы специально каждое такое место обследуем на предмет наличия ЗТН. И каждый раз наличие этой зоны подтверждается.

А теперь представим себе, что часть фундамента сооружения опирается на неподвижный грунт, а часть – на подвижный. Очевидно, на границе между этими двумя состояниями в фундаменте возникнут знакопеременные напряжения, вид которых определяется ориентацией движения частиц грунта в ЗТН. Это могут быть напряжения изгибные, разрывные и на срез. Поскольку движения частиц грунта в ЗТН носят хаотичный характер, все эти виды напряжений будут попеременно действовать на фундамент, что приведет к его разрушению.

Здесь сразу видно одно важное следствие, которое заключается в том, что разрушения сооружений начинаются с фундамента. Понимание этого дает возможность правильно оценивать состояние сооружения и прогнозировать ситуацию.

Вид разрушения сооружения под воздействием ЗТН определяется многими факторами. Существенным фактором является соотношение размеров ЗТН и фундамента. Весьма сокрушительное действие оказывают ЗТН, занимающие половину фундамента сооружения. При этом

возникает вертикальная трещина, проходящая через его середину, и дом буквально рвется пополам.

Может так оказаться, что фундамент дома попал в ЗТН в условиях, когда кровля гранита подходит практически к земной поверхности. К граниту у строителей обычно очень уважительное отношение. Считается, что когда кровля гранита залегает в непосредственной близости к земной поверхности, грунт является идеальной опорой для любого инженерного сооружения.

На рис.5-3 приведен ССП-разрез, полученный при профилировании в непосредственной близости от стены средней школы в городе Высоцке Выборгского района Ленинградской области. Дело в том, что в 1997 году здание этой школы внезапно стало разрушаться по непонятной причине. Мы попали в комиссию с представителями МЧС и с помощью метода ССП обследовали территорию, примыкающую к этой школе.

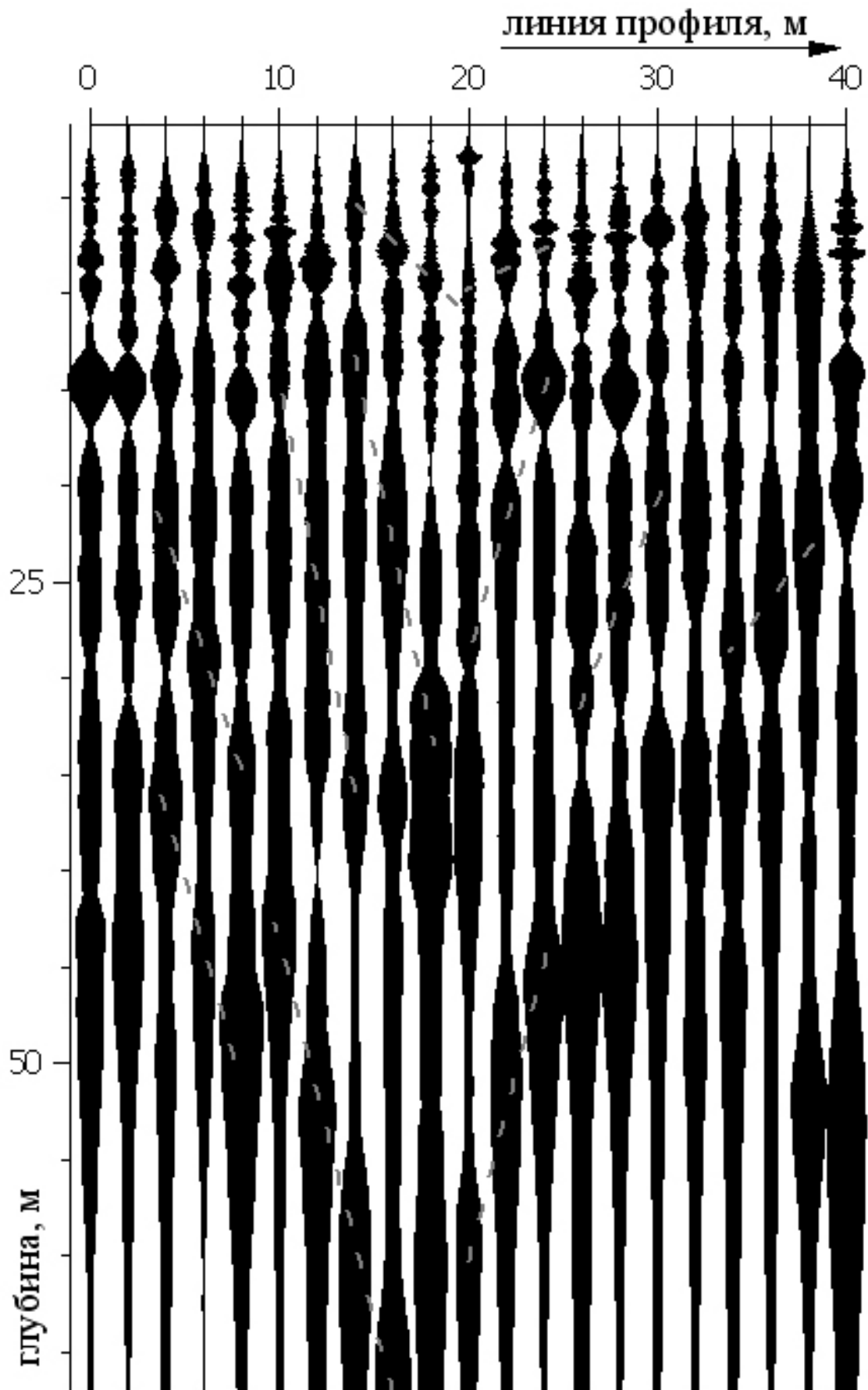


Рис. 5-3

Система образующих V-образных объектов, характерных для ЗТН, показана на этом рисунке серыми штриховыми линиями. Проседание грунта, вызванное подвижками, идущими по этим образующим, разрушило и увлекло за собой здание школы.

В случае, если сооружение целиком оказалось в ЗТН, возникает как бы его раскачка. При этом раскрываются все швы, выходят из зацепления балки, обрушаются перекрытия и падают крыши. При таком разрушении начало аварии видно по возникающим трещинам в полу. Так, в 2006 году рухнула крыша в гипермаркете в Чехии. Непосредственно перед аварией стали раскрываться трещины в полу. Комиссия, разбиравшая причины аварии, пришла к выводу, что крыша обрушилась, не выдержав веса выпавшего снега, а трещины в полу свидетельствуют о небрежном отношении владельцев к состоянию сооружения, за что их и осудили.

В феврале 2006 года обрушилась крыша Басманного рынка в Москве. Непосредственно перед аварией лопнули трубы холодной и горячей воды, проложенные под полом. Ну естественно, ведь все разрушения инженерных сооружений инициируются подвижками грунта.

Тогда же, в феврале 2006 года обрушилась крыша в аквапарке в Ясенево. Как всегда в таких случаях, причина была не найдена. Кого и что только не обвиняли. Только не заметили трещину в плите, которая служила основанием для всего сооружения. Настолько представлялось немыслимым, чтобы лопнула железобетонная плита толщиной 70см, что на эту трещину просто не обратили внимания. Насколько мне известно, аквапарк восстановили, причем он остался стоять в том же месте и на той же плите. Надо полагать, что условие для обрушения крыши никуда не делось.

Вообще, замечено, что подобные разрушения происходят как бы пачками, практически в одно и то же время. Причина этого состоит в том, что планетарная пульсация затихает и усиливается одновременно на всей Земле.

В этом можно убедиться, если набрать в поисковике «обрушение крыши». Там, кроме уже перечисленных, обнаружится еще множество обрушений, происшедших в 2006 году, во всех частях Света.

После ряда экспериментов, о которых речь впереди, стало понятно, что планетарная пульсация – это не просто одно из свойств ЗТН, а

механизм формирования этих зон, этих, по сути, каналов, соединяющих поверхность Земли с ее ядром.

5.2.5. Водоносность ЗТН

В 1997 году было обнаружено, что при заглаблении в ЗТН можно получать воду.

Информация о том, что воду можно получать из трещин в граните, у гидрогеологов есть. Они ее так и называют – месторождение воды трещинного типа. И первый раз мы как раз и дали именно такую воду. Трещину в граните с помощью ССП обнаружить нетрудно. Так, на рис.5-4 показана такая трещина, найденная на острове Черный Выборгского района.

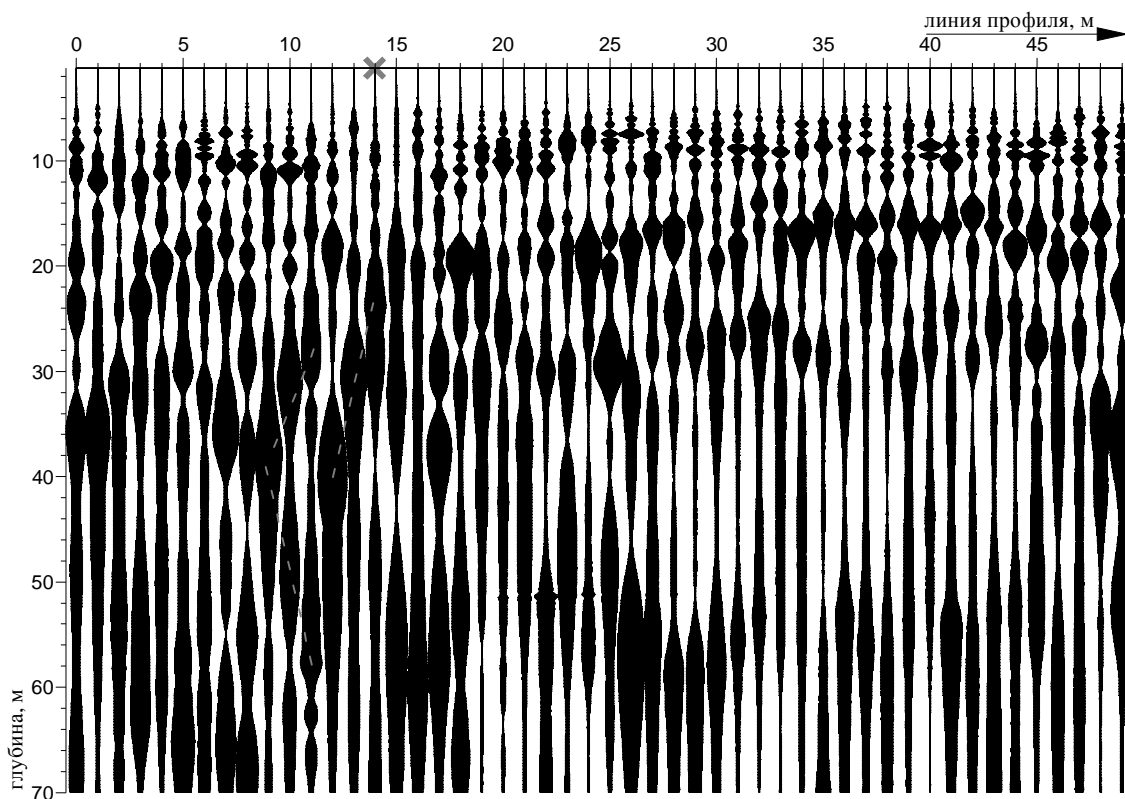


Рис. 5-4

Бурение в точке, находящейся вблизи 14-го метра профиля (показано крестиком), дало самоизливный (то есть, фонтаном) выход воды с глубины 12м.

Как оказалось, для того, чтобы получать воду в ЗТН, совершенно необязательно бурить в гранит. Вода эта является напорной, и под давлением стремится по вертикальному каналу ЗТН снизу вверх, и может быть получена при любой мощности осадочного чехла, при любой геологии. В случае наличия глиняного слоя в толще земли, то

есть, водоупора, вода в ЗТН не может этот слой преодолеть. При наличии в этом слое глины проплешины, вода поднимается до поверхности земли и воспринимается как родник. И действительно, состав воды, полученной в ЗТН бурением, аналогичен составу воды в ближайшем роднике.

Распределение зон тектонических нарушений на Земле хаотично, и, по-видимому, не существует сколько-нибудь значительных пространств, где бы их не было. Исследования водоносности в различных регионах показали, что на Земле нет безводных регионов именно потому, что ЗТН распространены по всей нашей планете. В качестве иллюстрации, приведем такой факт. На Кипре, где существует серьезный дефицит воды, на вершине самой высокой горы (в греческой его части) бьет родник...

На рис.5-5 показано фото скважины, пробуренной в Ленинградской области в порядке плановых исследований всей территории России еще в 50-х годах XX века.



Рис. 5-5

Скважина случайно попала в ЗТН, и вот столько лет из нее бьет вода. Где тот источник, тот резервуар, который может обеспечить такое поступление воды, долго оставалось неизвестным.

С какой глубины поступает вода, и что заставляет ее находиться под давлением, превышающем гидростатическое, долгое время было неизвестно.

Сейчас на эти вопросы есть ответы, и на рис.5-6 приведена схема поступления воды в зонах тектонических нарушений.

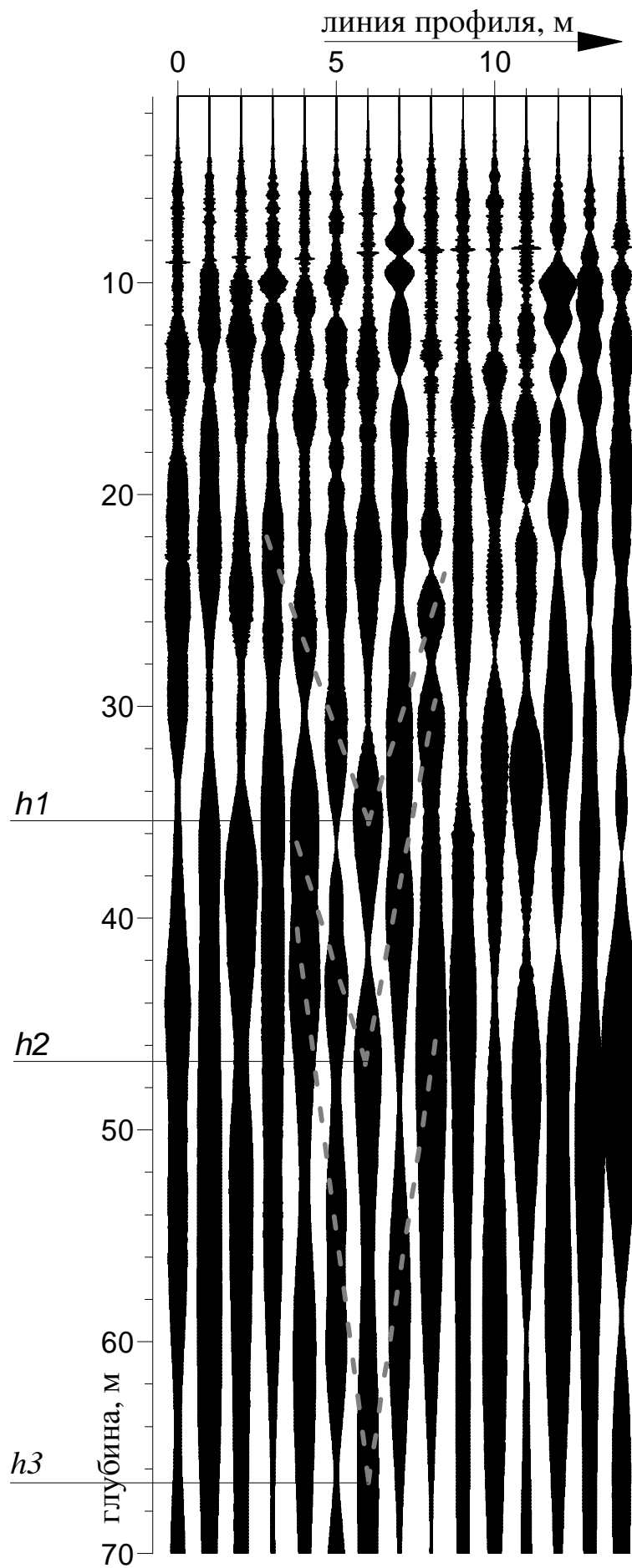


Рис. 5-6

Анализируя случаи бурения на воду, удалось понять некоторую логику в получении воды. Представляется очевидным, что для того, чтобы скважина небольшого диаметра могла давать мощную струю воды, нужно, чтобы вода скважиной не насыщалась, как колодецем, а как бы лежала свободно в каком-то объеме с водой, как в сосуде.

По наблюдениям, когда скважина бурится в центр ЗТН, воду можно брать на глубинах, где прорисовывается острие воронкообразных объектов. Для случая, показанного на рис.5-4, эти глубины – h_1 , h_2 и h_3 (соответственно, 35, 46 и 66м). То есть эти воронки – реальные сосуды, сформированные самой Природой. В промежутках между этими остриями воду скважиной не взять. Она там идет не струей, а сочится через разрушенные породы.

Если вода идет снизу вверх, то производительность воронкообразных объектов, по идее, должна уменьшаться снизу вверх. То есть, на глубине h_3 должно быть больше воды, чем на глубине h_2 , а на глубине h_2 больше, чем на глубине h_1 . Для проверки этой гипотезы было сделано бурение в Гаврилово Ленинградской области, на участке садово-некоммерческого товарищества (снт) «Сампо». С глубины 35 метров вода пошла, но ее было недостаточно для снабжения всего снт. На глубине 46м воды было ощутимо больше. Когда добурились до 66м, вода пошла самоизливом, и дебет там определяется только диаметром скважины. Со всех трех глубин вода имела один и тот же состав.

Вода, двигаясь снизу вверх и миновав все воронки, упирается в водоупор или выходит в виде родника. При установке в этой точке колодца, следует пройти глину, и колодец будет наполняться родниковой водой. Глубина колодца будет меньше, чем верхняя граница верхнего воронкообразного объекта. Как правило, воды в таком колодце достаточно много. Иногда зеркало воды даже выше уровня земли.

Водоносность ЗТН на сегодняшний день является наиболее востребованным и, стало быть, часто используемым свойством этих зон.

5.2.6. Откуда берется вода

На этот вопрос удалось ответить с помощью гипотезы Ларина [11], согласно которой в ядре Земли находится водород. Водород – это

космическая праматерия, это строительный материал для получения всех остальных элементов таблицы Менделеева. Водород – это единственное, что находится в космосе.

В ядре Земли водород находится при огромной температуре и под колоссальным давлением. Как утверждает Ларин, в металлическом (не знаю, что это значит, но повторяю за автором гипотезы) состоянии. При наличии возможности, водород просачивается из ядра и при проходе через горячие окислы металлов (а именно из них в основном состоит вся наша планета), окисляется, то есть превращается в воду. Таким образом, вода, о которой идет речь, синтезируется в околоядерном пространстве.

Каналы, по которым внутриядерное вещество просачивается на поверхность земли, это и есть вертикально ориентированные структуры, ограниченные на поверхности зонами тектонических нарушений. То есть, структуры эти являются каналами, соединяющими пространство ядра Земли с ее поверхностью. Механизм планетарной пульсации совершенно неясен, но более или менее понятно, что каналы эти были сформированы с помощью этой пульсации тогда, когда наша планета была еще горячей, о чем речь впереди.

Получив подтверждение, гипотеза Ларина превратилась в теорию, и становится понятной роль воды в жизни Земли. При возникновении нашей планеты, она была горячая и безводная. Размер ее был существенно меньше сегодняшнего. Каналы, о которых говорилось выше, пронизывали ее, и по ним поступала на поверхность вода. По видимому, совокупность этих каналов образовывала как бы несколько ослабленных зон, по которым в дальнейшем начала раздвигаться Земля, разделяясь на несколько материков. За время существования Земли вода несколько раз покрывала всю сушу, после чего следовала следующая раздвижка, поверхность воды опускалась, и далее следовало новое накопление воды с очередным ее подъемом. Это будет повторяться до тех пор, пока не кончится водород, заполняющий ядро Земли, а также окислы металлов, которые этот водород окисляют.

5.2.7. Где текут реки

Время от времени, при профилировании на различных участках нам встречаются зоны тектонических нарушений, своей формой по-

вторяющие бывшие там раньше, но засыпанные ручьи и реки. Это свидетельствует о том, что русла рек и ручьев представляют собой совокупность ЗТН. Эти зоны своей формой не всегда повторяют конфигурацию русла, а часто располагаются как бы пятнами, которые образуют пунктирную линию, которая двигается от берега к берегу и вместе с тем, вдоль русла.

Этому соответствует определенная логика. В самом деле, воде проще проложить себе русло в ослабленных, разрыхленных породах, а это как раз и есть ЗТН.

Я неоднократно слышал мнение людей, никак не связанных со строительством, которое состоит в том, что если дом строят там, где раньше был ручей, то этот дом будет разрушаться. Это действительно так, и то, что строители не принимают это наблюдение во внимание, не свидетельствует о высоком уровне строительной науки. Или о том, что строители заинтересованы в том, чтобы дома не разрушались.

Мне неоднократно приходилось убеждаться в этом влиянии осушенного русла реки на состояние находящегося там сооружения. Так, например, под машинным залом новой Сочинской ТЭЦ, которая снабжает электричеством весь город, находится осушенное русло небольшой речки. О том, в каком состоянии этот зал, я могу судить лишь по косвенным признакам, но сооружения, которые находятся рядом с этим залом, и также находятся на территории бывшего русла, требуют постоянного ремонта.

Думаю, что машинный зал требует постоянного участия ремонтников, потому что разрушительное воздействие ЗТН дополняется воздействием вибрации машин и механизмов, находящихся там.

Известно, что большинство мостов «болеют» одной специфической болезнью. Она заключается в том, что одна из опор, находящихся на берегу, требует постоянного ремонта. Это происходит потому, что зоны тектонических нарушений зачастую выходят за пределы русла, и в них иногда попадают опоры моста.

Мы столкнулись с этой проблемой случайно. Лет 15 назад мы делали инженерные изыскания для проектируемой тогда скоростной железной дороги Москва – Санкт-Петербург. Профиль ССП проходил через реку Славяночка (СПб). При этом мы обнаружили, что с одной стороны этой реки опора будущего железнодорожного моста попадает

как раз в достаточно мощную ЗТН. Мы дали рекомендацию отодвинуть эту опору от реки, не помню уже, метров на 50, чтобы вывести опору от влияния этой ЗТН.

При сдаче работы заказчику (Ленгипротранс) эта часть нашей работы подверглась сомнению. Однако один из опытейших работников отдела изысканий вдруг воскликнул: «Так вот почему железнодорожный мост Николаевской еще дороги (который находится рядом с линией нашего профиля) требует постоянного ремонта одной из опор!». Эта опора находится на том же берегу реки и опирается на ту же ЗТН.

Мы стали с тех пор присматриваться к этой проблеме. Надо сказать, что это непростое дело, так как для строителей сокрытие разного рода неприятностей является задачей не менее важной, чем построить объект.

Ну вот, левая опора моста Александра Невского часто ремонтируется, по нашим наблюдениям, практически с самого момента его постройки.

Далее. Также лет 15 назад мы выполняли работу по изысканиям вдоль проектируемой железнодорожной трассы Лабытнанги – Бованенково (п-ов Ямал). Там за 10 лет строительства было построено какое-то незначительное количество километров пути. Причина в том, что разрушались пути быстрее, чем строились. Относили это на счет влияния вечной мерзлоты.

Наша задача была в том, чтобы понять, может ли метод ССП выявлять зоны влияния вечной мерзлоты. Нам для профилирования были выделены участки, требовавшие частого ремонта, среди которых были и мостовые сооружения. Как нам удалось понять, все разрушения приходились на участки пути, которые пересекали ЗТН. У каждого моста разрушалась имена та опора, которая опиралась в ЗТН. Нам удалось разработать методику дефектоскопии опор моста, с помощью которой была возможна их диагностика.

Однако эти результаты нашей работы никому не понадобились, потому что работы по изысканиям и строительству велись по тарифу, увеличенному из-за условий вечной мерзлоты, а когда выяснилось, что вечная мерзлота здесь ни при чем, то это грозило снижением финансирования. И, стало быть, меня попросили немедленно покинуть п-ов Ямал.

И еще. Реки, по мере движения их от истока до устья, становятся всё более полноводными, постоянно пополняясь водой. Вопрос: откуда берется эта вода? Очевидно, источников тут несколько. Одним из них, я думаю, являются ЗТН, вдоль которых идет русло. Все мы часто встречаемся с тем, как во время купания в воде возникают холодные потоки. Это выходит из земли родниковая вода.

Процессы обмеления рек свидетельствуют о том, что не всё так просто с водоносностью ЗТН, как мы себе представляем. Но учитывая то, что уже известно, думаю, можно было бы попытаться способствовать наполнению рек водой.

Изучая водоносность ЗТН, мы встречались с одним очень редким явлением, которое заключается в том, что иногда зоны тектонических нарушений работают не как источники, а как поглотители воды. Когда такие зоны оказываются в пределах русла реки или озера, формируются водовороты.

5.2.8. О болотах

В середине 70-х годов я участвовал в исследовательской работе, конечная цель которых была создание геофизического метода для определения мощности торфяного пласта. Работая с представителями заказчика на различных болотах, я познакомился с их видением природы болот. По их мнению, первообразной болота является озеро. Оно с течением времени зарастает болотной растительностью, высыхает и превращается в болото. Однако при исследовании ЗТН у меня возникла совершенно противоположная модель болота.

Мы обратили внимание, что при профилировании на территории болота или бывшего, осушенного болота, количество зон тектонических нарушений особенно велико. Они пересекаются одна с другой, идут в разных направлениях, и в том числе, параллельно друг другу. Одним словом, множество ЗТН на небольшой площади.

Мне представляется, что последовательность событий, которые привели к возникновению болот, следующая. Вся территория, охваченная сплошной разбитостью вследствие множества ЗТН, хронически проседает и постоянно обводняется. В результате, в течение достаточно длительного периода образуется болотная растительность,

торф. То есть, причина существования болота – глубинная. Эта причина – множество ЗТН.

Когда строят на территории болот, эти территории осушают, торф извлекают, засыпают поверхность песком и щебнем, уплотняют сваями... Но не понимают люди того, что это лишь косметический ремонт. Потому что подвижность всей территории бывшего болота (вследствие планетарной пульсации) никто не отменял, и всё построенное на таком пространстве очень быстро приходит в ветхое состояние. А если построили нечто, оказывающее на грунт динамическое воздействие, то не обойдется без серьезных катастроф.

Мы много лет наблюдаем за состоянием сооружений, построенных в пос. Ольгино (под СПб). По-видимому, там было раньше сплошное болото. Во всяком случае, вся территория Ольгино – сплошная совокупность ЗТН. Вот уже больше 60 лет назад там начали строить очистные сооружения, и с тех пор идет непрерывный ремонт. Я не оговорился. Ремонт идет не с момента начала эксплуатации, а с момента начала строительства. Главный стакан аэрации – это зарытый в землю как бы колодец диаметром и высотой (глубиной) около 60м. Толщина его железобетонных стенок – 4м. Сейчас – это местами уже 8м, в результате наращивания их толщины в ходе борьбы с разрушениями.

Постоянно разрушающаяся насосная станция на территории очистных сооружений – это постоянная зона бедствия. Там разрушения идут даже в виде техногенных землетрясений (об этом явлении будет рассказано дальше).

Но на самом деле, никакой зоны бедствия нет, потому что только эти очистные сооружения позволили Водоканалу СПб удвоить свой бюджет. Что называется, понимающему достаточно.

Ну, а поскольку бедствия никакого нет, то рядом с этими очистными сооружениями построили Северо-Западную ТЭЦ, которая должна была бы заменить собой ЛАЭС. Мы делали изыскания на этой ТЭЦ, и обнаружили, что оба ее машинных зала попали примерно в такие же, как и очистные сооружения, условия. Я не могу ничего утверждать, поскольку имеющаяся у меня информация весьма неофициальная, но имею основания полагать, что эта ТЭЦ собою ЛАЭС не заменит никогда.

Вот эта тенденция – скрывать аварийные ситуации – приводит к тому, что аварийные зоны разрастаются, и в них попадают всё новые объекты. В частности, рядом с этими объектами в Ольгино сейчас реализуется еще один, весьма одиозный проект – Башня Газпрома, который с трудом выгнали с Охты. Но об этом будет в другом разделе.

Изо всех сил скрывают состояние цехов завода «Форд» во Всеволожске, конвейерной линии «Тойота» в Шушарах. А ведь все происходящие там разрушения – это всё следствие того, что всё это построено там, где раньше было болото.

5.2.9. Геопатогенность

Давно замечено, что в отдельных местах на Земле люди чувствуют себя хуже, болеют чаще и тяжелее. Были предположения, что это как-то связано с геологией, и эти зоны получили название геопатогенных.

По определению, зоны тектонических нарушений характеризуются высоким уровнем радона. Но, как оказалось, не только радона. В ряде случаев из скважин, случайно попавших в ЗТН, выходит метан, водород (!), и есть основания полагать, что и другие газы. Так, рабочие, которые роют колодцы в ЗТН, зачастую получают отравления от выходящих там газов. Иногда смертельные.

В случае если дом оказался в ЗТН, выходящие из земли газы попадают в подвал. Если подвал проветривается (что должно быть обязательно, но на самом деле, это имеет место далеко не всегда), то никакого действия на жителей дома это не оказывает. Если же вентиляции в подвале нет, то газ поступает в квартиры первого этажа. Далее, газ частично выходит через форточки первого этажа, и на второй этаж поступает в меньшем количестве, и так далее, уменьшаясь от этажа к этажу. То есть, наибольшему воздействию этими газами подвергаются жители первого этажа.

Эта картина подтверждается статистикой. Заболеваемость людей, проживающих на первых этажах, в разы превышает среднюю заболеваемость по региону. Причем, речь идет о тяжелейших заболеваниях – таких как онкологические, болезни сердца, различные виды аллергии... Врачи знают, что в отдельных домах жители болеют определенными болезнями.

Мы обследовали дом около станции Ланская (СПб), в одном из подъездов которого (находящегося в ЗТН) все жители состоят на учете в психдиспансере. В остальных подъездах психическое состояние жителей нормальное.

Наши коллеги из Екатеринбурга, уже много лет эксплуатирующие метод ССП, осуществляли совместную с медиками работу, которая заключалась в следующем. Геофизики поставляли медикам информацию о домах Екатеринбурга, оказавшихся в ЗТН, а медики исследовали состояние здоровья проживающих там людей.

Вывод, который сделали медики, позволяет нам говорить с уверенностью о существенном влиянии геопатогенных зон на здоровье людей. Полностью я их отчет не читал, но вот фраза из выводов этого отчета: «... одной из главных причин заболеваемости тяжелейшими болезнями является влияние ЗТН». К сожалению, этот отчет остался неизвестен общественности.

Свойства газов, выходящих в ЗТН, очень разнообразны и не всегда болезнетворны. Так, из исторических документов известно, что в древнем Египте одна служительница храма знала место, подойдя к которому она впадала в транс и проявляла свойства прорицательницы. Я думаю, что там была зона выхода какого-то газа.

Здесь следует очень важный вывод, который заключается в следующем. Важнейшим требованием к любому помещению, где проживают или работают (долго находятся) люди, должно быть наличие вентиляции подвала. Если люди находятся (живут или работают) в самом подвальном помещении, должна быть предусмотрена вытяжная вентиляция и/или «фальшивый» подвал, который представляет собой небольшое вентилируемое пространство под полом.

Отмечу, что в домах, возведенных на плите (технология монолитного строительства) подвал отсутствует, и если плита лопнула (что имеет место практически повсеместно), то все глубинные газы, которые и формируют геопатогенную зону, прямым путем попадают в жилые помещения. Поэтому технология монолитного строительства должна обязательно быть пересмотрена так, чтобы нейтрализовать воздействие глубинных газов.

Замечено, что в населенных пунктах, расположенных в болотистых местностях, продолжительность жизни невелика, и болеют там

особо тяжелыми болезнями. Это нашло свое отражение и у классиков литературы. Это и Дети подземелья Короленко, и рассказ Болото Куприна...

Но вот однажды в своей рабочей деятельности я пересекся с Департаментом здравоохранения СПб. И стал выяснять, что нужно делать, чтобы заставить работников ЖКХ способствовать функционированию вентиляционных отверстий в подвалах домов. Вентиляционные отверстия подвалов жилых домов, как правило, забиты и не функционируют, и это приводит к росту заболеваний на первых этажах.

Я требовал, чтобы люди делали то, что они должны делать, и ничего сверх того. Однако у меня ничего не получалось, и в конце концов, меня «успокоили» следующим аргументом: «приличные люди на первом этаже не живут». Вот так. И если я назову этих медицинских начальников так, как они этого заслуживают, думаю, эта книга не выйдет.

5.2.10. О добротности сейсмосигналов в ЗТН

Как уже сообщалось выше, при спектрально-акустических измерениях границей является такая поверхность, по обе стороны которой примыкающие друг к другу объекты имеют возможность скользить один относительно другого.

Качество этой границы определяет параметры колебательного процесса. А именно, его добротность Q . Максимально возможная величина добротности достигается, если поверхности плоскопараллельной структуры идеально гладкие, и если сама пластина находится в вакууме. Именно в таких условиях находится пьезопластина в кварцевом резонаторе, и добротность ее имеет величину порядка 10^4 . Пьезо-керамическая пластина, находящаяся в воздухе, имеет добротность порядка 10^3 . Если эту пластину погрузить в жидкость, ее добротность упадет примерно до 100.

То есть, наглядно видно, что чем выше противодействие тангенциальной составляющей поля (иначе говоря, величина трения на границах), тем слабее колебательные свойства пластины-резонатора, что выражается в уменьшении добротности.

Добротность также уменьшается при наличии шершавости и неровностей на границах объекта-резонатора.

Терригенные породные слои, прилегающие друг к другу, не только прижаты между собой, но материал их диффундирует друг в друга. Так, переход от песчаника к алевролиту обычно переходит плавно, и граница между ними, с точки зрения спектральной сейсморазведки, может отсутствовать. Граница может возникнуть вследствие наличия тонких и сверхтонких слоев, но вследствие сильного взаимного прижатия добротность таких границ может не превышать минимального значения - $3 \div 5$. Поэтому если на ССП-разрезе и наблюдаются горизонтальные границы, то они весьма вялые.

В случае залегания в земной толще карбонатных (карбонатизированных) пород картина совершенно иная. Дело в том, что между известняками и терригенными породами диффузия не происходит, и граница между ними отчетливо проявляется при спектрально-сейсморазведочных работах. На ССП-разрезах граница между этими породами проявляется повышенным значением добротности. На рис.5-7 показан ССП-разрез, полученный при профилировании в условиях, когда на некотором участке профиля залегают известняки.

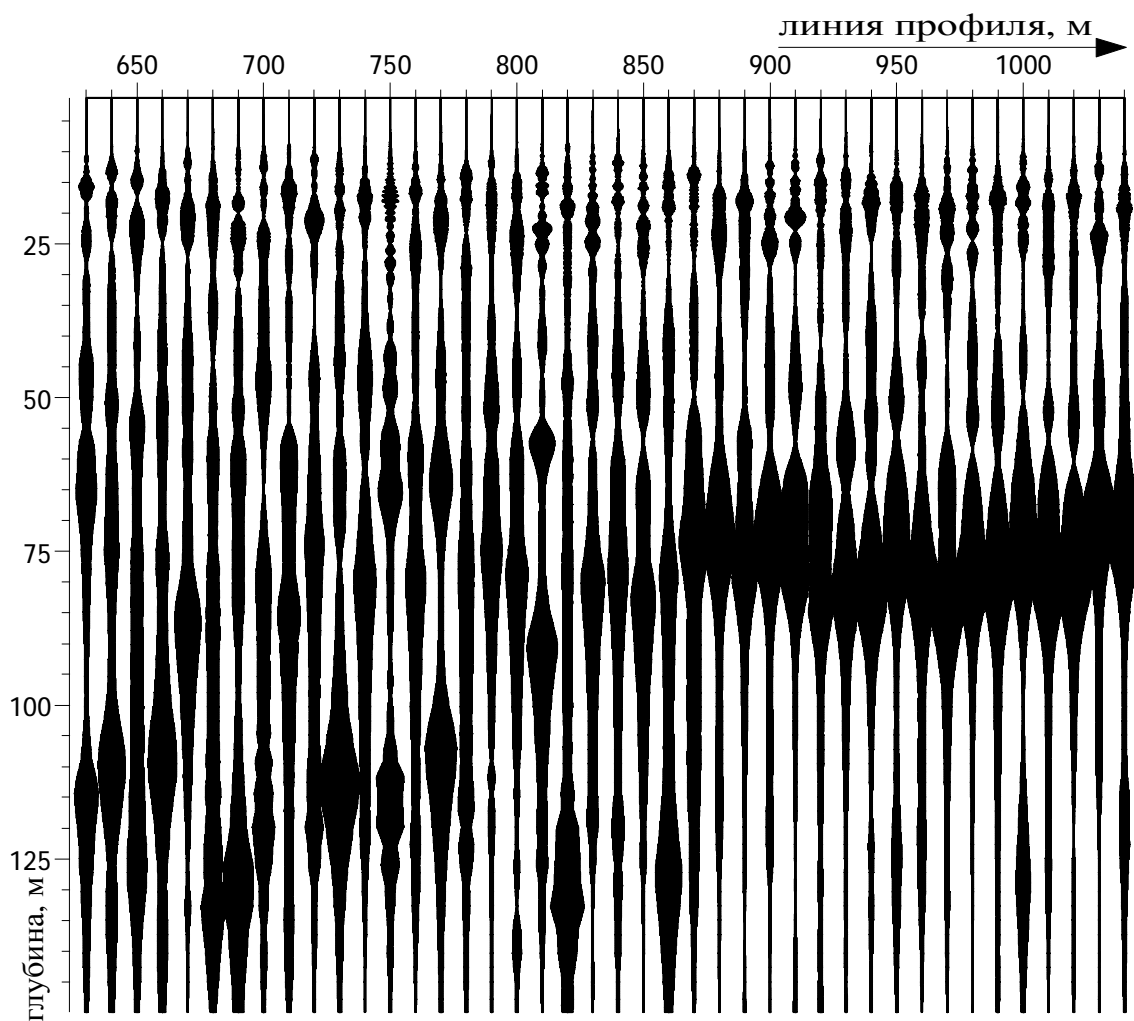


Рис. 5-7

Кровля известняка залегает на глубинах около 75м и проявляется повышенной добротностью, за счет чего соседние спектральные изображения сейсмосигнала сливаются друг с другом. Протяженность кровли известняка – от 870м до конца профиля. Кроме того, характерным является то, что под известняковой плитой на ССП разрезе практически ничего не прорисовывается. Этим, собственно, определяется глубинность метода ССП. В терригенных породах и в угленосной толще максимальная глубинность может достигать километров, тогда как в случае карбонатных пород предел глубины обуславливается глубиной залегания известняка.

Легко заметить, что в ЗТН добротность сигналов также увеличивается. Это происходит следующим образом. В результате провисания в ЗТН породных слоев слабые породы истираются за счет скольжения их по твердым породам, и границы твердых слоев, получается, граничат не с прижатыми к ним слабыми породами, а с истертым в пыль материалом.

На рис.5-8 показана фотография обнажения на берегу Черного моря.

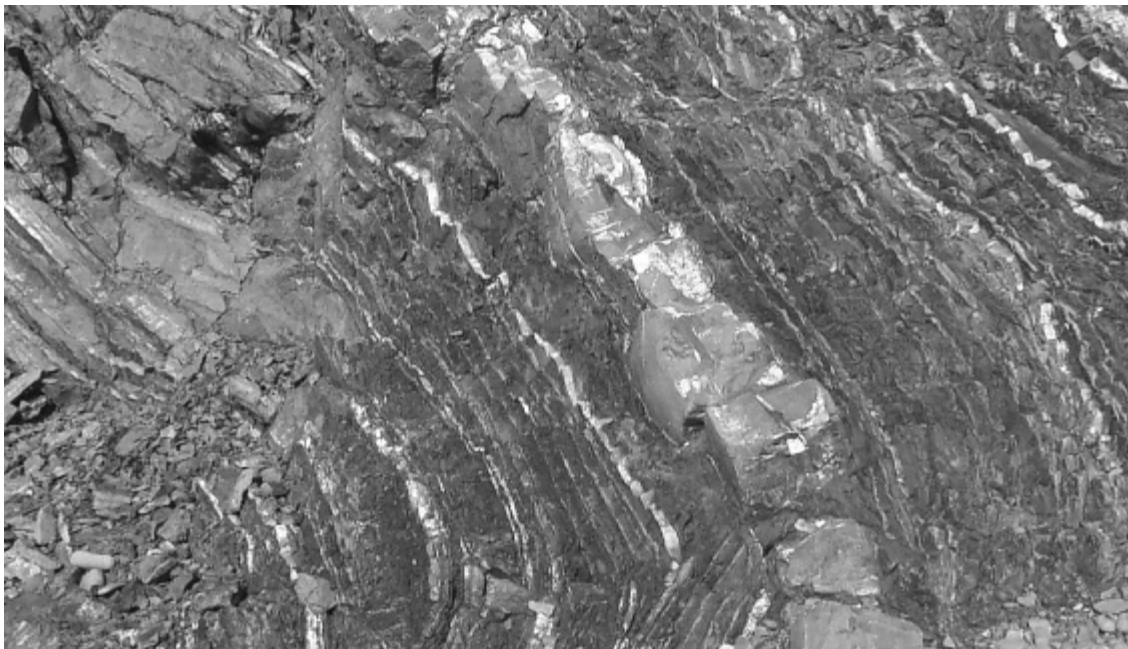


Рис. 5-8

Светлые слои – прочный песчаник. Черные – аргиллит. Изгиб слоя из песчаника происходит за счет многократного его излома. В непосредственной близости от песчаника аргиллит разрушен в пыль, и собственному колебательному процессу слоя из песчаника ничего не мешает. В результате, добротность этой колебательной системы возрастает.

Раньше я уже говорил, что наклонные границы на ССП-разрезах имеют большую добротность, чем горизонтальные. Отсюда получается, что в зонах тектонических нарушений имеет место повышенная добротность колебательных систем, залегающих в земной толще. Это свойство залегающих в земной толще границ оказалось очень важным фактором для рассмотрения физики техногенных и природных землетрясений.

5.2.11. О вертикальности структур ЗТН и о связи между отдельными зонами

В литературе о тектонике очень обсуждаемой темой является угол, под которым тектоническое нарушение залегает в земной толще. Когда при осмотре обнажения, встречаются с так называемой плоско-

стью сместителя, оценивают этот угол. След этого объекта на обнажении всегда находится под некоторым углом, отличным от вертикали. Из этого делают вывод о том, что тектоническое нарушение залегают в земной толще под углом, отличным от вертикали.

Понять, что канал, соединяющий ЗТН с ядром Земли, уходит вглубь строго вертикально, удалось следующим образом.

Начиная с 2000 года в горной промышленности используется метод ССП для прогнозирования горнотехнической ситуации в подземных выработках. Метод проверки действенности этого метода состоит в том, что местонахождение ЗТН, выявленной с поверхности, сравнивается с местонахождением зоны осложнения (например, вывалообразования) в подземной выработке, вдоль которой идет ССП-профиль.

Каждый раз, когда осуществлялись такие исследования, зона осложнения горнотехнической ситуации оказывалась строго под зоной тектонического нарушения, выявленной с поверхности. Наиболее убедительный случай имел место, когда измерения осуществлялись на шахтном поле в городе Хромтау (Казахстан). Штрек, вдоль которого шел профиль, находился на глубине 700м, и зона вывалообразования находилась строго под выявленной с земной поверхности ЗТН, с точностью до шага профилирования, который составлял 1м.

Я не утверждаю, что эта строгая вертикальность структур ЗТН имеет место всюду, но вот в Казахстане и в Кузбассе – это так. При желании, эти измерения могут быть выполнены в любой точке Земли. Объекты же, которые геологи называют поверхностями сместителей являются, на самом деле, оперяющимися трещинами за пределами границ ЗТН. В таком случае визуально на обнажении выявляются оперяющиеся трещины, а воронкообразный объект, принадлежащий ЗТН, не виден.

На рис.5-9 показан такой случай. Здесь воронкообразный объект ЗТН находится в пределах 5-10м, а за пределами его – оперяющиеся трещины, которые на обнажении воспринимаются как поверхности сместителя.

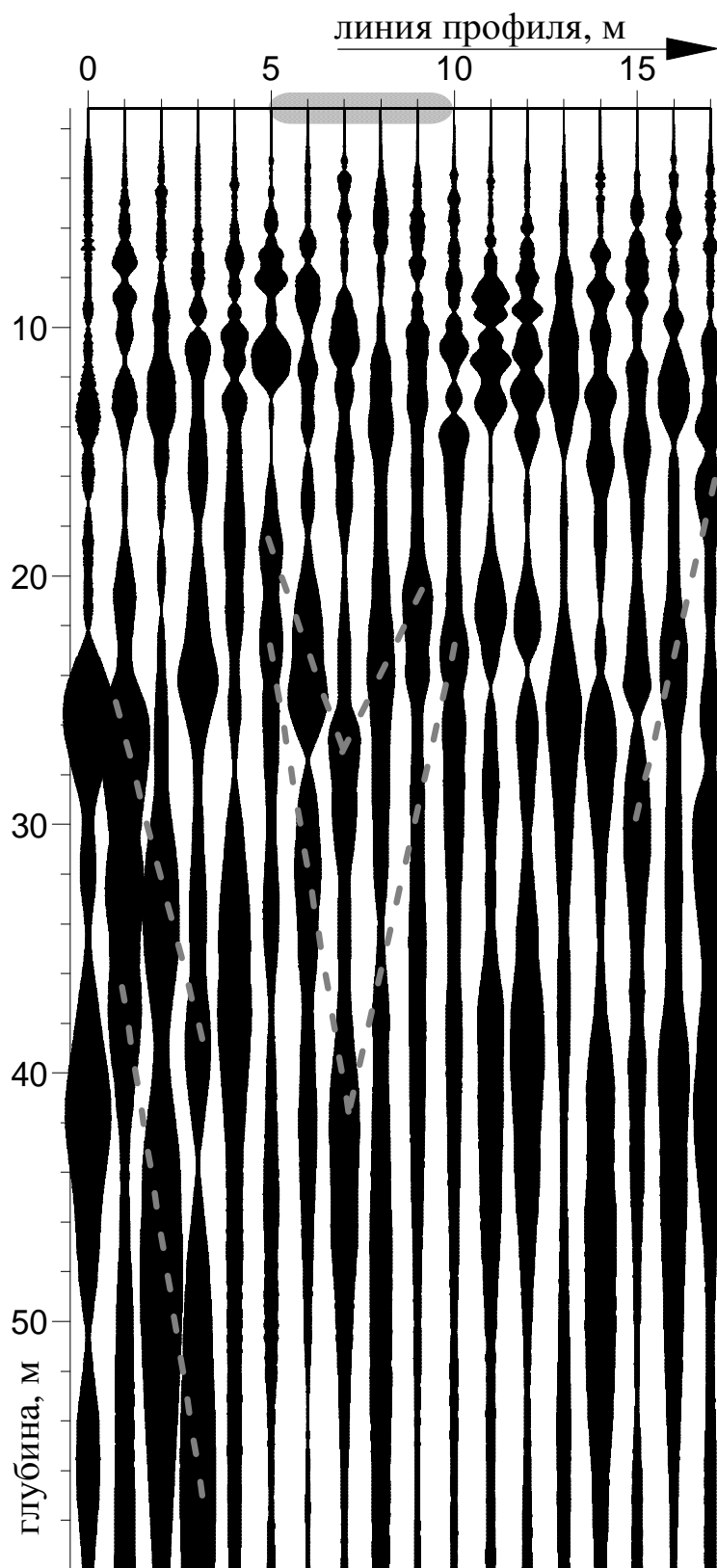


Рис. 5-9

В связи с выявленной вертикальностью структур ЗТН возник один очень важный вопрос, на который пока что нет ответа.

Существует достаточное количество случаев, когда наблюдается связь между отдельными ЗТН, при этом находящимися на немалом

расстоянии друг от друга. Самые яркие из того, что нам известно, состоят в следующем.

- В 50 км от реки Лена находится подземное хранилище какого-то неизвестного нам продукта. В настоящее время в реке Лена обнаружено присутствие этого продукта. Очевидно, что на территории хранилища есть ЗТН. Русло любой реки – это всегда совокупность ЗТН. Но как они связаны между собой – непонятно.

- В Ленинградской области есть одна частная мясоперерабатывающая ферма. Сотрудники этой фермы обнаружили, что на их территории есть небольшая зона, в которую если сливать жидкость, то она будет поглощаться особенно интенсивно. Не понимая, что это одно из проявлений ЗТН, люди стали сливать туда отходы своего производства. Спустя некоторое время все колодцы и скважины в округе нескольких км оказались заражены, и вода там перестала быть пригодной для питья.

- 17 июня 2005 года под Ржевом произошла авария поезда. В насыпи мгновенно образовалась воронка, и отцепились 26 вагонов из 60. Отцепившиеся цистерны перевернулись, и мазут вылился. Обнаружилось, что мазут, который вытекал в эту воронку, как бы даже засасывался в землю. На следующий (!!) день в колодцах деревни, находящейся в 2-х км от места аварии, оказался мазут.

Следовательно, структуры ЗТН, уходящие вертикально вниз, имеют более сложное строение, чем представлялось раньше.

5.3. Визуальные признаки ЗТН

Уверенно, надежно и надлежащим образом досконально зону тектонического нарушения можно выявить только с помощью метода ССП. Но иногда бывают случаи, когда признаки ЗТН видны, что называется, невооруженным взглядом.

Поскольку большинство населения Земли является автолюбителями, то им ближе всего следующий пример. Бывают такие участки пути, где дорожное покрытие хронически находится, будем так говорить, в неприемлемом состоянии. Причем становится таковым буквально вскоре после прокладки или ремонта дороги. Это работа ЗТН. Характер нарушения дорожного покрытия зависит от того, какова форма зоны тектонического нарушения в плане, и от того, совпадает

ли направление дороги с направлением простираения ЗТН. Если вдоль, то едем как бы по колее и вдоль длинных трещин. А если поперек, то трясемся поперек колеи.

Есть такие лужи, которые как ни засыпай песком и щебнем, как ни выравнивай асфальтовым покрытием, эти заглобления всё равно возникают спустя некоторое время на том же самом месте. Это следствие ЗТН.

Наклон домов, провал крыш, провалы крылечек и веранд, наличие в стенах вертикальных, субвертикальных и косых трещин между оконными переплетами – это всё признаки ЗТН.

Кто не видел наклоненных деревьев или столбов? Это происходит, когда они стоят на краю ЗТН и наклоняются к ее центру. А кто не видел, когда целый ряд деревьев или столбов наклоняются все в одну и ту же сторону? Это когда ЗТН имеет вид длинной структуры, и деревья выросли вдоль ее и по краю ее. Так часто случается, когда деревья стоят на берегу ручья или реки. И наклон их – к воде (к центру ЗТН). Бывает, что столбы, стоящие вдоль железной дороги, наклоняются в одну и ту же сторону. По направлению их наклона можно судить, где центр ЗТН.

Если при проведении строительных работ и создании строительного котлована поступает напорная вода, значит, строительная площадка попала в ЗТН. Если на это не обратить должного внимания, то дальнейшие работы будут сопровождаться борьбой с Природой. Это не будет способствовать высокому уровню надежности возводимого ИС.

5.4. Выводы по главе 5

В 1993 году было случайно обнаружено, что с помощью аппаратуры спектральной сейсморазведки возможно выявление неких зон, которые по признаку превышения уровня радона были названы зонами тектонических нарушений (ЗТН). За прошедшие с тех пор 20 лет был выявлен ряд свойств этих зон, и в результате этого стало ясно, что ЗТН являются объектами, определяющими многие стороны нашей жизни. Не сомневаюсь, что со временем изучению ЗТН будет уделяться достаточное внимание, и ни одно производство, связанное с

использованием грунта как опоры или с использованием подземного пространства не сможет обходиться без учета свойств ЗТН.

И еще одно. Как и в любом научном процессе, при изучении ЗТН количество вопросов растет быстрее, чем количество ответов. И количество обнаруженных свойств ЗТН растет практически год от года. Так, в прошлом (2012) году было обнаружено свойство, о физике которого даже предположительно нет никаких догадок. Так, в случае, если в ЗТН попадает какой-либо высокий объект (например, антенна сотовой связи, ветряк), то в находящихся рядом птицефермах или животноводческих фермах заболевают и погибают находящиеся там животные. Это явление существует, но почему это так происходит, пока что не знает никто.

Глава 6

Поиск воды

Вода – это очень противоречивый объект. С одной стороны, отсутствие воды – это беда. С другой, наличие воды – это тоже беда, когда она поступает, скажем, в строительный котлован. И вместе с тем, откуда она вообще берется? Гидрогеологи безапелляционно заявляют, что вся вода – из осадков. Что касается воды в земле – то здесь сплошные легенды. Такие всем известные объекты как водоносный горизонт, подземная река, подземное озеро, некая линза с водой – это всё очевидно, но вместе с тем, кто это всё видел? Гидрогеологические карты, конечно, существуют, но с их помощью еще никто никогда воду не находил. В Ленинградской области, например, как самый продуктивный числится так называемый Гдовский водоносный горизонт. Его еще называют стратегическим запасом воды всей Ленинградской области. Он, по мнению гидрогеологов, находится на глубине около 100м. Однако я не однажды был свидетелем того, как буровики проходили этот горизонт и бурили до гранита (около 200м), но воды не было, и скважина оставалась сухой.

За время, прошедшее с 1997 года, когда нами была обнаружена водоносность ЗТН, методом ССП только по Ленинградской области нами было обнаружено (и отдано людям в пользование) несколько сотен точек водопритока. На этом материале была отработана методика

обработки сигналов, полученных при профилировании, а также были отработаны некоторые приемы для поиска водоносных ЗТН в различных геологических условиях.

Вода нужна всем, и поиск воды – это самая востребованная работа, которая может быть выполнена с помощью метода ССП. При этом удалось обнаружить ряд интересных свойств как самого метода, так и зон тектонических нарушений, пригодных для добычи воды.

Прежде всего, необходимо сказать, что после самых первых случаев выявления водоносных структур в виде ЗТН возникло сомнение, возможно ли, чтобы зона тектонического нарушения присутствовала на каждом участке индивидуального землепользования. Нам довольно быстро стало ясно, что материал по тектонике, предлагаемый многочисленной литературой, получен не экспериментальным путем, и следовательно, не представляет совершенно никакого интереса. Однако сразу и полностью отвергнуть все существующие источники информации было очень трудно, и какие-то положения, декларированные в литературе, казались достоверными. А именно, то, что тектоника – достаточно крупный и нечасто встречающийся объект. А ведь большинство участков индивидуального землепользования имеет площадь 6 соток (600м²). Возможно ли, чтобы ЗТН встречалась на каждом таком участке?

Приступая к работе, мы каждый раз предупреждаем, что вероятность того, что ЗТН будет найдена на данном участке, не стопроцентна. Однако на опыте 16 лет этой работы можно сказать с уверенностью, что даже на столь небольших участках земли вероятность наличия водоносной структуры очень близка к 100 процентам.

Далее, о самой форме выявляемой структуры ЗТН. Форма объекта типа ЗТН на ССП-разрезах встречается обычно двух видов. Это либо воронкообразный объект, либо только одна образующая воронкообразного объекта. Сразу отсекаем случаи, когда это только одна образующая. Не знаю, является ли такой объект водоносным, но рекомендаций на получение воды из таких структур мы не даем.

Дело в том, что наличие только одной образующей говорит о том, что в этом месте имеет место сброс. Нарушение типа сброса особенно интенсивно разрушает любой объект. И мы не даем такие нарушения для получения воды из опасения разрушения скважины или колодца.

Теперь, по характеру формы зоны тектонического нарушения в плане. ЗТН может иметь удлиненную форму, а может быть изометрическим объектом. То есть, быть в виде более или менее круглого пятна. Когда мы видим, что профиль пересек ЗТН, мы не знаем, какую форму имеет этот объект. Для того, чтобы найти центр этой зоны (центр водопритока), приходится делать дополнительные профили.

Приведем пример. На рис.6-1 приведена схема осуществленных измерений при поиске воды на участке в поселке Порошкино Ленинградской области.

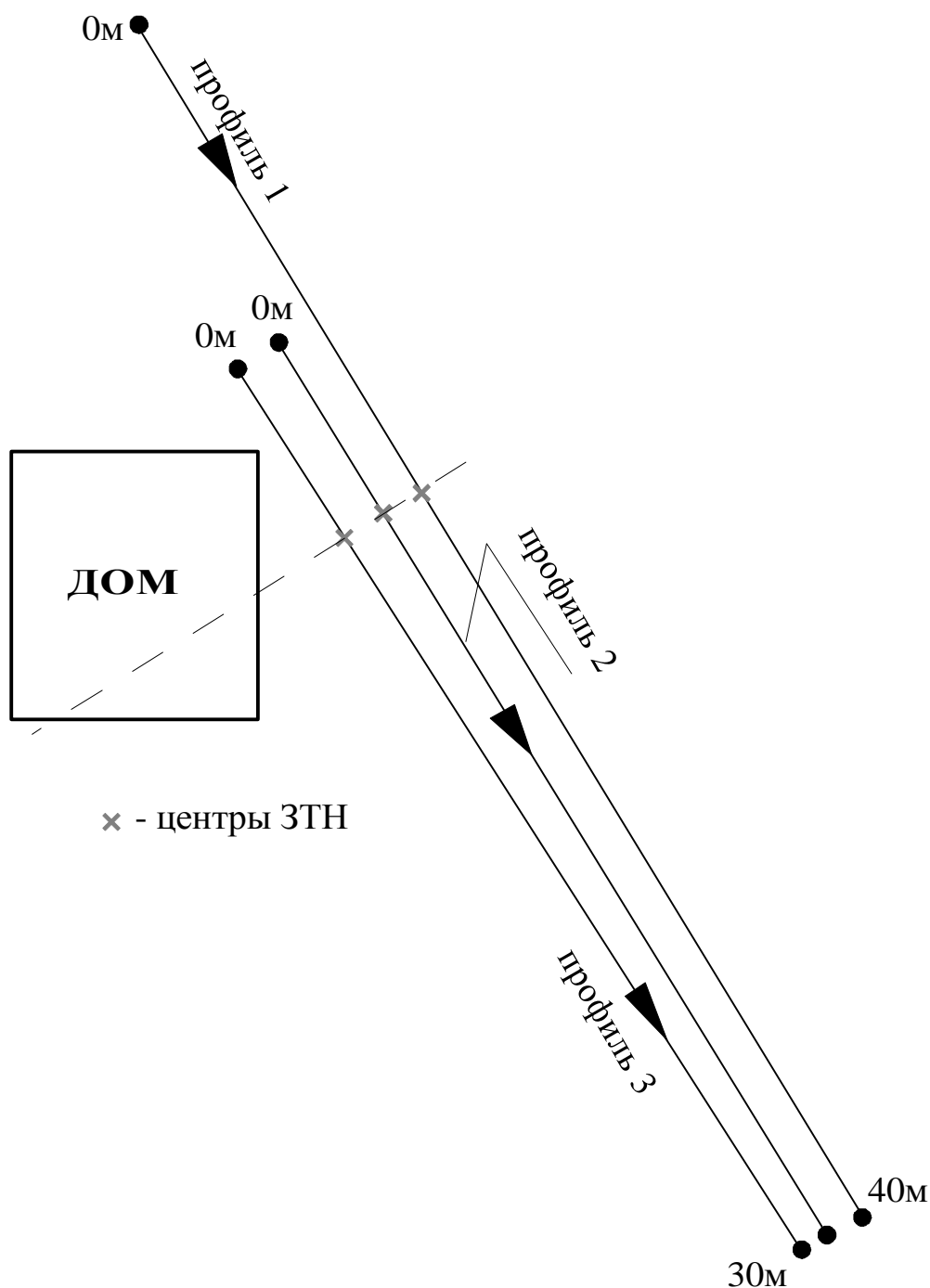


Рис. 6-1

Исследования участка начались с того, что был сделан максимально длинный профиль 1. Это сделано из тех соображений, что чем длиннее профиль, тем больше вероятность зацепить ЗТН. На рис.6-2 показан ССП-разрез по профилю 1. Здесь виден воронкообразный объект с центром около 15,5м.

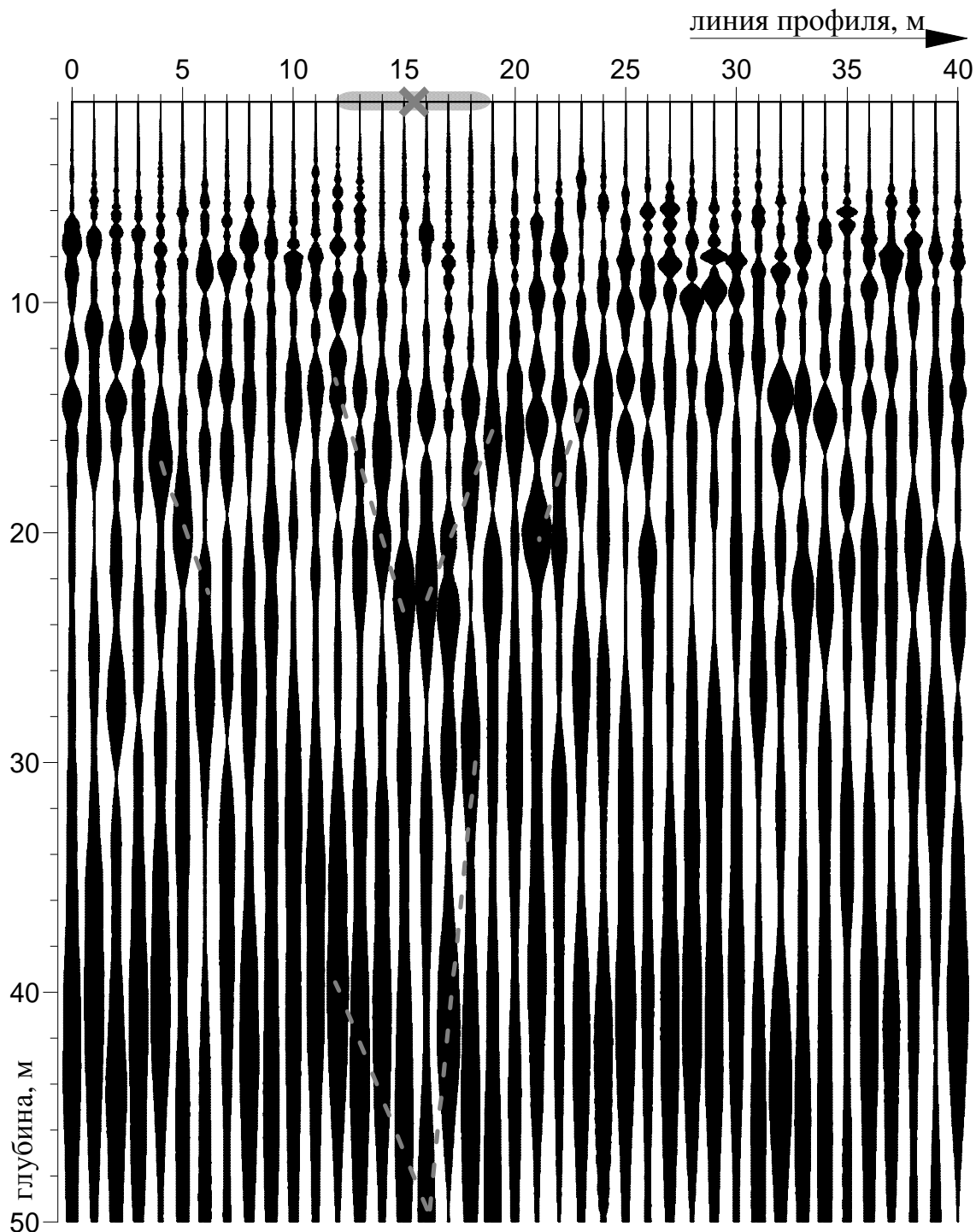


Рис. 6-2

Для того, чтобы понять, куда идет эта ЗТН, параллельно профилю 1 был сделан профиль 2. ССП-разрез по профилю 2 показан на рис.6-3.

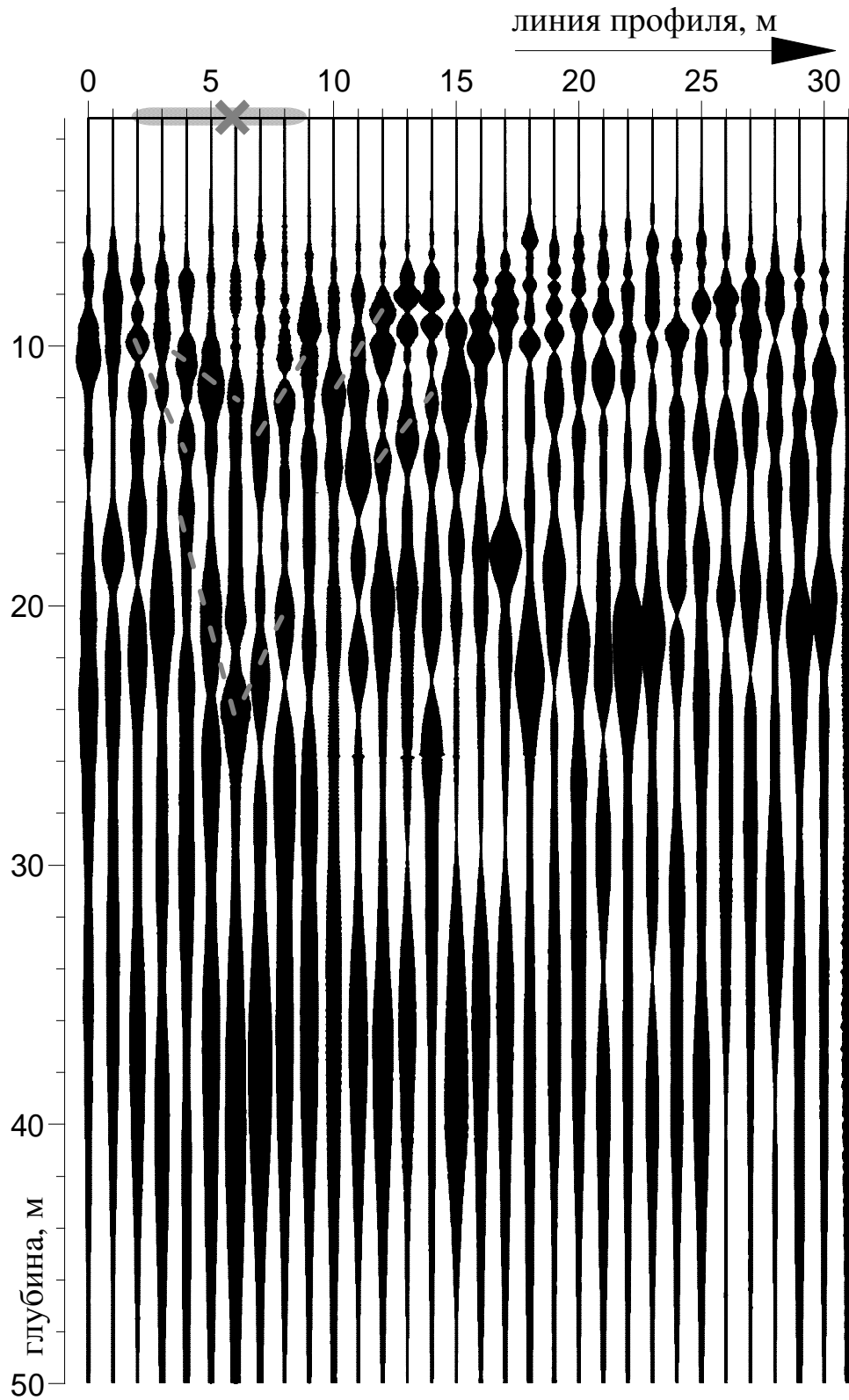


Рис. 6-3

Получается, что выявленная структура залегает примерно перпендикулярно профилю 1. Для того чтобы посмотреть протяженность этой зоны, был сделан профиль 3. ССП-разрез по профилю 3 приведен на рис.6-4.

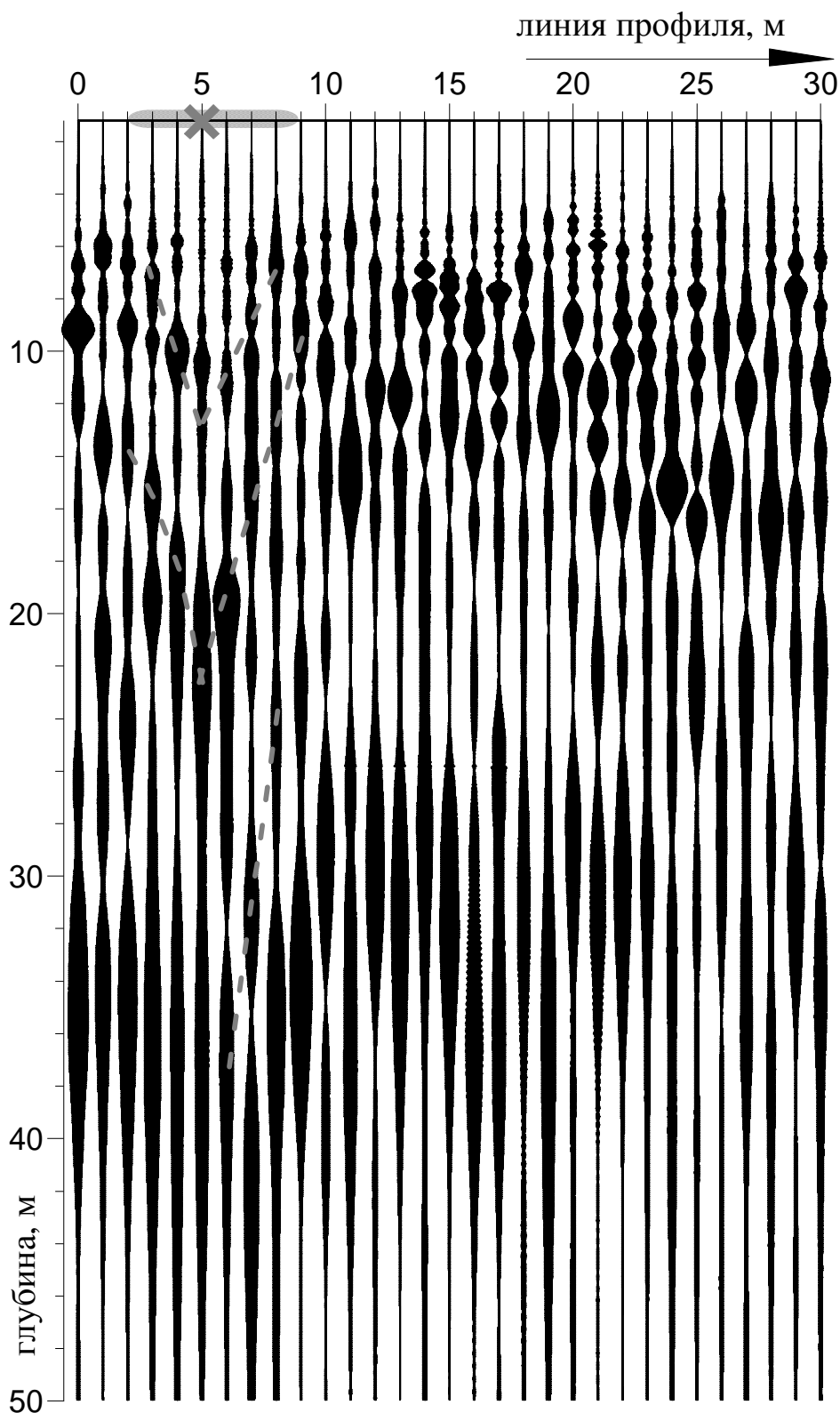


Рис. 6-4

В результате, пробурили скважину в центр ЗТН на профиле 3, и с глубины 22м пошла вода. Но эта работа имела еще один аспект.

Если центры ЗТН на всех профилях соединить линией, то продолжение этой линии уходит под дом. Это значит, что дом оказался в геопатогенной зоне и, кроме того, дом будет разрушаться. Дом в дан-

ном случае был особенным, что называется, домом миллионеров. Но от влияния со стороны ЗТН это не спасает. И действительно, как оказалось, дом после нескольких лет эксплуатации стал наклоняться, и у жителей возникли проблемы со здоровьем. В результате, нам пришлось вместе с заказчиком искать способы нейтрализации этого влияния.

В данном случае имел место случай, когда ЗТН в плане имела вид удлинённого объекта. Это удалось выявить несколькими параллельными профилями. В ряде случаев форма ЗТН имеет вид как бы пятна. Выявить это удастся пересекающимися в одной точке профилями.

Случай, когда удлинённая ЗТН уходит под дом – не редкость, и каждый раз, естественно, мы объясняем заказчику, что это значит. И каждый раз мы получаем подтверждение того, как ЗТН воздействует на здоровье. Надо сказать, что геопатогенные зоны тектонического происхождения не щадят никого – ни «приличных» людей, ни таких, как мы с вами.

6.1. Колодец или скважина

Как уже говорилось, вода, которую можно получить в ЗТН – это вода родниковая, напорная, идущая снизу вверх с колоссальных глубин. Получим ли мы ее с 30 метров скважиной или с 5 метров колодцем – никакой разницы нет. Это будет одна и та же вода. Но всё-таки, что предпочтительнее – колодец или скважина?

Считается, что вода из скважины чище, и чем глубже, тем она более чистая. Это заблуждение. Так, если в ЗТН попадает какое-либо токсичное вещество, то заражены будут окружающие источники воды на достаточно большом расстоянии. И не имеет значения, с какой глубины будут брать воду в этих источниках.

В смысле надежности, предпочтение следует отдавать колодцам. Согласно принципам теории надежности, надежность устройства определяется надежностью самого слабого звена. Для скважин самым слабым звеном является само бурение. Это определяется надежностью оборудования, опытом и добросовестностью буровиков. Вот это последнее – добросовестность – оказалось на практике решающим фактором.

Как я убедился за много лет, буровикам дать глубокую (100-200м) скважину без воды выгоднее, чем неглубокую - с водой. Используя ССП, мы обычно даем неглубокие точки водопритока. Самая глубокая, которая у нас была – 50м. Буровикам такие скважины нежелательны. И повсеместно, когда на небольших глубинах возникают признаки воды, буровики не выпускают эту воду и уходят на большие глубины. Часто в таких случаях люди остаются без воды.

Такие случаи известны практически во всех городах России, где используется метод ССП. Дело в том, что это на сегодняшний день единственный метод, который позволяет дать информацию не только о месте точки водопритока, но и о глубине, на которой можно взять воду. Во всех остальных случаях бурят наугад. В лучшем случае, по данным лозоходцев, и проскочили буровики воду или ее там действительно не было – определить невозможно.

Самое возмутительное, когда к такому обману прибегают самые мощные и успешные буровые компании. Ну как же можно лишать людей воды во имя собственного, еще большего обогащения?! Неоднократно мы буквально ловили на месте преступления буровиков на том, что они задавливали воду, вырывающуюся самоизливом, уходили на огромную глубину, где воды не было. Самоизлив скрыть невозможно, но они говорили, что это вода плохая. Так вот, вода, вырывающаяся фонтаном, не может быть «плохой». Тем более что это заявляется без всяческого анализа.

Что делать, как бороться с недобросовестностью буровиков, непонятно. Неужели и в этом деле ложь и воровство окажется победителями, как и практически во всех областях нашей жизни?!

В общем, исходя из этих обстоятельств, мы уже несколько лет стараемся давать рекомендации делать колодцы, а не бурить скважины. Здесь тоже не всё просто, и не всегда удается дать точную глубину колодца. Но, по крайней мере, с колодцем уже такого обмана быть не может. Если вода пошла, то ее уже не скроешь.

Рытьё колодцев имеет свои аспекты. В первую очередь, это касается техники безопасности. В общем случае, при рытье колодца в ЗТН вода появляется после того как будет пройдена глина. Глина, пока она сухая, очень прочна, и проходить ее крайне трудно. Особенно, если в нее впечатана галька. Затем, по мере приближения к воде, глина ста-

новится мягче. Но в последний момент, когда образуется выход к воде, всё происходит очень бурно, и возникает опасность для человека, находящегося в колодце. Опасность эта имеет три аспекта.

Первый – это человек теряет почву под ногами, и если он не привязан, то может провалиться, и это для него смертельно опасно. Поэтому человек, который находится внутри колодца, **ОБЯЗАТЕЛЬНО ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРИВЯЗАН**.

Второй – при переходе от глины к воде снизу резко вылетает порция глубинных газов. Некоторые из них могут оказаться губительными для человека. Поэтому с человеком, копающим землю в колодце, должен осуществляться непрерывный контакт. Чтобы если он потеряет сознание или в его поведении возникнут какие-то аномалии, его немедленно оттуда вытащить.

И третий, который заключается в том, что вода может поступать в колодец настолько бурно, что самостоятельно выбраться оттуда человек не успевает. И тогда его нужно оттуда быстро вытащить.

Когда процесс получения воды завершен (не имеет значения, скважиной или колодцем), необходимо проверить пригодность воды для использования. Для этого следует обратиться в санэпидстанцию. Обычно, в большинстве случаев, если вода прозрачная и приемлемая на вкус, заставить пользователей обратиться в СЭС очень трудно. Однако зачастую вода, кажущаяся просто отличной, может содержать субстанции, оказывающие на организм губительное действие.

Бывает, и это характерно для Выборгского района, вода содержит недопустимое количество фтора. Вода с фтором имеет превосходный вкус, но фтор – это сильнейший яд. Иногда вода радиоактивна. Нередко оказываются в воде бактерии, проникшие в ЗТН от выгребных ям или других источников загрязнения. Информацию об этом можно получить только с помощью СЭС.

Люди всегда должны помнить, что вода поступает из Земли, и уже хотя бы поэтому сливать в Землю какие-либо отходы без достаточной их очистки недопустимо.

И еще. Колодец, оказавшийся в ЗТН, может так же разрушаться, как и любое другое инженерное сооружение. В общем случае, колодец в этой зоне постоянно раскачивается в соответствии с наличием планетарной пульсации. Для того, чтобы это раскачивание не вызывало

разрушение колодца, для герметичности между кольцами следует использовать не жидкое стекло, которое является хрупким материалом, а резиноподобные герметики – гидроласт, гидротекс, бетонорапит.

Сейчас в России и некоторых других странах постоянно работают несколько компаний, которые с помощью метода ССП дают людям воду. Для меня это представляет огромный интерес. Я всегда помню, что нашим исследованиям подлечит природный объект, а природа всегда непредсказуема. Но вот сейчас можно сказать с уверенностью, что Ленинградская область, Подмосковье, Урал, Западная Сибирь имеют сходные условия и вполне пригодны для поиска воды. Южная Россия и Украина несколько отличаются. Там колодцы приходится делать существенно глубже.

Глава 7

О техногенных и природных катастрофах [12, 13]

Я бы хотел здесь еще добавить слово «внезапных». Потому что все аварии, катастрофы – это всегда неожиданно. Иначе бы их просто не было. А внезапные они потому, что неизвестна их физика. А была бы известна физика, то был бы возможен их прогноз.

Назначение этой книги – изложить физику явлений, которые никогда раньше не прогнозировалось.

7.1. О техногенных и природных землетрясениях

Как известно из истории развития физики, истинное значение обнаруженных физических эффектов, как правило, осознается далеко не сразу. Так и в данном случае, первоначально значение того, что земная толща представляет собой совокупность колебательных систем, не было осознано в полной мере, и это явление использовалось только для того, чтобы определять мощность породного слоя в кровле угольного пласта для оценки устойчивости кровли горных выработок.

Сейчас мне непонятно, почему я с самого начала, еще в 1977 году не подумал о том, что если мы живем на совокупности колебательных систем, то избежать резонансных явлений (и разрушений) невозможно.

Сама жизнь ткнула меня носом в эту беду в мае 1986 года, когда произошла авария на Чернобыльской АЭС.

Как оказалось, на ЧАЭС всё началось с того, что в машинном зале 4-го блока возникла вибрация, амплитуда которой выросла до немислимых значений, и оборвалась тем, что турбина провалилась под землю. В этот момент сейсмологи отметили сейсмособытие, а через 30сек взорвался реактор, что было отмечено как второе сейсмособытие. Эпицентр обоих толчков находился непосредственно под 4-м блоком ЧАЭС.

Не нужно было иметь семь пядей во лбу, чтобы догадаться, что это было не чем иным, как резонансным разрушением. Как известно, чтобы возникло резонансное явление, необходимо иметь колебательную систему и динамическое (вибрационное) воздействие на нее. Источником вибрационного воздействия была вращающаяся турбина, а колебательная система залегала в земной толще под этой турбиной. То есть, в полном соответствии с тем физическим эффектом, который был обнаружен за 9 лет до этого. При этом, как только частота вибрации приближается к собственной частоте залегающей в том месте колебательной системы, начинается рост амплитуды вибрации, который может достичь колоссального уровня и вызвать разрушение. На ЧАЭС эта беда произошла тогда, когда стали менять режим генератора. Вот тогда-то они и попали в резонанс.

Естественно, когда я высказал эту точку зрения, ко мне никто не прислушался, и я стал коллекционировать подобные истории. Оказалось, что точно по такому сценарию нередко разрушаются электростанции, насосные станции, железнодорожные пути...

То есть, те объекты, которые оказывают на грунт динамическое (вибрационное) воздействие. Понятно, что в условиях тотальной секретности я добывал эти данные с большим трудом, от очевидцев, и публикации на эту тему были невозможны. Что было общим во всех этих рассказах – это колоссальная вибрация, которая предшествовала аварии.

Первая открытая (незасекреченная) авария такого типа – это авария на Саяно-Шушенской ГЭС, которая произошла в 2009-м году. Повышенная вибрация в машинном зале там наблюдалась (кстати, как и на ЧАЭС) больше, чем за год до аварии. Амплитуда ее росла всё больше, и, наконец, было принято решение остановить гидрогенератор. Совершенно деморализованные начальственными криками, люди

совершили роковую ошибку. Они стали останавливать генератор медленно. При проходе через запрещенную скорость вращения начался быстрый рост амплитуды вибрации, и она увеличилась в 600 раз, что показал их же собственный самописец.

Как известно, причина этой аварии осталась непонятной. Но как можно не распознать в этом случае резонансное разрушение, я не могу себе представить. Но, с другой стороны, можно этих людей и понять. Если произнести слово «резонанс», то немедленно последует вопрос: «а где колебательная система, на которую воздействовал вибрирующий гидроагрегат?» И если сказать, что колебательная система залегает в земной толще, то это нанесет сильнейший удар по т.н. лучевой сейсморазведке. А этого допускать нельзя, потому что сейсморазведка считается самым мощным геофизическим методом, и все инвестиции в геофизику идут в основном в сейсморазведку.

Как известно, основой сейсморазведки является утверждение, что упругий импульс, возникающий в результате ударного воздействия на земную толщу, распространяется в этой толще во всех направлениях, и при отражении его от залегающих там границ может быть получен эхо-сигнал. А это возможно только в том случае, если никаких колебательных систем в земной толще нет.

Здесь возникла альтернатива. Либо, наконец, после стольких лет борьбы признать наличие в земной толще колебательных систем и прекратить резонансные разрушения на всей Земле, либо сохранить честь (весьма сомнительную) мундира сейсморазведки. Научные начальники выбрали второй вариант.

Как было показано выше, колебательные системы, залегающие в пределах ЗТН, имеют такие свойства (в частности, добротность), что резонансные разрушительные явления происходят именно в этих зонах.

Резонансные разрушения происходят очень бурно, взрывоподобно. При этом разрушению подлежит самое слабое звено. Либо сооружение проваливается в грунт (что чаще всего), либо вибрирующее устройство срывается со стопоров, либо его подбрасывает (в горных выработках такой сценарий развивается чаще всего), либо горная выработка резко обрушивается, и горные породы заваливают всё и всех, находящихся там. Называют такие события горными ударами. Думаю,

что их следует называть техногенными землетрясениями, и вот почему.

Практически на всех семинарах, посвященных проблемам землетрясений, можно услышать, что землетрясениям предшествует некая очень низкочастотная вибрация, рост амплитуды которой обрывается сейсмособытием. Получается, что и природные землетрясения тоже имеют резонансную природу?! Ну, вообще-то, это естественно. Если объект – колебательная система, то само по себе это влияет на всё, что с ним происходит. Но что же тогда является источником вибрации в случае природного землетрясения? В случае техногенного землетрясения источником вибрации являются различные механизмы. Как удалось выяснить, в случае природного землетрясения источником вибрации является планетарная пульсация.

Как уже говорилось, планетарная пульсация – это принципиально нестационарный процесс. Она постоянно изменяется как по амплитуде, так и по частоте, и когда ее частота приближается к собственной частоте залегающей в данном месте (в данной ЗТН) колебательной системы, начинается рост амплитуды, который обрывается сейсмолычком. Будет повторный толчок или нет, зависит от характера изменения частоты планетарной пульсации. Если она после первого толчка какое-то время остается неизменной, то амплитуда пульсации опять начнет расти, и опять достигнет того же значения, что и первый раз, и повторный толчок будет той же силы. Если частота уйдет достаточно далеко и/или амплитуда пульсации уменьшится, то повторный толчок если и будет, то значительно слабее, чем первый.

Отсюда следует, что давно возникшая гипотеза о том, что животные чувствуют приближение землетрясения по возникновению низкочастотной вибрации, оказывается верной. И если сейсмоопасные зоны обеспечить датчиками сверхнизкочастотной вибрации, то, надо полагать, проблема оперативного прогноза землетрясений будет решена.

Подтверждением изложенного здесь подхода может оказаться следующий момент. Если планетарная пульсация проявляется только в ЗТН, то значит, разрушительное действие землетрясения распространяется только на эти зоны. И действительно, при любом, сколько угодно сильном землетрясении, среди полной разрухи встречаются

отдельные здания, в стенах которых полностью отсутствуют какие-либо трещины.

В 2007 году был обследован храм Ваграмаберд в Гюмри (Ленинкан). Обойдя ССП-профилем по периметру храма, мы увидели, что ЗТН находится лишь на очень малом участке профиля. И при осмотре стен, увидели, что только в пределах этого участка в стенах храма имеются трещины. Эти трещины возникли при землетрясении 1988-го года. И вообще, Гюмри представляет собой интереснейший полигон для изучения этого явления. До сих пор можно видеть, что во многих местах города встречается ситуация, когда половина дома разрушена, а половина – даже без трещин в стенах, и там живут люди.

Вывод здесь очень простой. В сейсмоопасных районах следует выбирать участки для строительства, на которых отсутствуют ЗТН.

Если сравнивать между собой потери от техногенных и природных землетрясений, то наибольшие потрясения исходят именно от землетрясений техногенных. Эпицентры природных землетрясений зачастую приходятся на пустынные места, на океаны, тогда как техногенные землетрясения всегда бьют по болевым точкам – электростанциям, насосным станциям...

Техногенные землетрясения, по сути, являются лабораторной моделью природных землетрясений. Я однажды случайно наблюдал процесс развития упругого резонансного процесса. Это было при демонстрации работы 30-тонного излучателя «вибросейс», в поселке Быстровка, на полигоне Института Геофизики Новосибирского Академгородка. При плавном увеличении частоты его вибрации, при приближении частоты к 10Гц, излучатель, установленный на железобетонной станине, начал подпрыгивать. Высота его «подпрыгивания» стала увеличиваться, и его быстро обесточили.

Как мне пояснили, этот излучатель имеет такое свойство, что после его включения и приближении к этой частоте, он начинает прыгать, и если его не обесточить, то он спрыгнет со станины, что и было, когда это случилось первый раз. После этого его назвали Кузнечиком. К сожалению, моё объяснение, что это не является свойством излучателя, а происходит потому, что в точке его установки в земной толще находится колебательная система, частота которой оказалась равной той частоте, на которой прыгает излучатель, воспринято не было.

К сожалению, когда речь заходит о колебательных системах, залегающих в земной толще, сейсморазведчики информацию не воспринимают. А вместе с тем, было бы очень здорово с помощью такого вот излучателя исследовать параметры возрастания амплитуды колебаний при различных факторах. Это дало бы возможность создать методику точного прогнозирования момента и силы сейсмолчка.

Переход к Земле как совокупности колебательных систем, с позиций физики, аналогичен переходу от эры постоянного тока к эре электродинамики. Открытие колебательного контура оказалось спусковым механизмом для стремительного взлета уровня нашей цивилизации. Какие последствия вызовет переход нашего сознания от статических взаимодействий с грунтом к динамическим, сказать нельзя, но то, что прекратятся техногенные землетрясения, и будет создана надежная система прогноза природных землетрясений – это точно.

7.2. Некоторые подробности об аварии на СШГЭС

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС – это завершающий момент длительного процесса развития событий, как бы многозвенной цепи событий, каждое звено которой было шагом к аварии.

Первым элементом этого процесса можно считать выступления первого директора СШГЭС Брызгалова. Он многократно, при выступлениях на различных уровнях сетовал на совершенно непонятное явление, которое заключается в следующем.

При выпуске генератора заводом типа Санкт-Петербургского завода «Электросила», вибрация генератора минимальна. Положив руку на работающий генератор, мы ее практически не чувствуем. Вибрация не возникает ни при пуске, ни при остановке. Но стоит только установить генератор на объекте (например, в машинном зале какой-либо электростанции), вибрация ощутимо усиливается.

Появляются так называемые запрещенные скорости вращения. Это скорости, при которых начинается рост вибрации. Каждый генератор имеет собственный паспорт, в котором указаны эти запрещенные скорости, и инструкцию, согласно которой при запуске и остановке генератора эти скорости следует проскакивать как можно быстрее.

Удивительно, что одностипные генераторы имеют различные значения запретных скоростей вращения на различных электростанциях.

Эти явления известны, их учитывают, но природа их была непонятна.

Второй элемент – возникновение в 1989 году трещин в теле плотины СШГЭС. Причиной возникновения этих трещин посчитали некачественный бетон, и они были залечены иностранными специалистами соответствующими составами. При этом возникла вибрация генератора в рабочем режиме. Вибрация эта очень медленно и плавно возрастала, и к 2007 году достигла недопустимого уровня. Вибрация всего машинного зала была таковой, что стекла в окнах приходилось часто менять. Они покрывались молочным налетом, то есть микротрещинами.

Впрочем, эту вибрацию никак не связали с возникновением трещин в теле плотины.

В 2008 году гидроагрегат сдали в балансировку, потому что возникновение вибрации и ее усиление, как считалось, происходило именно по причине разбалансировки агрегата.

Когда отбалансированный агрегат поставили на место, уровень вибрации оказался на прежнем уровне, как будто его не балансировали. Понятно, что возникли обвинения и последовали санкции за то, что деньги на балансировку потратили, а саму балансировку не делали.

Наконец, вибрация (в рабочем режиме) достигла такого уровня, что решили агрегат остановить. Вот при этом и была сделана роковая ошибка, которая заключалась в том, что запрещенную скорость не проскочили как можно быстрее, а проходили медленно. Последовал рост вибрации, и при уровне ее, превышающем норму в 600 раз, агрегат сорвало с креплений...

Теперь рассмотрим причины всех этих событий.

Если бы Брызгалов имел радиотехническое образование, то он бы знал, что причиной роста вибрации в данном случае может быть только наличие резонансных явлений. Он, разумеется, не мог знать, что в земной толще находятся колебательные системы. Но если без увеличения энергетических затрат увеличивается амплитуда вибрации, то это однозначно является следствием резонансных явлений. И здесь

можно делать только одно – искать колебательную систему, без наличия которой резонанс невозможен. Собственные частоты колебательных систем, залегающих в земной толще, имеют различные значения, и поэтому в каждом отдельном месте установки агрегата значения запрещенных скоростей вращения различны.

Значения запрещенных скоростей вращения могут изменяться или при переносе агрегата в другое место, или если изменяется набор собственных частот в данном месте.

В 80-х годах шло развитие трещинообразования в теле платины, а каждая трещина – это граница в толще, которая является основанием агрегата (всего машинного зала). Каждая новая граница – это еще одна собственная частота. Если стала расти вибрация в рабочем диапазоне скоростей вращения турбины, значит, в земной толще (вместе с железобетонным фундаментом) появились колебательные системы, собственные частоты которых близки к рабочей частоте вращения вибрирующего устройства.

Заделка трещин в железобетоне любым составом не устраняет наличия акустических границ там, где эти трещины были. И поэтому заделка трещин не влияет на колебательные свойства массива.

Балансировка турбины не могла дать никаких результатов, поскольку причина вибрации – набор границ, определяющих набор собственных частот, остался прежним.

Железобетон очень прочен, и самым слабым звеном оказались крепления гидроагрегата. Поэтому результатом резонансного разрушения стало то, что его сорвало с креплений.

А теперь посмотрим, откуда взялись трещины в теле плотины.

Русло реки или ручья – это всегда совокупность ЗТН, и при строительстве гидротехнических сооружений влияние ЗТН практически неизбежно. Если тело плотины оказалось в пределах мощной ЗТН, то это пространство обладает ощутимой планетарной пульсацией, и железобетонное сооружение, оказавшееся в таких условиях, неизбежно должно разрушаться.

Разрушение усугублялось динамическими условиями эксплуатации. Постоянно падающая вода вызывает постоянные колебания всех находящихся в зоне опоры СШГЭС колебательных систем. Вот именно это заставляло трещины постоянно раскрываться, что приводило к

увеличению добротности этих колебательных систем, и следовательно, к увеличению амплитуды вибрации.

Вывод очень прост. Несмотря на восстановление машинного зала и установку новых гидроагрегатов, условия для повышенной вибрации не устранены, и возможность повтора ситуации не исключается.

Но что же делать?

При выборе места для строительства ГЭС необходимо отыскивать на реке места либо с отсутствием ЗТН, либо с не очень мощными ЗТН.

7.3. Причины разрушительного действия ЗТН

Разрушительное действие ЗТН носит комбинированный характер. Но на первом месте среди всех факторов находится безусловно планетарная пульсация.

7.3.1. Еще о планетарной пульсации

Неумолимое знакопеременное воздействие приводит в ветхое состояние сооружения. Оно рвет кирпичную кладку, создает трещины в стенах домов и заставляет их периодически закрываться-открываться. После многолетнего такого воздействия даже незначительное внешнее дополнительное динамическое воздействие может завершить разрушение дома.

На границах ЗТН, где неподвижный грунт соседствует с пульсирующим, на несущие конструкции инженерных сооружений воздействует знакопеременное изгибное напряжение. При этом излом возникает в самых прочных элементах сооружений, неспособных к изгибным деформациям. Прежде всего, разрушается железобетонная плита, на которой возводится всё сооружение.

Технология монолитного строительства считается самой надежной, перспективной и экономически выгодной. И если бы не планетарная пульсация, так бы оно и было. Железобетон – очень прочный материал, если на него воздействовать простым давлением. Однако, вместе с тем, огромное количество железобетонных плит лопаются даже еще до начала возведения на них сооружения.

Первый раз я встретился с этой проблемой еще в 1993 году, когда случайно присутствовал при обсуждении такого вот разрушения плиты, которая была возведена на территории ЛАЭС. Плиту отлили осе-

нию, а весной, когда сошел снег, оказалось, что она лопнула. Исследование образовавшейся трещины показало, что в образовавшейся трещине арматуры нет, а вместо нее – коричневый порошок. Надо полагать, это был окисел железа. Находившиеся там люди были в шоке. Такого быть просто не может.

Я тогда ничего в этом не понимал и тоже считал, что этого быть не может. Но спустя некоторое время стал обращать внимание на то, что в стенах некоторых домов, возведенных по технологии монолитного строительства, встречаются трещины. Но ведь понятно же, что в полностью железобетонной коробке в стенах могут возникать трещины только тогда, когда лопнет плита-основание.

Со временем стало ясно, что не настолько уж это невозможно. Дело в том, что железобетонные конструкции совершенно не выдерживают изгибные напряжения. А именно это и происходит на границах ЗТН.

Значит, что же получается. Допустим, плита лопнула пополам. Тогда одна половина лежит на неподвижном грунте, то есть, вне ЗТН, а вторая колеблется вместе с колеблющимся грунтом. Но стены-то намертво вмурованы в эту плиту, и возникновение в них трещин в таких условиях совершенно неизбежно.

В 2002 году мы делали изыскания в парке им. Сахарова (СПб) в связи с угрозой строительства дома в непосредственной близости от других, уже функционирующих жилых домов. Что называется, уплотнительная застройка. Основная наша задача сводилась к тому, чтобы посмотреть, что будет с этими домами при возведении еще одного дома вблизи от них. Дело в том, что в Санкт-Петербурге сплошь и рядом подобное строительство вызывает разрушение соседних домов.

Мы определили, что в результате этого строительства окружающие дома пострадают, но не настолько, чтобы была опасность их обрушения. А вот что касается самого строящегося дома, то здесь предвиделись серьезные проблемы.

На рис.7-1 показан ССП-разрез, полученный при профилировании на территории будущего дома, который там в дальнейшем построили, и адрес его – ул. Замшина д.31 корп.4.

Можно сказать с уверенностью, что если под домом залегает такое количество сбросов, как показано на рис.7-1, то разрушения этого

дома не избежать. И действительно, в плите, лежащей в основании этого дома, образовались трещины. С одной стороны, плита спрятана под домом, и, казалось бы, о трещине узнать невозможно. Но, с другой стороны, трещины в стенах дома, построенного по технологии монолитного строительства, как уже говорилось, могут возникнуть только в том случае, если лопнула плита его основания. На рис.7-2 приведена фотография этого дома, сделанная еще до его заселения, в 2005 году, когда строительство было еще не завершено. Стены разошлись, и чтобы их удержать, пришлось поставить снизу доверху уголкового стяжки.

Дальше события развивались вполне логично. После того как была ликвидирована эта вертикальная трещина, возникло несколько новых, поскольку в результате свободного колебания отколовшейся части плиты не быть трещин в стенах не может. В результате, весь дом оказался покрытым непрерывной сетью из стяжек и анкеров, см. рис.7-3 и рис.7-4.

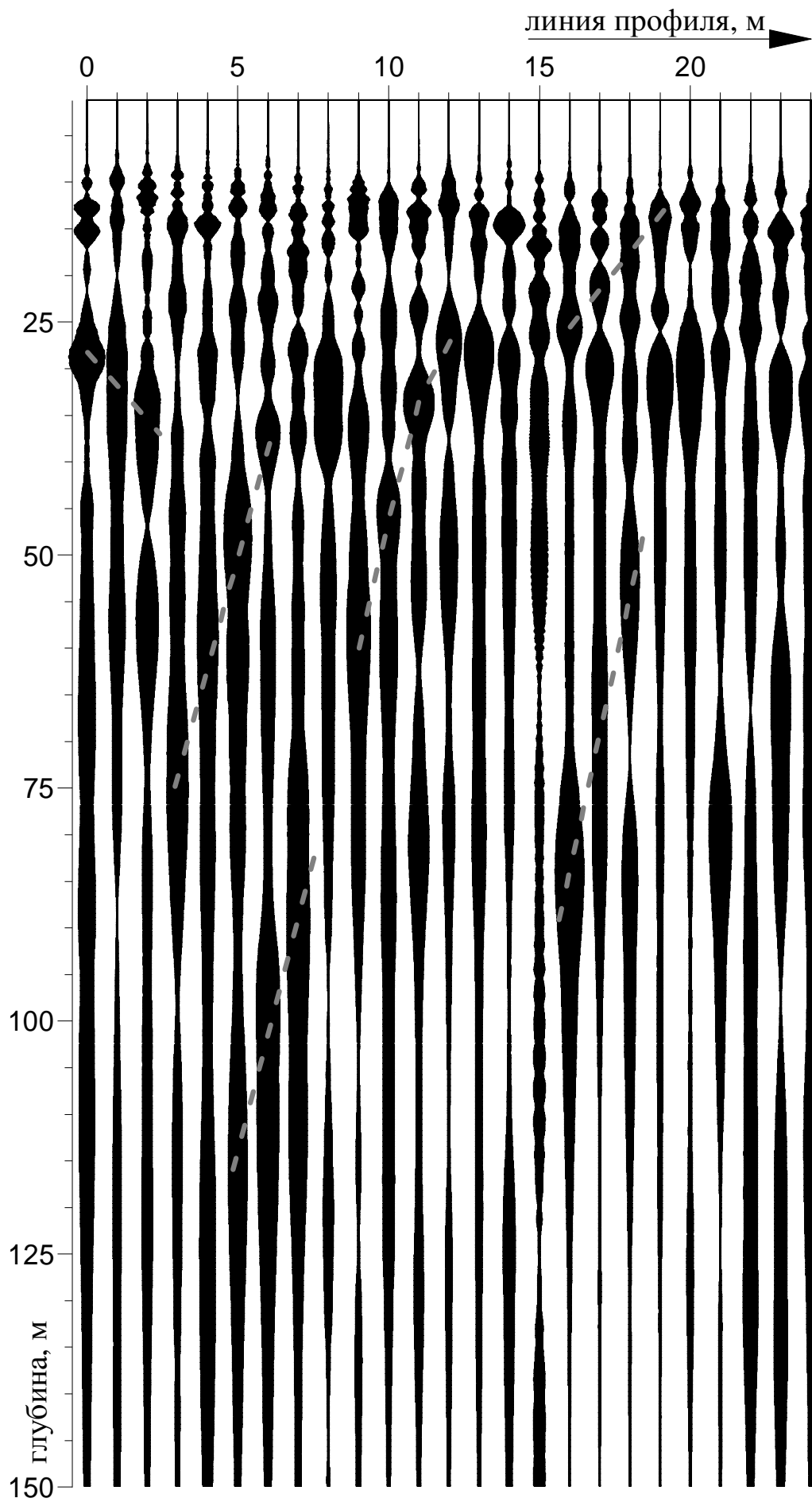


Рис. 7-1



Рис. 7-2



Рис. 7-3

Жители этого дома приглашали экспертов, чтобы получить объективную оценку состояния дома. Они (жители) не знали, что экспертные организации созданы не для того, чтобы объективно оценивать состояние инженерных сооружений, а для того, чтобы давать заключение, заверенное печатью, угодное руководству города или тому, кто оплачивает создание этого заключения.

Иначе и быть не может. У экспертов ведь нет никакой аппаратуры, с помощью которой можно было бы что-то понять о состоянии обследуемого объекта. На одной из конференций, посвященной надежности инженерных сооружений, я задал вопрос эксперту, сделавшему доклад об эффективности экспертизы, какой аппаратурой они пользуются. Ответ я не получил, а мой вопрос посчитали бестактным и некорректным.

Тогда, поняв, что от экспертов толку мало, жители дома №31, корп.4 создали комиссию из жильцов этого дома и посчитали прямо из квартир количество трещин в стенах. Количество видимых трещин превысило 2000. Возникает вопрос: можно ли считать несущими конструкциями железобетонные стены, в которых такое количество трещин. И тогда уж еще один вопрос: если в результате сильного порыва ветра этот дом рухнет, на чьей совести будет гибель людей?



Рис. 7-4

На углу пр. Наставников и ул. Ударников (СПб) в таком же состоянии находится целый куст современных домов, построенных по той же технологии. На этом месте раньше, перед строительством этих домов было озеро...

Но вернемся к плите, которая лопнула в 1993 году на территории ЛАЭС. Понятно, что под частью плиты оказалась ЗТН. В результате многократных изгибных знакопеременных напряжений в плите появилась микронарушенность. Так уж сразу она лопнуть не может из-за скрепляющего действия арматуры. Но поскольку плита стала проницаемой для выходящих из земли газов, то в совокупности с атмосферными осадками сформировалась агрессивная среда, под воздействием которой арматура скорродировала, и уже ничего не мешало образоваться полноценной открытой трещине.

7.3.2. Опасность дополнительного динамического воздействия

При удачном стечении обстоятельств, а также при благоприятном соотношении параметров ЗТН и конструкции инженерного сооружения, разрушительное влияние ЗТН может быть минимальным. Раскачивается себе дом под влиянием планетарной пульсации, и трещины раскрываются – закрываются, но дискомфорта из-за этого никто не ощущает. Но в какой-то момент скорость разрушения может внезапно увеличиться, и дом рухнет.

Причина ускорения разрушения – появление дополнительной динамической составляющей в воздействии инженерного сооружения на грунт. Иначе говоря, к этому приводит появление в доме вибрирующего механизма. Это может быть создание в доме спорт-зала, установка разного рода настольных прессов, и даже в ряде случаев, влияние стиральной машины. Приведем примеры.

3-го июня 2002 году разрушился дом №8 корп.3 на ул. Двинской (СПб). Четыре человека погибло. Мы исследовали этот случай с помощью метода ССП, и сейчас можно с уверенностью сказать, как и почему это произошло. Корпус 3 и корпус 2, находящиеся рядом – одинаковые, четырехсекционные блочные дома постройки 1970-го года. Оба использовались как общежития.

На рис.7-5 приведена схема расположения этих двух корпусов.

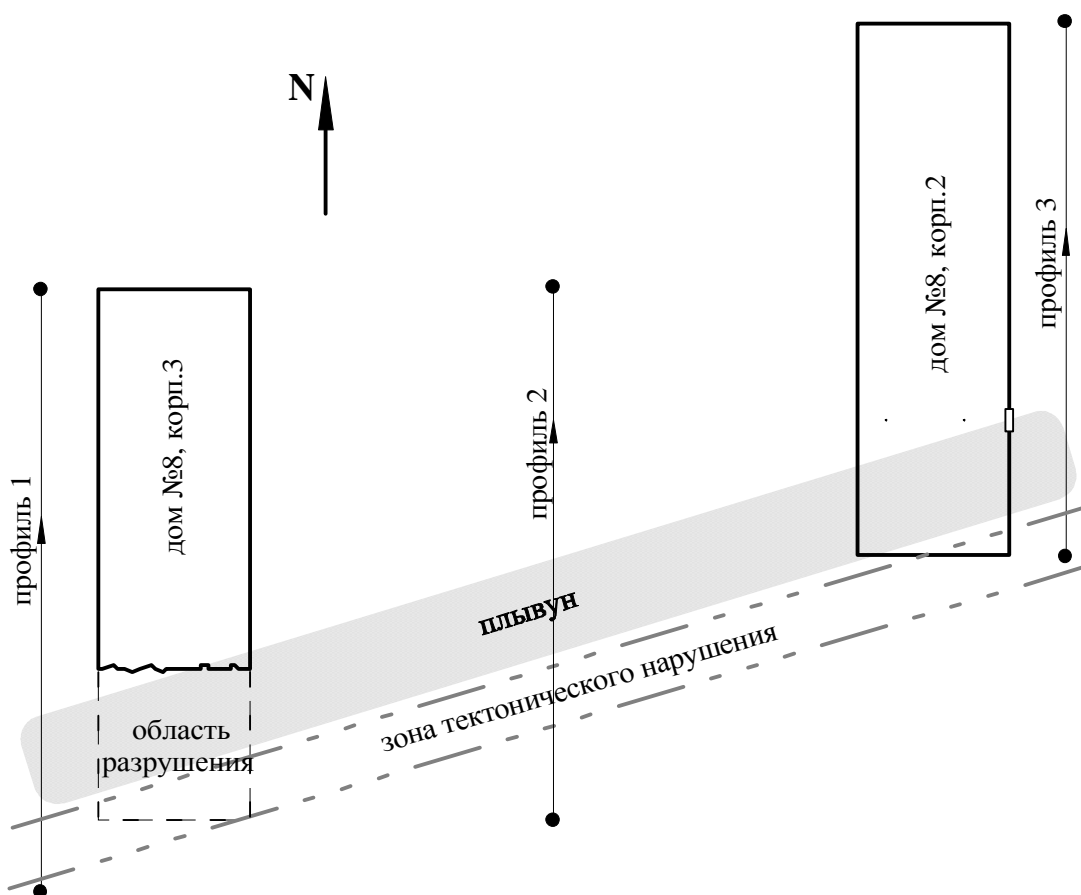


Рис. 7-5

Как теперь стало понятно, процесс разрушения начался лет за 10 до того как произошла катастрофа. В 4-й, южной секции корпуса 3 подвал был сдан под спортивную секцию. Вид спорта – культуризм и тяжелая атлетика. Основной элемент спортивных занятий – бег по спорт-залу с грузом. Спустя какое-то время стала проявляться сырость, и спортсмены покинули это помещение.

Однако сырость продолжала нарастать, и в подвале появилась вода, уровень которой все время поднимался. Время от времени приезжал водоканальский спецтранспорт, который эту воду откачивал. Последний раз откачивали воду за день до разрушения.

Разрушение дома выглядело следующим образом. 4-я, крайняя секция дома отделилась от остальных трех, и как бы с поворотом, как если бы фундамент этой секции потерял опору, упала.

Дальнейшее обследование территории вокруг этих двух домов позволило сделать следующие выводы.

Между четвертыми секциями 2-го и 3-го корпусов залегает зона тектонического нарушения, и рядом с ней – пливун. Пливун – это объект, который залегает (тогда, когда он есть) в верхних слоях зем-

ной толщи, и находится он в непосредственной близости от ЗТН. Плывун содержит в себе ило-подобную обводненную субстанцию, которая находится под повышенным давлением. Подпитывается плывун водой от находящейся рядом с ним ЗТН. Герметичность этого объема плывуна обеспечивается глиняной как бы корочкой. Под домом, в принципе, может быть плывун, но этого никто не почувствует, если только не произойдет его разгерметизация. Тогда эффект будет такой, как если бы проткнули камеру, на которой вы сидите. То есть, дом теряет опору.

В данном случае, плывун потерял герметичность из-за того, что в результате динамического воздействия со стороны спортсменов потрескалась глиняная корочка. Из плывуна стала выходить вода, фундамент стал оседать, из-за чего скорость выхода воды из плывуна стала увеличиваться, и, наконец, 4-я секция оторвалась от третьей и упала.

Май 2002-го года был жарким и засушливым, но после падения секции дома на том месте, где он стоял, стал бить ключ. Сначала бурно, потом слабее, и через несколько дней этот источник иссяк, оставив сильнейший запах сероводорода. Материал, находящийся в плывуне, содержит гумус, и поэтому вода из плывуна, немного постояв в присутствии кислорода, начинает пахнуть сероводородом. На рис.7-6 приведена фотография оставшегося фундамента обрушившейся секции. Он изогнут, поскольку грунт, который служил его основанием, был, по сути, плывуном. Плывун исчез, и фундамент, потеряв опору изогнулся.



Рис. 7-6

Вода вышла из пливуна по всей его длине, вплоть до дома №8, корпуса 2. И, в результате, ушла опора из-под фундамента южной секции 2-го корпуса. Точно так же, как и в 3-м корпусе, эта секция стала отделяться от остальных трех секций. Об этом свидетельствует появление трещины между 4-й и 3-й секциями на верхних этажах. А также изгиб шахты лифта между этими секциями.

Слава Богу, удалось выселить людей из этого дома (второго корпуса) и не допустить повторения того, что случилось 3-го июня.

Вот так возникновение динамической составляющей на грунт привело к такой цепочке событий.

Гораздо более быстрый процесс разрушения чуть было не привел к аварии дома №11 по Шпалерной улице (СПб). Это старый 6-этажный дом постройки 1900-го года. Трещины в нем развивались медленно и плавно. Некоторые из трещин раскрылись до 12см. Но дом был армирован стальными стяжками и стоит до сих пор.

Причину разрушения этого дома удалось случайно обнаружить при проведении ССП в подвале. На рис.7-7 приведен полученный при этом ССП-разрез.

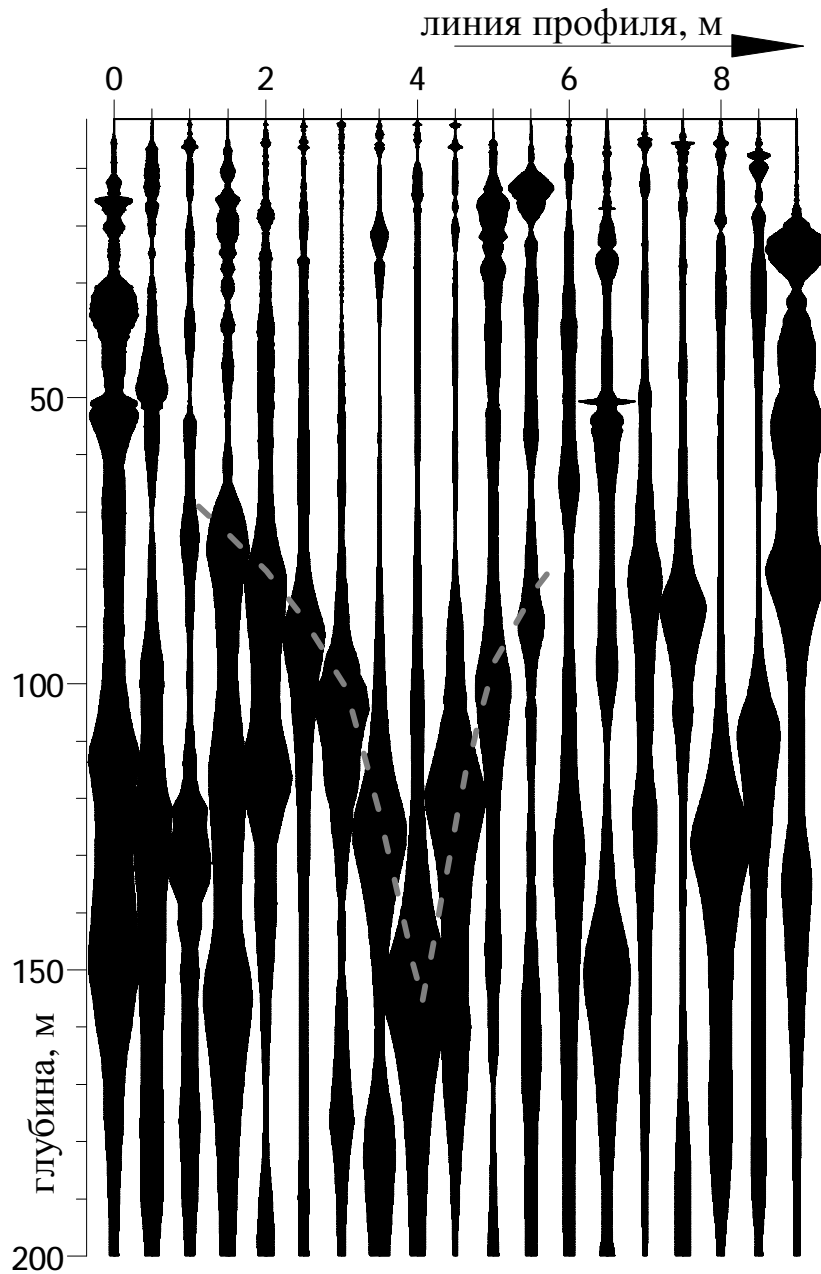


Рис. 7-7

Такой идеальной формы воронкообразный объект удастся встретить очень редко. Параметры этой ЗТН таковы, что любое динамическое воздействие в этой зоне может привести к разрушению дома. Именно об этом я и предупредил жителей этого дома. Однако, видимо, плохо объяснил, и они не поняли уровень опасности. Через неделю после этого они мне позвонили и рассказали следующее.

Сосед, квартира которого находится строго над выявленной нами ЗТН, купил стиральную машину-автомат. При первой же стирке, во время отжима возникла вибрация всего дома (!!), которая стала плавно возрастать, и достигла такого уровня, что все жители дома выскочили на улицу. Всем повезло, что из-за этой вибрации машина «побе-

жала» по кухне, и поскольку шнур питания ее был коротким, то вилка его выдернулась из розетки. Если бы не эта счастливая случайность, то дом, без сомнения, разрушился бы.

Представьте себе: 6-этажный дом с кирпичными стенами толщиной 2м мог разрушиться из-за вибрации какой-то 40-килограммовой стиральной машины... Вот таково действие динамического воздействия в зоне тектонического нарушения.

И несколько слов о параметрах этой ЗТН. Диапазон глубин воронкообразного объекта – от 70 до 150м. то есть, диапазон частот колебательных систем, в соответствии с выражением (1) – от 16Гц до 36Гц. Добротность этих колебательных систем превышает 100. Это значит, что амплитуда вибрации от динамического воздействия в этом диапазоне частот возрастет более чем в 100 раз.

Люди продолжают там жить, и любая случайность может привести к их гибели. Одна из таких причин – это быстрые, ритмичные танцы молодежи.

7.3.3. Информация о разрушении Дворца Торжеств в Израиле

<http://www.1tv.ru/news/world/130452>

25 мая 2001, Пятница, 21:58

«в Израиле продолжают спасательные работы на месте обвалившегося банкетного комплекса "Версаль"»

Этой ночью в банкетном дворце проходили свадебные торжества, и в какой-то момент здание стало разрушаться в буквальном смысле, как карточный домик. Под завалами сразу же оказались до 500 человек. К этому часу известно о 26 погибших. Те, кого смогли выволить из-под обломков, доставлены в больницу, но сколько людей еще остаются в каменном плену, точно не известно.

В Израиле ночную трагедию называют самой страшной в истории государства. Президент Путин направил телеграмму соболезнования президенту Израиля, в которой передано искреннее сочувствие всех россиян родным и близким погибших и раненых.

Израильские средства массовой информации уже назвали произошедшее в зале для торжеств "Версаль" в иерусалимском районе Тальпиот самой страшной трагедией за всю историю страны.

Это случилось в самый разгар праздника, когда многочисленные гости, а их было около 700, поздравив молодых и как следует выпив и закусив, пошли танцевать на верхний этаж особняка. Ровно без семнадцати одиннадцать вечера по местному времени раздался страшный треск и грохот. Пол третьего этажа, где танцевали гости, рухнул на второй этаж, где продолжался банкет. Перекрытие между вторым и первым этажами не выдержало, и люди, каменные плиты и праздничные столы полетели вниз примерно с высоты 18 метров.

Увидеть, как это выглядело изнутри, стало возможным благодаря тому, что один из гостей в этот страшный момент снимал происходящее на любительскую видеокамеру.

Сейчас на месте трагедии продолжают спасательные работы. На этот момент, количество погибших 26 человек, более трехсот получили ранения. В числе раненых и невеста. Жених не пострадал. В настоящее время сотни израильтян выстроились в очереди в больницы, куда доставили пострадавших, для того чтобы сдать свою кровь. Спасатели с собаками продолжают искать уцелевших.

По различным оценкам, под руинами еще могут оставаться около ста человек. Одна из наиболее вероятных причин случившегося - ошибка при строительстве здания пятнадцать лет назад, или при его ремонте. Владелец здания арестован.

К сожалению, в Израиле, по, тому же принципу, по которому был построен разрушенный дом, есть еще несколько тысяч домов. Израильские специалисты предполагают, что в случае даже малейшего землетрясения десятки тысяч людей лишатся своих жилищ".

Я пытался через израильские СМИ объяснить, что авария произошла из-за того, что возник резонанс залегающей в земной толще под дворцом высокодобротной колебательной системы с ритмом танцев, но никто на это не отреагировал.

7.4. Об инженерных изысканиях и проектировании инженерных сооружений [14]

История не оставила нам имя человека, который предположил, что причина внезапных разрушений инженерных сооружений (ИС) заключается в особенностях геологического строения.

Внезапные разрушения ИС происходили во все времена, но случилось это довольно редко, несистемно, и причины разрушений никогда не находились. Собственно, потому они и называются внезапными.

В первой трети XIX века, когда в связи с началом железнодорожных перевозок активизировалось строительство вдоль железнодорожных путей, внезапные разрушения ИС стали виднее. Было замечено, что разрушения, в том числе, и железнодорожных путей, зачастую происходят в одних и тех же местах. Вот этот факт и навел на мысль о наличии связи разрушений с геологией.

Для того, чтобы попытаться иметь прогноз внезапных разрушений ИС, было создано новое направление в геологии, первоначально получившее название подповерхностной геологии. Подповерхностной – потому что бурить предполагалось на глубину бм. Откуда возникла такая глубина?

Любая область знания при своем возникновении опирается на те или иные представления. Некоторые из исходных представлений возникают на интуитивном, чувственном уровне. В данном случае, очевидным показалось, что влиять на надежность ИС могут какие-то объекты, какие-то дефекты в строении грунта, находящиеся на глубинах, не превышающих бм. Непонятным образом возникла уверенность, что если дефект грунта находится на больших глубинах, то на надежность ИС он не повлияет.

Исследования шли двумя путями. Первый путь – собственно прогнозирование, когда бурение осуществляется перед началом строительства, для определения свойств грунта. Второй путь - бурение после внезапного разрушения, для поисков причин аварии.

В дальнейшем эта область знания стала называться инженерной геологией. Инженерно-геологические изыскания превратились в огромный исследовательский комплекс. Они обросли специальной аппаратурой, позволяющей осуществлять статическое зондирование, появились методы исследования извлеченного керна, возникла целая отрасль – инженерная геофизика. Однако несмотря на обилие методов и средств современной инженерки, за все прошедшие 150 лет ни разу не удалось осуществить ни одного прогноза разрушения ИС.

Несмотря на это, разрастание этой области знания в РФ непрерывно продолжается. Существует множество НИИ, и центральный, в Москве – АИИС (Ассоциация «Инженерные Изыскания в Строительстве»). В каждом геологическом, горном и строительном институте существуют кафедры Инженерной геологии. Законодательно закреплена обязательность проведения инженерно-геологических изысканий на предпроектной стадии строительства всех ИС.

Казалось бы, зачем? Насколько мне известно, в других странах давно уже инженерные изыскания не являются обязательными. В самом деле, если прогноз разрушений всё равно невозможен, то зачем это делать?

Мне стало интересно, неужели действительно каждый раз перед строительством делают изыскания в полном объеме, несмотря на то, что заведомо известно, что результат их, по сути, нулевой. Ну не должен нормальный человек добросовестно выполнять никому не нужную работу!

И действительно, мои собственные изыскания показали следующее:

1. количество пробуренных скважин не превышает 20% от заактивированных;
2. геологический журнал заполняется еще до начала бурения.

Стоимость инженерно-геологических изысканий доходит до 10% от стоимости всего строительства. Но, как оказалось, эта бессмысленная деятельность полностью себя окупает, так как строители, оплатившие эту «услугу», не несут ответственности в случае внезапного разрушения возводимого ими ИС.

Но это только одна сторона вопроса. Другая сторона заключается в том, что заключение, которое дают изыскатели, является основанием для проектной организации, осуществляющей проектирование и расчет ИС. Но как относиться к расчету ИС, которое на самом деле будет существовать в условиях реального грунта, а не вымышленного буровиками и специалистами инженерной геологии... Да, действительно, расчет ИС, выполненный на основе фиктивной информации, сам является фикцией.

Случайно удалось поставить интересный эксперимент. Выполнив изыскания на площадке под дом №31 корп.4 по ул. Замшина (СПб), я

организовал передачу нашего отчета строителям, которые должны были строить этот дом. Они первый раз в жизни получили реальную, а не выдуманную информацию о том, как будет вести себя грунт после возведения сооружения. И, надо сказать, встали в тупик. Хотя, на самом деле, следовало просто создать мостовую конструкцию, чтобы не опираться на грунт в зоне сброса. И уж, во всяком случае, не применять технологию монолитного строительства. Строители отдали наш отчет проектировщикам, которые, в свою очередь, встали в тупик. Они не умеют, их никто не учил рассчитывать и проектировать сооружения, которые будут существовать в условиях реального грунта. Посоветовавшись со строителями, они решили пойти обычным путем. А именно, купить в тресте ГРИИ (Геодезических Работ и Инженерных Изысканий) справочку, которая свидетельствует, что инженерные изыскания были проведены, и что строить можно в данном месте и в соответствии с замыслом архитектора. Вот эта справочка как раз и стоит те самые 10% от стоимости строительства. Так что удовлетворены были все участники. Инженерные геологи, проектировщики, строители. Жители дома, естественно, не в счет. Мы тоже были удовлетворены, так как получили возможность проверить эффективность нашего прогноза.

Но вернемся к исходным позициям.

Итак, изначальное назначение инженерно-геологических изысканий – прогнозирование внезапных разрушений ИС. Но по своей сути, прогнозирование – это исследовательская работа, направленная на изучение причин прогнозируемого явления и процессов, которые завершаются этим явлением. Поэтому прогнозирование возможно лишь тогда, когда известны причины и понятны эти самые процессы.

Что касается внезапных разрушений ИС, то здесь не было до некоторых пор никакого понимания, почему они происходят. Вот это отсутствие понимания отражено в самом названии «внезапные». Когда явление называют внезапным, то тем самым, признаются в его не прогнозируемости. И до тех пор, пока не было представлений о причинах разрушений ИС, можно считать, что инженерных изысканий просто не существовало.

Первая гипотеза о возможной связи между наличием процесса разрушения ИС и результатами геофизических исследований возник-

ла в 1993 году, когда были обнаружены разрушающие свойства ЗТН. В настоящее время можно сказать, что метод прогнозирования разрушения ИС существует, но это не инженерная геология, а инженерная геофизика. А именно, метод ССП.

У меня нет иллюзий, что метод ССП в обозримом будущем будет принят на вооружение для прогнозирования разрушений ИС, но то, что у этой проблемы нет другого решения, это точно.

7.4.1. Башня Газпрома

Некоторое время назад было принято решение построить в СПб некое сооружение, которое ознаменовало бы собой правление великой градоначальницы. Ну, понятно, что короля играет свита. И если свита – лизоблюды, то правителю не быть великим.

Для строительства 500-метровой башни Газпрома был выбран треугольничек суши между Невой, впадающей в нее рекой Большая Охта и Комаровским мостом. Ровно напротив Смольного собора, этого замечательного творения Растрелли. Здесь сошлось вместе несколько знаменательных моментов. Во-первых, этот колосс должен был утереть нос этому замухрышке – Смольному собору, который в высоту не превышает каких-то 80м. Во-вторых, на этом треугольничке раньше находился легендарный Петрозавод, основанный Петром Великим на месте шведской крепости Ниеншанц в 1721 году.

Это ли не достойный памятник правлению великой как бы государыни! Правда, здесь были некоторые сомнения в возможности этого предприятия. Во-первых, из соображений устойчивости, чтобы быть высотой 500м, башня должна была уходить под землю на 80м. Но в Петербурге это дело не проходит. Строители уже много раз пытались освоить подземное пространство в нашем городе. Но на глубине не более 10м начинается поступление напорной глубинной воды, которую не остановить и не откачать. Во что это обошлось при строительстве 2-й сцены Маринки, известно. Я думаю, там история еще не закончилась. Вода – ведь это не главное бедствие, а сигнал о разрушении сооружения. Так что о разрушении этого концертного зала мы, я думаю, еще услышим.

На Гражданке есть техногенные озера, в которых летом с удовольствием купаются люди. Первоначально это были котлованы для

строительства домов, но при заглублении, туда устремилась глубинная напорная вода, и справиться с ней не удалось.

Да, так про Башню. Когда главный лизоблюд от строительства доложил, что он сам лично пробурил на месте будущей Башни 300-метровую скважину, и по керну убедился в том, что грунт позволяет возводить это сооружение, я понял, что здесь что-то нечисто. Дело в том, что получить керн в СПб в принципе невозможно. Не зря ведь геологи заполняют геологические журналы еще до начала бурения.

Когда строительство началось, были предприняты все возможные меры, чтобы никто не узнал, что там творится. Но ведь охранники, которые должны были хранить в тайне ход строительства, тоже люди, а СПб – город маленький. И вот стала просачиваться информация, что сваи, предназначенные для строительства, не нуждаются в том, чтобы их забивали. Они сами проваливаются. И что в вырытые уже котлованы поступает в огромном количестве вода, с которой с трудом справляются насосы. И всё встало на свои места.

Не знаю, кто мне звонил с вопросами по этому поводу, но моих аргументов (тех, что я здесь написал) хватило на то, чтобы на следующий день строительство остановили.

Так что останутся в памяти о правительнице только дурацкие фонтаны на площади им. Ленина, которые сделаны по ее указу для того, чтобы на этой площади не собирались на митинги люди.

Ну, а Башню Газпрома будут строить в Лахте, рядом с которой уже терпят бедствие очистные сооружения и Северо-Западная ТЭЦ...

7.5. Аварии в подземном пространстве

Так же, как и в случае наземных ИС, аварии подземных сооружений происходят под воздействием ЗТН.

Когда рассекретили цифры и результаты различных исследований советского времени, то мы узнали, что при подземной добыче угля на миллион тонн угля среднестатистически приходилась одна человеческая жизнь. Сейчас эта цифра гораздо больше, но точное ее значение опять же секретно. Почему растут человеческие потери? Ведь казалось бы, техника стала надежнее, выработки крепятся несравнимо лучше...

Мне условия угольных шахт ближе, я проработал в угольных шахтах всех угольных регионов СССР с 1977-го по 1993-й год, и по сей день время от времени спускаюсь в шахту. По мнению шахтных геологов, травматизм шахтеров обусловлен тремя факторами – внезапным обрушением пород кровли, внезапной встречей выработки с тектоникой и взрывом метана. Естественно, нарушение техники безопасности мы не будем принимать во внимание. Сейчас стало понятно, что в центре следует поставить внезапную встречу с тектоникой, потому что и обрушение пород кровли, и выброс метана – это следствия встречи с ЗТН. Но об этом позже.

7.5.1. Аппаратура «Резонанс»

Первая моя работа в области применения сейсмометодов – создание аппаратуры и методики прогнозирования обрушения пород кровли в угольных шахтах. Основание заняться этой проблемой было следующим. В 1977 году мне посчастливилось обнаружить, что частота возникающей синусоиды при ударе по породному слою соотносится с толщиной этого слоя согласно выражению (1). Получив, таким образом, возможность определять толщину находящегося над головой шахтеров породного слоя, я понял, что это может оказаться ключиком для создания методики прогнозирования обрушения кровли.

В самом деле, если кровля представляет собой, скажем, 10-15-метровый породный слой, то при ширине подземной выработки 4-5 метров (стандартная ширина штрека) нахождение людей в такой выработке совершенно безопасно. А если при той же ширине штрека мощность отслаивающегося породного слоя над головой – всего 50см, то это очень опасно. Такой мост долго не продержится. Такова идея. Понятно, что от идеи до ее реализации путь большой и не очень прямой. Но идея в общих чертах оказалась отчасти верной.

Аппаратура, реализующая эту идею, носила название «Резонанс». Это была, естественно, аналоговая аппаратура, поскольку цифровая эра еще не наступила. Она была очень простая, и ее сначала изготавливали просто шахтные радиолюбители из отделов АСУП, а затем, с началом кооперативного движения, кооператив «Искра» в Донецке.

Было замечено, что внезапные обрушения происходят только там, где порода кровли представлена прочными породами большой

мощности. Скажем, такими, как песчаник. Почему так? Ну, во-первых, кровля, представленная слабыми породами (например, аргиллитами) всегда наглухо закреплена, и если обрушение и происходит, то это может оказаться даже незамеченным. Но есть и другая очень важная причина. Дело в том, что в однородных по вещественному составу прочных породах могут залегать тонкие и сверхтонкие прослои, материал которых не прилипает к породам кровли, и стало быть, именно по этим прослоям идут расслоения кровли. Тонкие и сверхтонкие прослои могут быть представлены углем, мергелем, слюдой.

Что самое главное, то информацию о наличии этих прослоев не даёт никакой геофизический метод, а также и бурение. При бурении керн в точках пересечения его прослоями ломается, а материал прослоев при этом вымывается промывочной жидкостью, и о причине излома керна узнать невозможно.

Бывает так, что кровля представлена, по информации геологов, песчаником многометровой мощности. А на самом деле, в этом песчанике находятся тонкие и сверхтонкие прослои, которые могут резко уменьшить его устойчивость. Так, на шахте Распадской, в ходе калибровки аппаратуры «Резонанс», когда исследовалась кровля штрека, в котором, как предполагали геологи на основании бурения, залегал мелкозернистый, очень прочный песчаник мощностью 10м, выяснилось, что на некоторой протяженности этого штрека песчаник был пронизан множеством прослоев. В результате, мощность монолитного песчаника, находящегося непосредственно над головой, не превышала 50см.

А ведь штрек, по причине кажущейся сверхпрочной, сверхустойчивой кровли не был закреплен. Мне удалось добиться постановки крепи на опасном участке, и когда кровля обрушилась, крепь уже стояла.

В результате этих наблюдений был введен термин поверхностей ОМК [8] (ослабленного механического контакта). Какими именно материалами представлены эти поверхности, никому не интересно, так как для оценки устойчивости кровли достаточно знать, залегают ли они в кровле, и на какой высоте.

Наличие в прочных породах поверхностей ОМК, о которых раньше, до эксплуатации аппаратуры «Резонанс» было неизвестно, как раз

и приводило к тому, что в выработках с прочной кровлей происходило ее внезапное обрушение.

Сейчас, с позиции большого отрезка времени, можно сказать, что на шахтах, эксплуатирующих методику Резонанс (а их было более 200), не было ни одного случая внезапного обрушения пород кровли.

7.5.2. Роль тектоники

Сейчас можно сказать, что отсутствие внезапных обрушений кровли на шахтах, эксплуатировавших методику и аппаратуру «Резонанс» объясняется исключительно везением. Дело в том, что, как удалось понять в дальнейшем, обрушение пород кровли происходит в основном под влиянием тектонических нарушений. Разумеется, причина обрушения, изложенная в предыдущем параграфе, существует, но основные цифры аварий дает тектоника. Для ЗТН нет различия ни по прочности пород, ни по мощности породных слоев. Горные породы, оказавшиеся в ЗТН, разрушаются независимо от своих прочностных характеристик.

Я случайно оказался свидетелем следующего эксперимента. Шахта Бургустинская объединения Гуковуголь оказалась очень интересным объектом для наблюдений. Там кровля представлена многометровыми по толщине прочными песчаниками, и капитальные выработки там стоят по много лет. Но есть участки, где их приходится периодически ремонтировать, восстанавливать после обрушения кровли.

Главный инженер шахты, чтобы сохранять штреки, решил делать полную закладку (заполнение выработанного пространства) около штреков железобетонными «таблетками». Блоками, размером примерно 1×0,5×0,3 м. По его мнению, эти блоки должны выдерживать горное давление, и тем самым, предохранять штреки от разрушения. Однако, к величайшему удивлению, таблетки прослужили очень мало. Они трескали, буквально, как грецкие орехи.

Никто не понимал, в чем дело. И только спустя много лет я понял, что зоны эти, в которых шло разрушение железобетонной закладки, это были ЗТН. И разрушение происходило не за счет невероятного давления, а за счет свойственной для ЗТН динамической составляющей давления, роль которой выполняла планетарная пульсация. То есть таблетки эти как бы раскачивались, как бы разжевывались.

Как показали дальнейшие наблюдения и исследования, причиной как внезапных обрушений пород кровли, так и взрывов метана являются внезапные встречи выработки с тектоникой. Кстати, это не единственные последствия влияния ЗТН. Плюс к указанным, сюда следует добавить еще и пучение почвы, и обводнение.

Обводнение – это понятно, мы уже рассматривали ЗТН как источник воды. А пучение почвы ничем не отличается от вывалообразования. Как то, так и другое есть следствие разрушения пород в ЗТН. Только если вывалообразование из кровли происходит при достаточно прочных породах, то пучение почвы происходит при залегании в почве аргиллита. Причем аргиллита, размягченного близостью воды.

Возникновение огромных количеств метана, способных к взрывам, происходит следующим образом. Уголь, так же, как и вмещающие его породы, разрушается в ЗТН. При разрушении угля, как известно, высвобождается растворенный в нем газ, и если есть такая возможность, то он выходит в пространство шахты. Так, чем больше производительность проходческой и добычной техники, тем больше выходит метана, и этим определяется производительность вентиляционных установок.

Если разрушение угля происходит в глубине массива, вдали от выработок, газ метан не может выходить в пространство шахты и скапливается в ЗТН. Возникают так называемые мешки с метаном. Газ там находится под давлением, и когда при проведении добычных или проходческих работ угольная перегородка становится слишком тонкой, газ ее разрушает и вырывается в пространство шахты.

Причин для взрыва газа много, и совсем необязательно для этого иметь электрическую искру или, не дай Бог, курение. Одна из шахт в Новокузнецке взорвалась из-за того, что не была герметично заперемычена зона самовозгорания угля в выработанном пространстве. Есть даже гипотеза, что резкий, с хлопком выброс газа может вызвать его детонацию. Но главное то, что сейчас, в связи с развития метода ССП, ЗТН выявляется однозначно при проведения исследований с поверхности, и своевременная дегазация снимала бы опасность выброса газа.

И еще один момент. Увеличение скорости проходки и добычи угля приводит к тому, что забой с повышенной скоростью буквально влетает в ЗТН. При небольшой скорости неприятности, обусловлен-

ные влиянием ЗТН, нарастают постепенно, и удастся им как-то противодействовать. При повышенной производительности такой возможности нет.

На сегодняшний день, существует немалое количество шахт, где встреча с тектоникой была спрогнозирована с помощью ССП. Однако, к сожалению, этот прогноз остается без внимания. И если запрогнозированная авария происходит, и особенно, если произошло самое страшное – гибель людей, то делается всё возможное, чтобы скрыть факт работы с аппаратурой ССП. Я не могу настаивать на том, что мы предупреждали об аварии и указывали местонахождение ЗТН, потому что тогда речь пойдет об уголовной ответственности руководства шахты, не прислушавшегося к прогнозу. Ну, и потом, людей уже не вернешь.

Вот эта ситуация привела к тому, что руководство шахт делает всё возможное, чтобы не допустить работу методом ССП на их шахтных полях. Стремление не допустить работу методом ССП оказалось согласованным с попытками затормозить развитие спектральной сейсморазведки учеными, работающими с традиционной сейсморазведкой.

7.5.3. Внезапный выброс угля и газа

Одно из самых страшных явлений при подземной добыче угля – внезапный выброс угля и газа. Есть некоторые сорта угля (я встречал их только в Донбассе), где разрушение угля в ЗТН происходит настолько полно, что пылинки имеют размеры молекул. Это удалось установить с помощью электронного микроскопа. [15]

Эта мельчайшая пыль, когда проникает в штреки или в забой, если ложится на лужу, то не тонет, а покрывает воду слоем нежнейшего пуха. Если наступить на это пухово-угольное покрывало, то угольная пыль поднимается и долго не оседает. Эту пыль шахтеры называют бешеной мукой. Вот внутри «мешка метана», о котором я рассказывал выше, эта бешеная мука закупоривает все поры в угле, и образует оболочку, герметизирующую объем с метаном. Эта оболочка мягкая, как мягкая резина. Давление метана, не способного выходить куда бы то ни было, вырастает до значительных величин. И когда начинается выход этого мешка с газом в пространство шахты, в призабойное про-

странство, то мягкая эта оболочка выдавливается как паста из тубика, и заполняет всё свободное пространство.

На шахтах, опасных по внезапному выбросу угля и газа, работают службы прогноза этого явления. Работа их заключается в том, что они непрерывно, 24 часа в сутки слушают и записывают на магнитофоны шумы и потрескивания в горных выработках. Дело в том, что в геофизике существует направление, называемое контролем акустической эмиссии. Считается, что перед динамическим явлением эта акустическая эмиссия, то есть потрескивания, усиливается. Направление это неперспективное. С его помощью за много лет попыток не было спрогнозировано ни одного геодинамического явления (что, кстати, не уменьшило поток диссертаций на эту тему), но поскольку штатное расписание существует, то прогнозные службы работают.

Единственный практический выход этих служб – это записи предсмертных криков шахтеров, которые находятся в забое, заполняемом прессованной бешеной мукой. Не понимаю, зачем это сохранять. Того, кто это слышал, эти крики будут преследовать всю жизнь.

Обнаружить сверху, с земной поверхности эти мешки с метаном с помощью ССП не составляет труда. Надеюсь, таким образом со временем проблема прогноза внезапного выброса угля и газа будет решена. [16, 17]

Но я не ответил на вопрос, почему сейчас, когда шахтное оборудование стало намного мощнее и надежнее, количество человеческих жизней на миллион тонн угля увеличилось. Посмотрим на примере шахты «Распадская».

Шахта «Распадская» эксплуатирует месторождение угля, содержащее свиту из, если не ошибаюсь, 17 угольных пластов. Мощностью от 6м и до 1м. Почти все эти пласты раньше добывались. При этом учитывался состав угля каждого пласта. Дело в том, что в угле содержится очень много сопутствующих элементов таблицы Менделеева. И в ряде случаев, это редкие и ценные металлы. Причем, в достаточно высокой концентрации.

Шахта продавала уголь фирмам, заинтересованным в добыче этих сопутствующих элементов. Пласты отрабатывались в соответствии с приемами горного искусства, с учетом подработки и надработ-

ки... Основная добыча шла, конечно, по мощным пластам, но скорость их отработки была не слишком большой.

Таким образом, скорость входа забоев в ЗТН не была слишком большой. Разгерметизация находящихся в пластах мешков с метаном не была мгновенной, и не все вскрытия ЗТН заканчивались авариями.

Сейчас отрабатываются только самые мощные пласты, остальные бросаются. То есть ведется, как сказали бы раньше, хищническая добыча угля. И скорость отработки пластов стала невероятно большой. В результате забой буквально влетает в ЗТН, и мешки с метаном разгерметизируются практически мгновенно. Мгновенное увеличение концентрации метана приводит к аварии.

Я не могу себе простить, что я не сумел убедить геологов шахты «Распадская» профилировать шахтное поле впереди очистного забоя. У меня нет ни малейшего сомнения, что та ЗТН, в которую влетел забой 8-го мая 2010 года, могла быть выявлена заблаговременно, и без проблем дегазирована.

7.6. Объекты группы риска

Группа риска – это, в данном случае, объекты, на которых чаще всего возникают аварийные ситуации.

В общем и целом, в группу риска попадают все объекты, которые оказывают на грунт динамическое воздействие. Это электростанции всех типов (кроме солнечных батарей), насосные станции, железнодорожный транспорт. Ну, и конечно же, шахты, о которых мы уже говорили.

7.6.1. Железнодорожный транспорт

В 2000 году я проводил исследования на железнодорожных путях по заказу организации «Мосжелдорпроект». Нужно было выяснить, действительно ли метод ССП позволяет прогнозировать какие-то экстремальные ситуации на железной дороге. Для этого со мной на измерения были отправлены Заказчиком два человека, которые имели информацию о том, где мы должны были работать, а также они должны были следить, чтобы мне ниоткуда не поступала информация о действительном положении дел. Метод ССП всегда работает, что называется вслепую, но репутация геофизики и геофизиков такова, что эти меры были вполне логичны.

В результате выполненных работ выяснилось, что действительно, наша оценка состояния железнодорожных путей прекрасно совпадала с фактическим положением дел. Например, на рис.7-8 приведен ССП-разрез, полученный при проведении профиля на участке Москва – Красное.

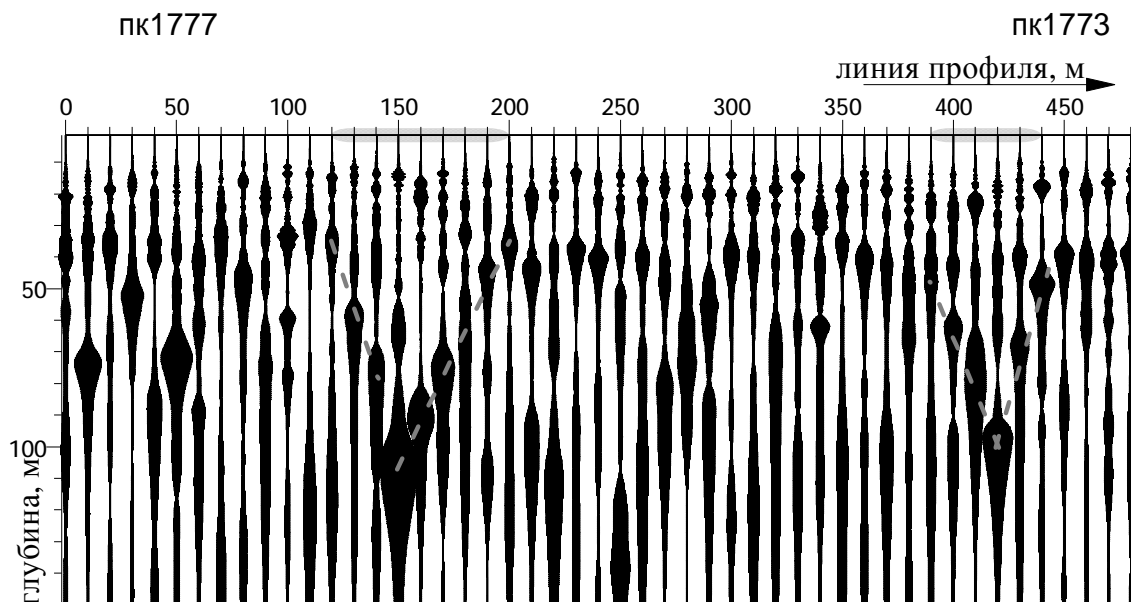


Рис. 7-8

Когда мы вернулись с поля и предъявили Заказчику этот ССП-разрез, были подняты документы и выяснилось, что действительно, участки насыпи 120-200м и 390-440м требуют постоянного ремонта.

При работе под городом Гжатском тогда же было обнаружено одно интересное явление.

На рис.7-9 показан ССП-разрез, на котором отчетливо видна протяженная горизонтальная граница на глубине около 400м.

Причина формирования такой границы не вполне понятна. Возможно, это так прорисовалась известняковая плита. Или, может быть, на участке 160-240м залегает ЗТН, согласная по простиранию направлению профиля. Главное здесь в том, что на протяженности 80м залегает колебательная система с собственной частотой около 6Гц (согласно формуле (1)). Добротность этой колебательной системы $Q \approx 140$. Это очень большая добротность, и если вибрирующий объект попадает в такие условия, и возникает резонанс, то разрушения не избежать.

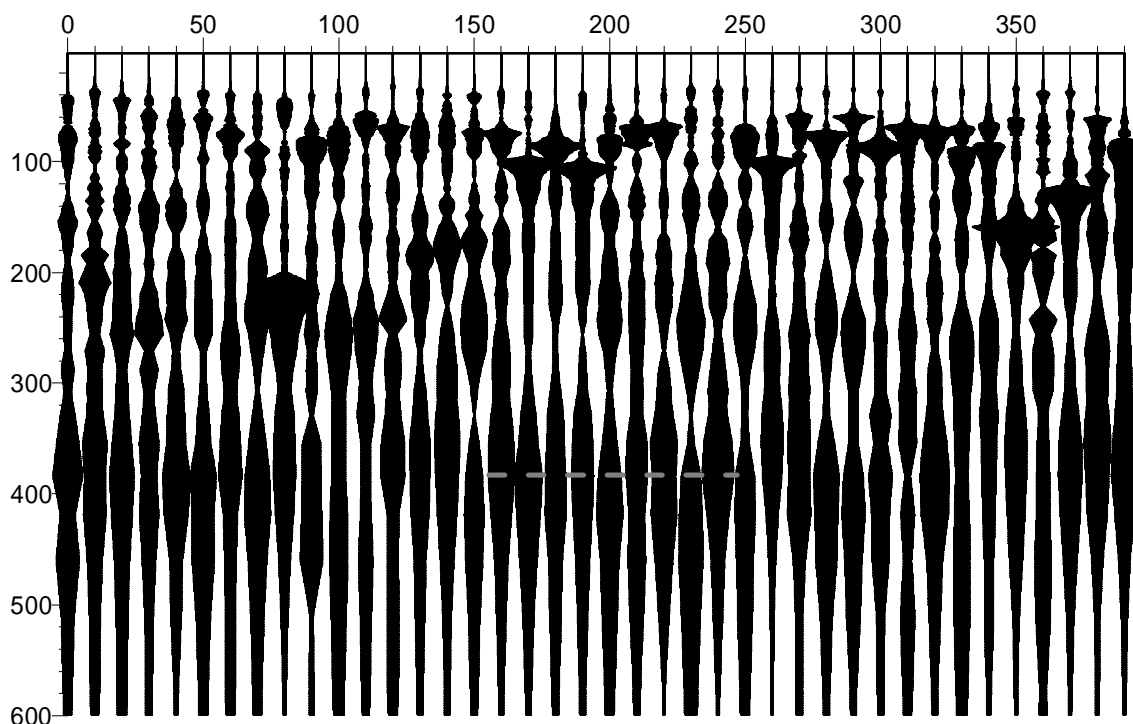


Рис. 7-9

Чтобы точно рассчитать скорость движения поезда, при которой происходит авария, необходимо знать размеры вагонов. В данном случае, это составляло примерно 50-70км/час.

Как выяснилось в дальнейшем, при докладе у Заказчика, за месяц до этого именно в этом месте произошла авария грузового поезда, в результате которой оторвались от состава и сошли с рельс несколько вагонов.

Как оказалось в дальнейшем, это самый частый вид аварии на железных дорогах во всём Мире, когда без всякой видимой причины состав рвется на две части.

Распознать эти аварии в Интернете очень просто. Там про них написано, что причина выясняется, что причина в некачественных колесных тележках, ну, и самое главное, дается количество последних оторвавшихся вагонов. Какова же причина таких аварий...

Если стоять на насыпи, то в течение времени прохода поезда мы чувствуем ногами сильную вибрацию. Это понятно. Ведь столько колесных пар создают последовательные удары по насыпи рядом с тем местом, где мы стоим. Частота этой вибрации зависит от скорости движения состава, от длины вагонов. Но главное, что поезд оказывается одним из объектов, оказывающих на земную толщу динамическое воздействие.

В случае, если частота вибрации близка к собственной частоте залегающей в земной толще под железнодорожными путями колебательной системы, начинается эффект качелей. От вагона к вагону амплитуда раскачки этой колебательной системы увеличивается. Иначе говоря, увеличивается амплитуда вибрации насыпи вместе с рельсами и шпалами. При прохождении через зону раскачки какого-то n -го вагона амплитуда вибрации достигает значения, превышающего предел упругих деформаций насыпи как единого объекта, и в теле насыпи мгновенно, взрывоподобно образуется воронка, в которую проваливаются обломки шпал и обрывки рельс. Следующий, $n+1$ вагон преодолеть это углубление в насыпи не может. Его колесная тележка со всего размаха бьется о разрыв насыпи, и вагон отрывается от той части состава, которая успела миновать этот разрыв.

Обычно, чаще всего это происходит с грузовыми поездами, потому что при малом количестве вагонов, что свойственно пассажирским поездам, амплитуда вибрации не успевает достичь критического значения. Поэтому свидетелей описанной выше картины нет, и причина аварии остается неизвестной. Но иногда это происходит и с пассажирскими поездами.

13-го августа 2007 года, в Новгородской обл. произошла именно такая авария с поездом N166 Москва - Петербург. Как всегда, сразу было предложено множество различных, в том числе, и взаимоисключающих версий. В таких случаях, очень важны и существенны те свидетельские показания, которые делаются людьми, не понимающими физики того явления, очевидцами которого они оказались. Как свидетельствуют очевидцы - пассажиры этого поезда,

... сначала поезд начало трясти, после чего последовал хлопок. Проводники, которые не один год работают на этом маршруте, потом признавались, что стали прощаться с жизнью, так как на их памяти такое произошло в первый раз.

[<http://www.newsru.com/russia/14aug2007/train.html>].

К сожалению, разобраться и поставить правильный диагноз очень мешает то, что мы живем в поле лжи. Нам сразу же объявили причину аварии, которая якобы заключалась в том, что это был теракт. Хотя даже не очень глубоким специалистам ясно, что не может быть такого взрыва, который сообщал бы о себе предшествующей вибрацией со-

става. Кроме того, у образовавшейся в насыпи воронки в течение нескольких минут после аварии были и корреспонденты различных изданий, и представители милиции. По их сообщениям, в точке предполагаемого взрыва не было характерного запаха и еще некоторых непременных признаков взрыва...

В этой аварии оторвалось три вагона. Никто серьезно не пострадал.

Спустя два года, 23-го декабря 2009 года, примерно в том же месте, с поездом с тем же номером случилось примерно то же самое. Тоже сначала была вибрация, хлопок, так же оторвались 3 вагона. На этот раз погибло несколько человек. Опять объявили причиной теракт, и для большей убедительности ментовское начальство даже инсценировало дополнительный взрыв, якобы направленный на уничтожение самих этих начальников.

Как мне объяснили, иначе нельзя, так как если будет признана причина техногенная, то железная дорога не получит страховку...

Вместе с тем, прогноз и прекращение аварий этого типа – совершенно несложное дело.

Ну что ж, мое дело – исследования, а уж как распорядятся их результатами, от меня не зависит.

Кстати, нет государства, где бы время от времени не происходила подобная авария.

Да, так чем же закончилось сотрудничество с Мосжелдорпроектом... Директор уже потирал руки и объяснял, что теперь они смогут заранее знать, где насыпь требует ремонта и где может произойти авария. Как вдруг из их Министерства, от самого, говорят, министра, прозвучал грозный звонок, из которого следовало, что с нежелезнодорожными организациями заключать никаких договоров нельзя. Дескать, своих до фига, пусть сами решают все вопросы... Ну, вот, решают.

7.6.2. Трубопроводы

Количество порывов трубопроводов (только газо- и нефтепроводов) в России составляет примерно 80 тысяч в год. Масштабы этого бедствия трудно себе представить. Диаметр этих трубопроводов 1400мм, толщина стенок 20мм. Сталь – особо прочная.

Однако с некоторых пор стали замечать, что аварии эти повторяются в одних и тех же местах. После аварии участок трубопровода, прилегающий к разрыву, вырезают, вваривают новый кусок трубы, проверяют качество сварки современными, эффективнейшими методами. А затем, спустя какое-то время авария повторяется в том же самом месте, рвется эта новая труба, а старая труба стоит целая.

Все, кто это знает, приходит к выводу, что виновата не труба. Скорее всего, дело в геологии.

Зная свойства ЗТН, мы поняли, как это может происходить. Труба, находящаяся в земле, обжатая грунтом, будет разрушаться в ЗТН так же, как и любое инженерное сооружение. На границе ЗТН, там, где граничат между собой подвижный, пульсирующий и неподвижный грунт в трубе возникает знакопеременное усилие на срез, которое и приводит к ее разрушению.

Одна из моих статей по этому поводу была прочтена специалистами Уфимского политехнического института, и нас попросили выполнить испытательные работы. В результате профилирования 12км вдоль трубы оказалось, что все ЗТН, которые встретились на этом профиле, соответствовали местам порыва трубопровода.

Организаторы нашей поездки доложили своему руководству о превосходных результатах, однако вопреки ожиданиям и, казалось бы, здравому смыслу, получили выговор за то, что они привлекли «чужих» к этой проблеме.

Вторично я столкнулся с этой проблемой несколько лет назад на конференции в Томске, посвященной проблемам безопасности трубопроводного транспорта. По этой теме я сделал доклад, рассказал о причинах аварий и способе их избежать, и опять реакция была неожиданной. Когда мы все вышли в фойе выпить кофе, организаторы конференции выразили большое неудовольствие по поводу содержания моего доклада. Они сказали, что, поскольку Москва отбирает все деньги, и организации, эксплуатирующие трубопроводы, не имеют возможности осуществлять профилактические работы, то порывы трубопроводов – это большое благо, так как тогда деньги находятся, и их хватает на всё.

Ну, я всегда знал, что Россия – это королевство кривых зеркал, но не подозревал, что это в такой степени, абсолютно неприкрыто и от-

кровенно. Я понимаю сотрудников АИИС, категорически не принимающих нашу работу. Конкуренция есть конкуренция. Но строители, которые откровенно считают, что чем больше разрушений, тем лучше, потому что при этом увеличиваются ремонтные работы и появляется возможность дополнительного финансирования. Но МЧСовцы, которые откровенно заявляют, что их бюджет зависит не от прогнозов, а от количества завалов.[18] Но работники ЖКХ, у которых количество аварий на трубопроводах (водоснабжение, канализация, отопление) столь же запредельное, на вопрос, хотели бы они, чтобы эти аварии прекратились, отвечают, что тогда им придется искать другую работу... Нет слов.

7.6.3. Подъемные краны

По факту, рельсовые передвижные краны являются объектами повышенной опасности. Нет, наверное, крановщика, который бы не видел падения крана. Почему это происходит, непонятно. Если обратиться к свидетельствам очевидцев, то мы узнаем, что падению крана предшествует его раскачка.

Первый раз я встретился с этой проблемой лет 35-40 назад. В Горный институт обратились специалисты Главленинградстроя с просьбой разработать геофизический метод, с помощью которого можно было бы контролировать качество трамбовки грунта под рельсами. По их мнению, систематическое падение кранов происходит потому, что грунт под двумя рельсами зачастую оказывается с различной несущей способностью. Как они предполагали, это может быть только в том случае, если они уплотнялись с разной степенью старательности.

Заказ был принят, и силами одной из лабораторий института была осуществлена попытка создания такого метода. Ставка делалась на то, что различная трамбовка грунта должна приводить к различию плотности грунта, а плотность предполагалось определять с помощью поверхностной гамма-гамма плотнометрии. Однако создать такой способ тогда не получилось.

Как оказалось, модель падения кранов, предложенная 35 лет назад, оказалась верной. Это действительно различие несущей способ-

ности обоих рельсов. Но настоящим виновником таких катастроф являются ЗТН. Происходит это следующим образом.

Если под каким-то участком подкрановых рельсов залегает ЗТН, то рельсы над центром ЗТН прогнутся. Управлять краном в таких условиях будет неудобно, но аварии не произойдет, и кран не упадет. А вот если ЗТН окажется только под одним рельсом, то этот рельс потеряет опору в связи с просадкой грунта, и уподобится натянутому канату. Подъемный кран при этом окажется в таком состоянии, как если бы он имел надежной опорой всего один рельс, а второй – не прочная опора, а канат. И вот тогда возникают условия для раскачивания, а остановить его нечем. Вот и причина для падения крана.

Решается эта проблема элементарно просто. А именно, профилированием методом ССП по грунту перед тем, как положить рельсы. Полученная в результате этого профилирования информация поможет принять решение о том, где проложить рельсы для подъемного крана, чтобы не попасть в ЗТН.

7.7. Сваи

Сваи используются в строительстве очень широко, и на них возлагаются огромные надежды. Считается, что сваи – это всегда хорошо. А если сваи не помогают, значит, они недостаточной длины, чтобы опираться на твердые породы. Вместе с тем, и сами строители знают, что есть такие случаи, когда сваи любой длины не помогут.

Сейчас стало понятно, что надежды на то, что сваи могут усилить несущую способность грунта, напрасны. У меня было несколько поводов убедиться в этом. Так, в начале 90-х годов я оказался на свайном поле, на территории будущего дома. В связи со сложным положением в финансировании в стране в то время, строительство дома было приостановлено, и свайное поле, вот так, без дальнейших строительных операций простояло год. Меня поразило, сколько свай отсутствовало. Как мне объяснили, они не отсутствовали, они просто провалились под собственным весом.

В ответ на мой вопрос о целесообразности свай в таком случае, мне объяснили, что сваи если и не держат, то всё равно оказывают благотворное действие на фундамент. Однако оказалось, что это не так. Сваи, оказавшиеся в ЗТН, покачиваются под воздействием плане-

тарной пульсации, и выламываются из ростверка. А если таких свай несколько рядом, то они разрушают ростверк.

Несколько лет назад мы получили заказ на исследование свай, которые забивали в Сургуте, при строительстве ГРЭС. Работа нами выполнялась как опытная, поскольку практического опыта таких исследований у нас не было. Интересно, что когда мы спросили у Заказчика, почему они не обратились в фирмы, предлагающие подобные работы (таких предложений в интернете много), то оказалось, что они обращались. Все эти фирмы, как одна, предлагают только написать такой, как нужно Заказчику, отчет и договориться насчет отката. А фирм, которые согласились бы на измерения, они кроме нашей, не нашли.

Присутствуя при возведении свайного поля, мы встретились с интересным явлением. При забивке сваи обычно требуется достаточно большое количество ударов. Однако немало было и таких свай, которые уходили на заданную глубину за 3-4 удара. Сделав профилирование по грунту между сваями, мы увидели, что это сваи, которые попали в ЗТН.

Нам стало понятно, что забивка свай не уменьшает риск возникновения резонансных явлений. Сваи ведь не ослабляют колебательных свойств грунта, и если есть основания для формирования резонансного процесса, то сваи эти основания не устраняют.

В промежуточном отчете мы показали, что при таком положении дел высока вероятность развития аварийной ситуации при запуске ГРЭС. Заказчика не устроили результаты нашей работы. А недавно мы узнали, что на этой ГРЭС действительно произошла авария, и турбину разнесло при первом же запуске.

Сейчас нам понятно, что использование свай в принципе не увеличивает надежность ИС. В самом деле, если грунт имеет нормальную несущую способность, то сваи не нужны. А если пониженную (в ЗТН), то сваи только усугубляют ситуацию.

В общем, надо учитывать, что строительная наука создавалась в отсутствии информации о влиянии ЗТН на инженерные сооружения. И нет ничего странного, что происходит так много внезапных, непонятных разрушений.

7.7.1. Дефектоскопия свайного поля

Как известно, потребность в дефектоскопии свай очень высока. Существует мнение, что если идет разрушение сооружения, возведенного на сваях, то виновны сваи. Очень много подозрений на то, что у них на самом деле длина меньшая, чем запроектировано. Также существуют предположения о том, что сваи могут быть сломаны в процессе их забивки. Но вот эти задачи геофизика решить не может. Длину и состояние забитой сваи определить невозможно.

Сейчас, когда я убежден, что сваи вообще никак не влияют на надежность сооружений (а если и влияют, то в худшую сторону), мне стало понятно, что делать дефектоскопию следует, но не свай, а свайного поля. Причем в процессе его создания. Методика этой дефектоскопии оказалась чрезвычайно простой. В результате этой дефектоскопии выявляется связь каждой сваи с грунтом, в который она забита.

Сводится она к тому, что на сваю крепится сейсмоприемник из комплекта ССП, наносится удар по грунту в непосредственной близости к свае и регистрируется амплитуда сигнала на сейсмоприемнике. Как оказалось, зависимость амплитуды сигнала от связи сваи с грунтом очень четкая и однозначная. И чем слабее связь с грунтом, чем ниже несущая способность сваи, тем меньше будет амплитуда сигнала.

7.8. Экологические катастрофы [19, 20]

Очень многие техногенные катастрофы являются одновременно и экологическими катастрофами, приводящими к загрязнению окружающей среды. Наибольший вред природе приносят систематические экологические катастрофы.

Систематические экологические катастрофы – это такие загрязнения окружающей среды, которые происходят постоянно, в течение всего времени эксплуатации объекта. Одним из примеров могут служить подземные хранилища разного рода.

На всех конференциях по проблемам захоронений отходов проходит информация о том, что фактически, все подземные хранилища в той или иной степени «текут». То есть, захороненные вещества прояв-

ляются на поверхности, присутствуют в грунте, в грунтовой воде и в воде близлежащих рек.

Насколько мне известно, на территории подземных газохранилищ умирает природа. Гибнут деревья, исчезает трава, исчезают птицы и звери. Это следствие того, что газ просачивается на поверхность, и убивает всё живое. И происходит это в ЗТН.

Известен метод герметизации подземных хранилищ, который предложил президент РФ на одном из совещаний. Метод заключается в том, чтобы взорвать в самом объеме хранилища атомную бомбу. Возникающая при этом высокая температура приведет к тому, что породы оплавятся, что и обеспечит в дальнейшем герметичность хранилища. Без сомнения, это так и будет, но только самое первое время. Процессы разрушения пород в ЗТН (если они присутствуют в пределах хранилища) этот взрыв не остановит, и спустя какое-то время проницаемость горных пород в этих зонах восстановится, и утечка возобновится.

Сейчас, когда известна роль ЗТН, должны быть созданы методы герметизации подземных хранилищ, которые учитывают свойства этих зон.

Регулярно и в огромном количестве рвутся трубопроводы, канализирующие газ и нефтепродукты. Поделите 80 тысяч на 365 дней, и получите 220 порывов трубопроводов в день. Кто не знает, что это такое, я расскажу. Почти всегда за порывом газопровода следует его взрыв. Взрыв газопровода – это, по своей физике, взрыв вакуумной бомбы. Свидетелей нет и быть не может, так как мгновенно гибнет всё живое. Находящийся рядом лес не горит. Он испаряется. После взрыва возникает вал огня, который распространяется от точки взрыва во все стороны с большой скоростью.

Порыв нефтепровода – это экологическая катастрофа другого вида. Там, где вылилась нефть – больше ничего не растет.

Насколько мне известно, порывы трубопроводов происходят только в РФ. За границей тоже не знают про ЗТН и влияние их на аварийность, но они поняли, как противодействовать этим авариям, и их там нет. Скажу больше, в нашей стране тоже известно, как им противостоять, но здесь эти аварии выгодны...

На самом деле, ведь ничего сложного здесь нет. Для того, чтобы не допустить разрушающего воздействия на трубы со стороны ЗТН, следует не закапывать их в грунт, чтобы их там корежила планетарная пульсация, а укладывать в железобетонные желоба, в песок, насыпанный туда. Желоба, разумеется, будут разрушаться в ЗТН, но трубы уцелеют.

Эта мера известна всем. Но бал здесь правят те, кому разрушение трубопроводов выгодно.

Я участвовал в совещании по поводу аварии в Мексиканском заливе и последующей за этим экологической катастрофе. Есть мнение, что причиной аварии стал уход в дно одной из опор. Естественно, меня это навело на мысль о том, что опора попала в ЗТН. От того, что строительство ведется не на суше, а в акватории, ничего не меняется. На дне океанов концентрация ЗТН не меньше, чем на суше, и при строительстве на акватории, на шельфе, влияние этих зон столь же велико.

Одним из известных центров экологического бедствия является полигон для захоронения высокотоксичных отходов химического производства «Красный Бор», под Колпино. В 60-х годах он начал функционировать. Причина, по которой этот полигон был создан именно в этом месте, заключалась в том, что, по данным геологов, там залегают мощнейшие слои глины, которая, будучи водоупором, сама по себе, казалось бы, гарантировала герметичность этого хранилища. На территории хранилища были выкопаны в глине ямы глубиной 10 и более метров (называются картами), и в них стали загружать отходы химического производства.

Где-то к 90-м годам экологи из космоса увидели расползание захороненных веществ за пределы полигона. Мы получили заказ на обследование территории Красного Бора, и обнаружили, что поперек полигона залегает мощная зона тектонического нарушения, и уходит за его пределы. Стало понятно, что вдоль этого нарушения и происходит миграция захороненных веществ, а также то, что в ЗТН глина не является надежным водоупором. Обследование грунта и грунтовой воды подтвердило этот вывод.

Когда все карты оказались заполненными и возможности хранилища были исчерпаны, было решено создать на его территории длин-

ный железобетонный короб для захоронения особо токсичных веществ. Однако исследования с помощью ССП показали, что этот короб по самой его середине пересекает мощная ЗТН, и поэтому короб там делать не следует, так как он лопнет.

Прогноз подтвердился. Короб лопнул. Нынешнее состояние полигона неизвестно, так как информация об этом отсутствует.

Однако экологическая катастрофа распространяется и за пределами полигона Кранный Бор. Вокруг него, на небольшом от него расстоянии осуществляется продажа земель для частного пользования. Если не ошибаюсь, это те земли, которые вывели из сельхозпользования в связи с влиянием полигона. Люди, купившие там участки земли, не подозревают о том, в какую историю они попали. Можно себе представить состав той воды, которую они добывают на своих участках, и какие вещества входят в овощи, выращенные там.

7.9. Плывуны

Плывуны – это часто встречающиеся объекты при ведении буровых работ на воду и при создании колодцев. Однако на самом деле, за плывуны часто принимают мельчайший (пылеватый) песок, который очень затрудняет получение чистой воды. Но это не плывун. Плывун – это некий герметичный объект, в котором находится под давлением ило-подобное водонасыщенное вещество, в материале которого находятся органические остатки (гумус). Герметизация плывуна обеспечивается его глиняной оболочкой. При нарушении его герметичности материал плывуна начинает выходить, и остановить этот процесс невозможно. Выход материала плывуна заканчивается после того как снижается давление внутри его.

Так, при проходке ленинградского метро в начале 70-х годов была нарушена герметичность плывуна под ул. Политехнической, и при этом вышло 40.000м^3 ила. Остановить выход плывуна удалось только его заморозкой.

Природа плывуна неизвестна. Удалось понять, что плывун подпитывается водой из находящейся рядом с ним ЗТН. Плывун всегда находится рядом с ЗТН, но никогда – в самой этой зоне, поскольку в ЗТН он бы разгерметизировался планетарной пульсацией.

Инженерное сооружение может стоять на пльвуне, но при этом есть риск разгерметизации пльвуна либо в результате наличия вибрации в самом доме, или в результате ведения работ в стороне от дома, если пльвун выходит за пределы дома. В результате разгерметизации пльвуна и уменьшения в нем давления, дом, стоящий на нем, начинает оседать, и выходящая из пльвуна вода поступает в подвал дома. При этом фундамент дома теряет опору, в качестве которой до этого работал пльвун, и разрушается.

Если в подвале дома появляется вода, необходимо проверить, не из пльвуна ли она. Для этого нужно либо сдать ее на анализ в СЭС на предмет наличия в ней гумуса или налить в баночку и дать постоять несколько часов. При наличии гумуса вода будет издавать запах сероводорода. Если вода поступает в подвал из пльвуна, следует ожидать разрушения дома. Для того, чтобы не попасть врасплох, необходимо наблюдать, не появляются ли провалы в асфальте вокруг дома и трещины в стенах. Все провалы, трещины, и особенно, динамика их раскрытия должны фотографироваться и тщательно протоколироваться, и информация об этом должна немедленно отсылаться в исполнительные и законодательные органы данного населенного пункта.

Раскрыв трещин определяется путем их фотографирования на фоне линейки с четко видимыми миллиметровыми делениями.

Эти документы о динамике процессов разрушения, отосланные в органы местной власти (разумеется, с регистрацией входящих номеров) являются основанием для переселения жителей разрушающегося дома в безопасное жилье.

Бывает, что пльвун, находящийся под домом, захватывает территорию на большом расстоянии от дома. Это объясняет известное явление, заключающееся в том, что при создании котлована для строительства нового дома, в подвал уже эксплуатируемого дома начинает поступать вода и начинается его разрушение.

На ССП-разрезе пльвун выглядит как изометричный объект (ореол), внутри которого или вовсе нет границ или они очень бледные. На рис.7-10 показан такой ССП-разрез.

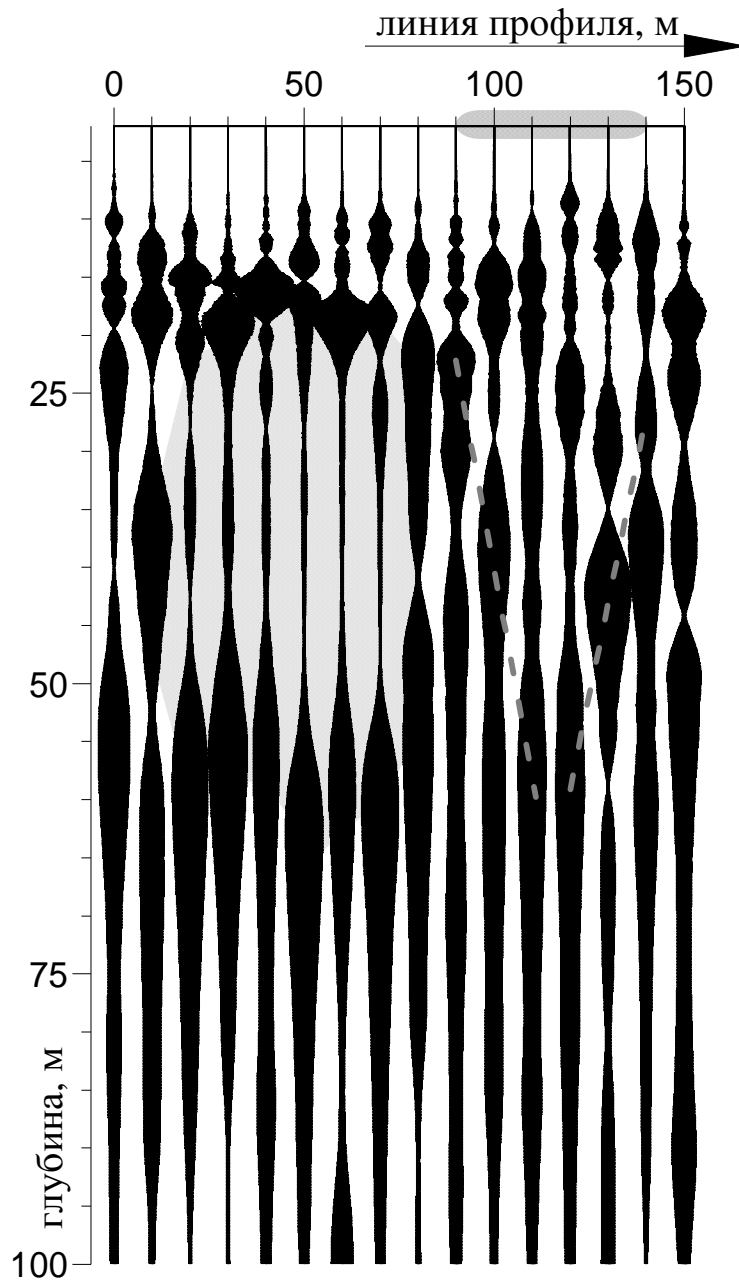


Рис.7-10

Этот случай интересен тем, что пловун залегает в тайге. Дело в том, что одна из гипотез о природе пловуна состоит в том, что он возникает в результате утечек из канализационных магистралей. Понятно, что в тайге никаких коммуникаций нет, и, стало быть, происхождение пловунов какое-то иное.

7.10 Карсты

Наличие в земной толще карбонатных пород делает возможным возникновение карстов. В зонах тектонических нарушений, где, как говорилось выше, присутствует вода, в случае кислотного ее характера возможно протекание реакции, в результате которой карбонатные

породы растворяются при участии свободной углекислоты ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca} + 2\text{HCO}_3$) или других минеральных и органических кислот.

Влияние карстов на инженерные сооружения общеизвестно. В карстовые полости проваливаются сооружения - от самых незначительных, и до огромных зданий. И всегда это происходит внезапно. Внезапность определяется не только трудностью выявления карстов, но и тем, что карст может образоваться очень быстро, уже в ходе ведения строительных работ. Механизм этого следующий.

Может так оказаться, что глубинная (кислотная) вода в зоне тектонического нарушения не достигает известняковой плиты. Например, если под этой плитой залегают глинистые породы. Но если под воздействием строительных механизмов зона повышенной трещиноватости доходит до известняковой плиты и находящегося под плитой аргиллита, то открывается путь для воды, и начинается приведенная выше химическая реакция. В результате, известняк уже не является препятствием для напорной глубинной воды, и она выходит к приповерхностным породным слоям. При этом, бывшие прочными перед строительством породы разжижаются и размягчаются.

Именно так и произошло с Трансконским (Канада) элеватором. В 1913 году разрушился только что построенный Трансконский элеватор. Авария была почти мгновенной – в течение 23 часов элеватор лег набок. На 8 метров погрузился в землю один его угол, и на 3 метра поднялся угол противоположный. При исследовании грунта после аварии оказалось, что под ушедшим в землю углом залегают жидкие пластичные глины. При изысканиях, выполнявшихся перед строительством, в этом же месте породы были представлены сухими твердыми глинами, под которыми, на глубине 20м находилась кровля известняков. После аварии известняки не были обнаружены.

Сейчас мы понимаем, что угол элеватора, опустившийся в грунт, оказался в зоне тектонического нарушения. В результате возведения элеватора, возникла трещиноватость в этом участке известняковой плиты, материал ее оказался растворенным кислотными грунтовыми водами, которые поднялись наверх и размочили глину.

На рис.7-11 приведен ССП-разрез, полученный при профилировании вдоль газопровода Уренгой – Новопсков, в 80км от Уфы.

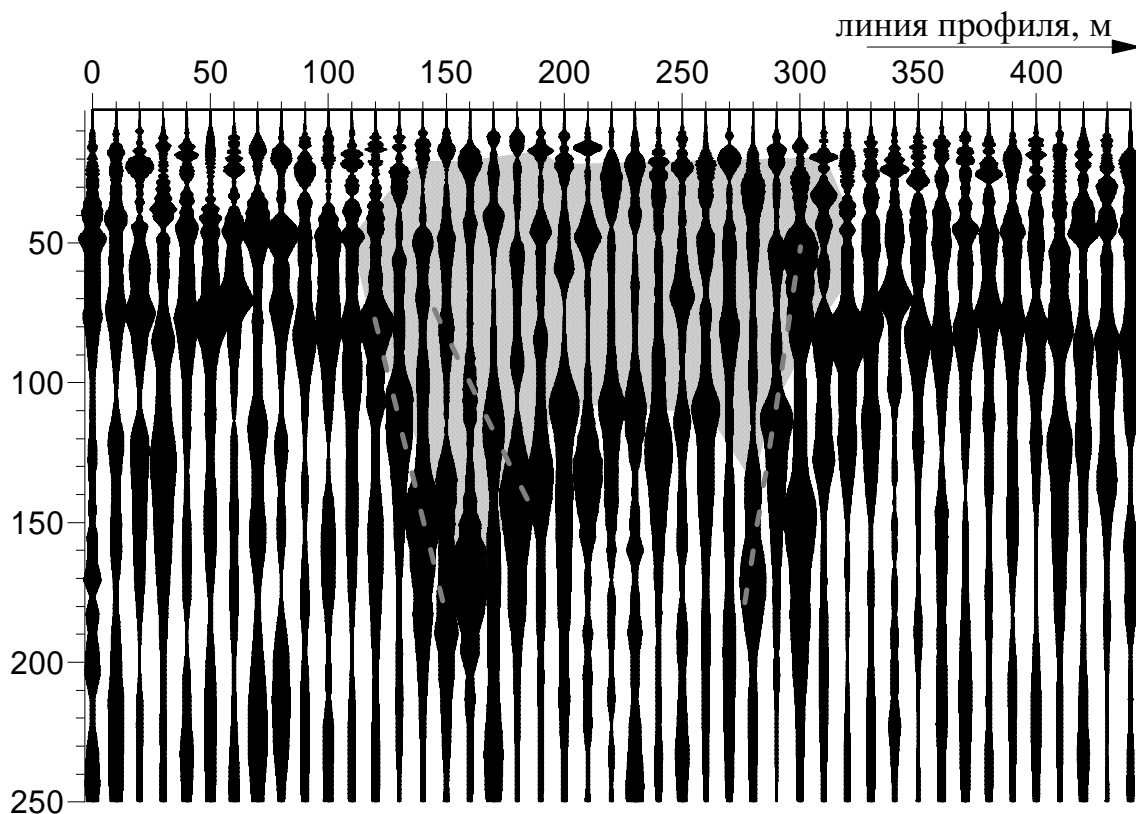


Рис. 7-11

На участке профиля 120-320м отчетливо видна карстовая полость.

Около 150-го метра этого профиля находится задвижка, позволяющая перекрывать поток газа. Эта задвижка хронически проваливается.

Карсты на ССП-разрезах могут иметь различные очертания. Они, в частности, могут иметь вид, подобный пльвунам. Но в отличие от пльвунов, карсты всегда находятся в ЗТН.

Карсты – это бич территорий, где земная толща содержит известняки. Постоянно что-то проваливается в Москве. Практически вся средняя полоса России – это сплошь карстоопасная зона. Время от времени происходят провалы во многих государствах.

Я ездил в командировку в город Дзержинск Нижегородской области. Там провалы происходят постоянно, и сейчас даже есть опасность, что карстовые полости могут находиться и под железнодорожными путями.

В Дзержинске ввиду высокой карстоопасности есть даже специальная геологическая организация, занимающаяся этой проблемой. У них кроме бурения нет никаких средств для изучения карстов. Они

пробовали электроразведку и георадар, но поняли, что эти методы не позволяют выявлять карсты. Однако на мое предложение о совместном изучении этой проблемы они не откликнулись. Ну что же, в общей картине это логично. Свою работу надо любить и делать ее так, чтобы она никогда не кончилась.

Как показывает опыт, карстовые провалы происходят на территории осушенного болота, причем в тех случаях, когда болото сформировалось под воздействием зон тектонических нарушений типа сбросов. Пока что мы такие исследования делаем только на индивидуальных участках.

Глава 8

Работа с месторождениями полезных ископаемых [21]

Основным направлением наших работ является прогноз техногенных катастроф, и поиском полезных ископаемых мы занимаемся от случая к случаю. Исключение составляет поиск воды, поскольку для очень многих людей это является жизненно необходимо. Однако и разовые поиски полезных ископаемых показывают, что ССП является весьма перспективным инструментом для этого.

8.1. Коренные месторождения алмазов

Начиная с 1998 года к нам обращались различные геологические организации с предложениями попробовать метод ССП для поисков магматических структур, к каковым относятся коренные месторождения алмазов. Считается, что так называемые трубки взрыва (кимберлитовые, лампроитовые и др.) имеют магматическое происхождение. Эти объекты возникают в результате выхода магмы снизу вверх, с колоссальных глубин на поверхность. И сами кристаллы находятся в магме. На сегодняшний день, естественно, застывшей.

По здравому размышлению, выход магмы снизу вверх является как бы зеркальным отражением процесса проседания пород в ЗТН. И если это так, то, по идее, на ССП-разрезе такой объект должен иметь вид купола.

Однако здравое размышление – не аргумент, и когда в 1998-2002 годах вокруг СПб возник алмазный бум, то для того, чтобы убедиться в справедливости высказанного предположения, мы прошли несколь-

ко ССП-профилей через разбуренные трубки. На рис.8-1 приведен один из таких ССП-разрезов.

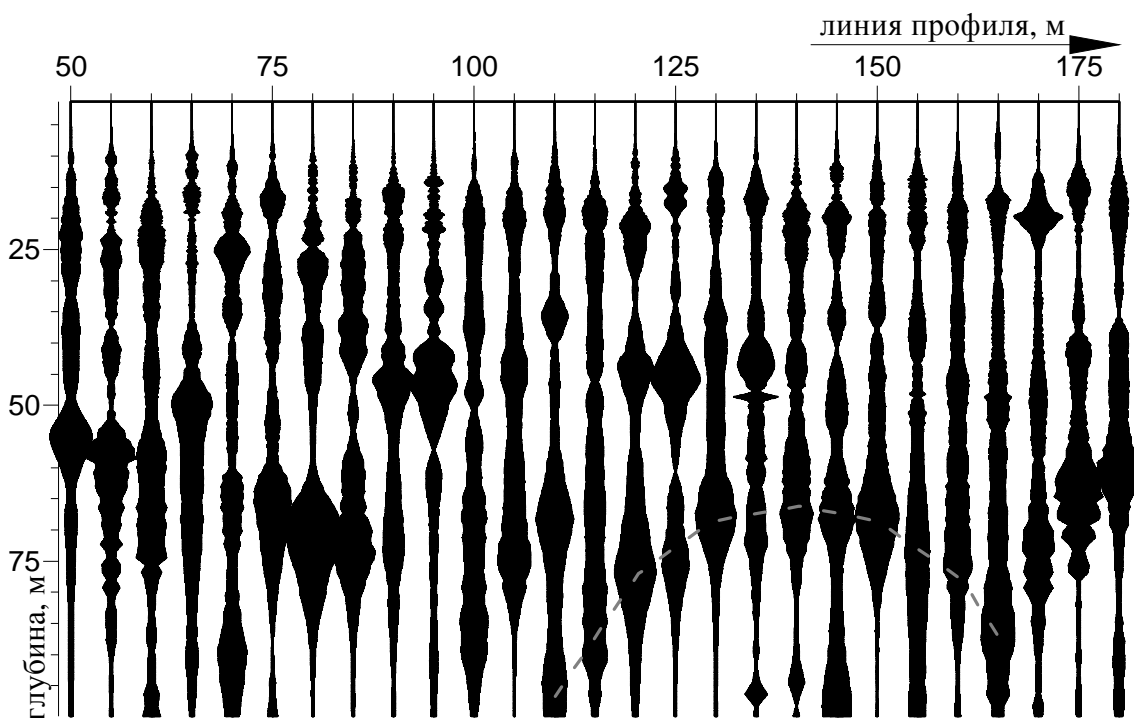


Рис. 8-1

Мне представляется, что комментарии здесь излишни. Правда, зачастую изображения магматических структур не столь идеальны. Чаще всего, у них срезаны верхушки. Нередко они разрезаны зонами тектонических нарушений (ЗТН ведь не знают исключений, и могут проявиться где угодно). Но поскольку трубка взрыва – всегда изометрична (то есть в плане она имеет вид примерно окружности), то пройдя в нескольких направлениях через ее центр, мы получим о ней достаточно информации.

Вообще же, попадая очередной раз в какую-то новую для меня область знания, я каждый раз поражаюсь, насколько бурно порой проистекает жизнь в казалось бы, совершенно спокойных областях. Ну понятно, там где люди, там и страсти. Но в алмазном деле – это что-то особенное.

Дело в том, что месторождения алмазов в Море чаще всего россыпные. Но ведь россыпные алмазы берутся из трубки. И важнейшей и главной задачей геологов-алмазников является поиск трубки. Это то, что называют идефикс. Не редкостью является разрушение по этому поводу психического здоровья геологов. Геолог, который нашел трубку, даже если она не алмазоносная, становится знаменит. Жизнь

его, значит, не прошла даром. На поиски трубки уходят годы и десятилетия. Я познакомился с этой проблемой, когда работал на крупнейшем в РФ россыпном месторождении алмазов на Северном Урале.

И тут вдруг появляется геофизический метод, с помощью которого трубку можно найти за один день... Это приводит к обесцениванию труда геологов. Я работал с экспедицией, которая за десятки лет не нашла ни одной трубки, но никому и в голову не приходило упрекать в этом геологов. Однако когда я приехал к ним, чтобы на разбуренных, заверенных трубках проверить свою идею их обнаружения, и случайно рядом с известной трубкой обнаружил еще одну, неизвестную, это вызвало шок. Я хотел показать, где мы нашли трубку, но меня попросили немедленно покинуть месторождение. А самое забавное произошло потом, когда со всякими хитростями и угрозами нас просили сказать, где мы нашли трубку...

В пределах магматических структур существуют не только алмазные, но и многие другие месторождения. И со временем, когда метод ССП будет востребован, толку от него при поисках магматических структур будет немало.

8.2. Оконтуривание рудного тела

На обнажении, на крутом берегу реки, на Заполярном Урале геологи выявили рудопроявление. На основании анализа выяснилось – это полиметаллы. Естественно, возникла задача оконтурить обнаруженное рудное тело. Границы в плане были получены с помощью электроразведки. А как определить его мощность?

На рис.8-2 приведен ССП-разрез, полученный при пересечении этого рудного тела меридиональным профилем.

Последующее разбуривание месторождения подтвердило полученные с помощью ССП границы с погрешностью, не превышающей 10%. Но и здесь возникли «аспекты»...

Это месторождение выставлялось на торги, и мощность его была завышена в 3 раза. Поэтому мы не можем открыто показать, как был получен ССП-разрез, и что это за месторождение. Хотя прошло с тех пор уже 15 лет.

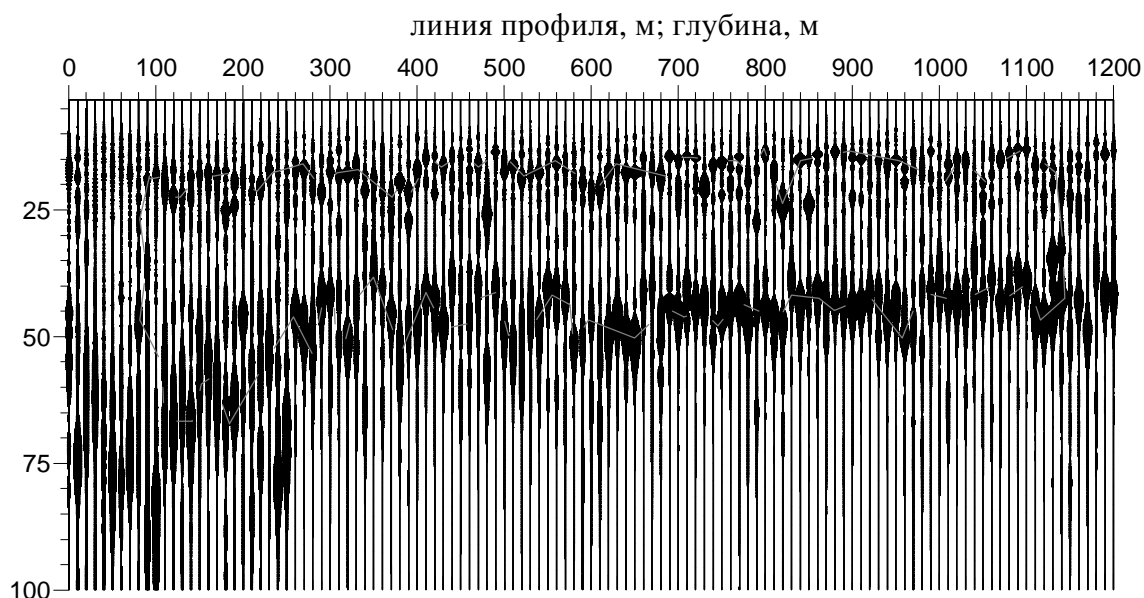


Рис. 8-2

8.3. Месторождения, связанные с ЗТН

С месторождениями, связанными с ЗТН, мы имеем дело фактически с 1997 года, когда мы обнаружили, что к ЗТН приурочены месторождения воды. В процессе исследования ЗТН, выяснилось, что в этих зонах можно, кроме воды, добывать газ метан, если забуриться в ЗТН в пределах угольного месторождения. Встречаются и другие газообразные субстанции, но этот предмет требует отдельного исследования.

8.4. Месторождения золота

Однажды в одной африканской республике мы посетили золотой прииск, смотрели добычу золота драгой, керны. Нас заинтересовали керны скважин, которые при бурении попали в ЗТН. Даже чисто визуально, количество золота в таких кернах существенно превышало количество в кернах, полученных вне ЗТН.

Далее, сами вкрапления золота во вмещающую породу имели такой вид, как если бы золото в жидком виде было впрыснуто в столь же жидкую породу. То есть, представляется очевидным, что происходило это там и тогда, где и когда температура составляла тысячу и более градусов. К сожалению, нам не разрешили эти керны сфотографировать.

Из окологеологических источников известно, что есть золото-вмещающие структуры, которые уходят на большие глубины, и при

этом количество золота в них с увеличением глубины только возрастает. Сейчас стало понятно, что эти структуры – не что иное как ЗТН.

Отсюда сам собой получается, как мне кажется, интересный вывод.

При добыче золота из русла реки считается, что золото это принесено течением с верховьев. Драга берет сколько-то придонного грунта, и на этом добыча из русла заканчивается. Но ведь любая река, любой ручей – это цепочка ЗТН. И я думаю, что золото на самом деле приходит не в результате течения, а в результате разрушения течением придонного пространства, верхних участков вертикальных структур ЗТН. И следовательно, если оконтурить отдельные ЗТН прямо в русле реки, то основное золото будет именно там, в этих ЗТН. И чем глубже, тем больше.

Непременным спутником золота является, как известно, радиоактивный калий, который прекрасно виден со спутников. Отсюда следует очень прозрачный вывод. Определив из космоса зоны с повышенным содержанием радиоактивного калия, следует выявить там ЗТН, и сделать туда пробное бурение. Как показал опыт, содержание золота в породах в ЗТН многократно превышает среднее значение по прииску.

Заключение

За время существования нашей цивилизации представления о планете Земля претерпели ряд изменений. Первоначально плоская, опирающаяся на компанию из слонов и китов, Земля, на самом деле, оказалась круглой. Длительное время казалось очевидным, что этот дом человеческий – венец творения, и то, что вся вселенная вращается вокруг него, представлялось вполне логичным. Но вот, наконец, обнаружилось, что Земля – лишь крохотная частичка космоса, равноценная по своему значению другим планетам.

Каждый этап изменения представлений о Земле казался последним и окончательным. Несмотря на то, что все эти изменения представлений о Земле ничего (или почти ничего) не изменяли в жизни людей, они обходились большой кровью. И вот, когда, наконец, казалось бы, достигнут консенсус в этом вопросе, оказалось необходимым еще раз пересмотреть представления о нашей планете. Потому что оказалось, что по акустическим свойствам Земля – это не совокупность отражающих границ, а совокупность колебательных систем.

Новый пересмотр представлений о земле необходим для того, чтобы остановить вал техногенных катастроф, разрушительное действие которого усиливается в связи с ростом энергетической оснащеннойности нашей планеты.

Сказанное здесь проиллюстрируем цифрами. За вторую половину XX века энергооснащенность нашей планеты выросла в 10 раз. За это же время потери от техногенных катастроф выросли также в 10 раз – с семидесяти до семисот миллиардов долларов в год. Это является следствием того, что планета наша представляет собой совокупность колебательных систем, а следовательно, любое вибрирующее устройство (электростанции, насосные станции и т.п.) в любой момент может превратиться в центр техногенного землетрясения.

Когда люди смогут спокойно воспринимать то, что написано в этой книге, они смогут эти техногенные катастрофы предотвращать.

Список использованной литературы

1. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Связь, 1957.
2. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. т.5., М., 1990.
3. "Способ определения физико-механических параметров в плоскопараллельных объектах", А.с. N1719979, Гликман А.Г., Симанский И.А., Стародубцев А.А., Б.И. N10, 1992.
4. "Способ измерения скорости звука" Гликман А.Г., Симанский И.А., Стародубцев А.А. Патент N2034241. Б.И. N12, 1995.
5. Гликман А.Г. Особенности метрологического обеспечения сейсмоприёмников. – В сб. Преобразователи акустической эмиссии к системам контроля горного давления. – М.: ротاپринт ИПКОН АН СССР, 1990, с. 66-76
6. Гликман А.Г. О безопасности подводного плавания. Жизнь и безопасность. N1-2, 2001, с. 272-273.
7. "Сейсмоприемник" Гликман А.Г., Симанский И.А., Стародубцев А.А., Патент №2059266 Б.И. №12, 1996.
8. Андреев В.П., Гликман А.Г. Геоакустический метод выявления поверхностей ослабленного механического контакта //Уголь, 1985, N9.
9. Гликман А.Г. Свойства зон тектонических нарушений (ЗТН).// «Жизнь и безопасность».- 2005.- № 1-2.- с.213-241.
10. Сашурин А.Д. "Современная геодинамика и техногенные катастрофы."Сб. докладов международной конференции "Геомеханика в горном деле - 2002" Екатеринбург, Игд УрО РАН 19-21 ноября 2002 г, <http://igd.uran.ru/geomech/> , обновление 23.02.2003.
11. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М. «Агар» 2005, - 248 с., табл., илл.
12. Гликман А.Г. Изучение и прогнозирование техногенных катастроф с помощью метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП). // Восьмые геофизические чтения им. В.В. Федынского 2-4 марта 2006 года. Тезисы докладов. М.: НПО ИНТЕК-ГЕОН.- 2006.- с.48-49.
13. Гликман А.Г. Физика техногенных и природных землетрясений. Геология и геофизика Юга России №2 2013 с.54-63

14. Гликман А.Г. Инженерная геофизика – как средство прогнозирования при инженерных изысканиях. //Материалы конференции «Особенности инженерно-геологических изысканий и определения физико-механических свойств грунтов для проектирования зданий и сооружений повышенного уровня ответственности.- СПб.: «ЛЕННИ-ИПРОЕКТ», 2008.- с.79-84.

15. Кирюков В.В. Электронно-микроскопические исследования витринита донецких углей с целью прогноза внезапных выбросов угля и газа. // "Уголь".- 1994.- N 5.- с. 44-47.

16. Гликман А.Г. Прогнозирование горнотехнической ситуации в условиях выбросоопасных пластов. // Механика горных пород. Записки ЛГИ, том 123. Л.: ЛГИ.- 1990.- с.77-83.

17. Гликман А.Г. Прогноз внезапных выбросов угля и газа на базе акустических измерений. /Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции "Геомеханические проблемы высокопроизводительной разработки тонких и средней мощности угольных пластов на глубоких горизонтах". // Донецк: ДПИ.- 1980.- с. 108-109.

18. Гликман А.Г. Что выгоднее – прогнозировать чрезвычайные ситуации или ликвидировать их последствия. Жизнь и безопасность. №1-2, 2001, с. 112 - 116.

19. Гликман А.Г. Проблемы экологической безопасности, рожденные недрами земли. Жизнь и безопасность. N1, 1997, с. 198-199.

20. Гликман А.Г. Геоэкологические факторы аварийности нефтегазопроводов и насосных станций.// «Экологические проблемы и техногенная безопасность строительства, эксплуатации и реконструкции нефтегазопроводов. Новые технологии и материалы.» Научно-производственный форум 1-4 марта 2005г Томск, Россия. Материалы форума.- Томск, ИФПМ СО РАН, ООО ПО «АрмСиб».- 2005, с.106-111.

21. Гликман А. Г. Применение метода спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для картирования месторождений полезных ископаемых. Книга 4 тезисов доклада на Всероссийском съезде геологов «Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века», стр.46, СПб, 2000.

22. Гликман А.Г. Сейсморазведка – это очень просто.// «Жизнь и безопасность».- 2003.- № 3-4.- с.537-541.

23. Krey T.C. Channel waves as a tool of applied geophysics in Coal mining. *Geophysics*, 1963, vol.28, N5.

Информация о традиционной сейсморазведке [22]

В книге с названием «основы спектральной сейсморазведки» просто невозможно обойти молчанием столь важный и мощный предмет как традиционная, лучевая сейсморазведка. Однако куда поместить этот материал – было непонятно до последнего момента. Ведь весь материал книги основан на результатах экспериментов. Традиционная же сейсморазведка основана исключительно на мысленных конструкциях, и ни одно ее положение экспериментально подтвердить невозможно. Но начнем по порядку.

Идея сейсморазведки элементарно проста, логична и очевидна. Заключается она в том, что поскольку земная толща по акустическим свойствам является совокупностью отражающих границ, в результате ударного воздействия на земную толщу возникает упругий импульс, который распространяется во всех направлениях полупространства (то есть, в пределах земной толщи) и отражается от залегающих там границ, которые соответствуют находящимся там геологическим объектам, а также проходит через них, в соответствии с законами геометрической акустики. Находящиеся на поверхности сейсмоприемники воспринимают отраженные сигналы (эхо-сигналы), и информация о параметрах и характеристиках эхо-сигналов служит основанием для построения сейсморазреза земной толщи.

Идея эта возникла задолго до создания аппаратуры, которая могла бы эти представления реализовать. В первой трети XIX века французский математик Симеон Дени Пуассон формализовал эту исходную идею, найдя метод решения волнового уравнения, аргументами которого были параметры поля упругих колебаний. А именно, характеристики движения колеблющихся частиц в упругой волне, а также механического напряжения в этой волне. Этот труд Пуассона и по сей день является основой всей аналитики сейсморазведки.

Очень важно отметить, что сам Пуассон очень трезво относился к этой своей статье. Он совершенно справедливо считал, что работа эта не может считаться теоретической разработкой, так как не базируется на каких бы то ни было практических измерениях, и не может быть подтверждена какими-либо измерениями. То есть, находится в со-

стоянии гипотезы. К сожалению, ученые, продолжившие эту работу после ухода Пуассона в Мир Иной, не прислушались к его мнению, и провозгласили это направление теоретическим.

К началу XX века, когда, наконец, была создана первая сейсмо-разведочная аппаратура, были сделаны первые сейсмоизмерения. Они показали отсутствие эхо-сигнала в виде отдельного импульса, который, по идее, должен был возникнуть в результате ударного воздействия на земную толщу. Процессы, возникающие в результате этого воздействия, имели вид периодических затухающих сигналов.

Сейчас нам уже понятно, что это нормально, потому что земная толща по акустическим свойствам является не совокупностью отражающих границ, а совокупностью колебательных систем. По этой причине упругий импульс как таковой в результате удара не возникает, а сразу же, в точке удара преобразуется в совокупность гармонических затухающих процессов. А кроме того, процессы эти распространяются не вниз, в глубину, а только лишь вдоль этих колебательных систем, то есть, преимущественно в горизонтальных направлениях. Так что если в ходе сейсморобот мы и получаем эхо-сигнал, то приходит он не снизу, а сбоку. Но тогда, в начале XX века отсутствие эхо-сигналов вызвало шок. Невозможно было представить себе, что столь простая и очевидная идея сейсморазведки может оказаться ошибочной.

Всё зарождавшееся сообщество геофизиков-сейсморазведчиков было убеждено, что во всём виновато несовершенство сейсмоаппаратуры. Но для того, чтобы иметь возможность совершенствовать аппаратуру, нужны деньги, а чтобы деньги появились, нужно было предъявить какой-то положительный результат, который был бы получен с помощью имеющейся аппаратуры. И вот тогда возник гениальный ход.

Автором его был профессор Загребского университета Андрей Мохоровичич. В 1909 году он написал статью, в которой доложил о том, что с помощью сейсмоаппаратуры им были получены эхо-сигналы от залегающей в Земле на глубине 70км границы между корой Земли и мантией. Это был гениальный прием. Ведь проверить соответствие этого заявления действительности невозможно и по сей

день. А о границе Мохоровичича знают все в Мире люди, хотя бы сколько-нибудь причастные к геологии.

Его современники и коллеги оценили этот ход по достоинству, и тогда же, в 1909 году во многих странах появились статьи об аналогичных результатах. Различие состояло в глубинах «обнаруженных» границ. Так что в любой энциклопедии можно прочесть, что граница Мохоровичича находится на глубинах от 5 до 100км.

Российские ученые и здесь оказались самыми-самыми. Князь академик Голицын в 1914 году разродился целым букетом сенсационных сообщений. Он сообщил, что ему с помощью сейсморазведки удалось обнаружить границу на глубине 400км между мантией и ядром Земли, что ядро Земли, оказывается, жидкое, и что (также в результате сейсморобот) он выяснил, что кора под материками толще, чем под океанами. Почему-то никого не смутило, что морской сейсмики еще не существовало, и что на акваториях по этой причине исследований быть не могло.

Но так или иначе, деньги в сейсморазведку буквально хлынули. Понятно же, что если с помощью столь слабой аппаратуры удалось получить такую информацию, то уж разведка на нефть – дело и вовсе нехитрое. Денежный поток не схлынул до сих пор. По данным 1991 года, в любом государстве, имеющем собственную геофизику, более 90% всех геофизических денег идет на сейсморазведку.

К сожалению, эти деньги ничего не решили. Аппаратура действительно шагнула очень далеко вперед, но источником информации сейсморазведка не стала. Ведь в любом методе главное не аппаратура, а соответствие идеи физике. А идея в данном случае оказалась ошибочной, так как поле упругих колебаний, которое возникает при воздействии на земную поверхность, распространяется исключительно вдоль дневной поверхности, и эхо-сигнал приходит не снизу, а сбоку. И вот логичный итог: за всё время существования сейсморазведки во всём Мире не было ни одного случая, чтобы сейсморазрез совпадал с разрезом, полученным с помощью бурения.

Для того, чтобы скрыть эту катастрофу, сейсморазведчики разработали методику, согласно которой сейсморазведка осуществляется только в том случае, когда в данном конкретном месте уже существует скважина. И тогда сейсморазведчики «подтягивают» результаты

своих измерений к разрезу, полученному с помощью бурения. А на самом деле, просто подгоняют сейсмоинформацию под нужный результат. Кстати, проверить это очень просто. Дело в том, что ни один сейсморазведчик Мира никогда не согласится осуществлять свои работы в отсутствие информации о разрезе земной толщи в данном конкретном месте.

Идея подгонки сейсмоинформации к разрезу, полученному бурением заключается в том, чтобы поставить такое значение скоростей упругих волн, чтобы получить удовлетворительные результаты. И чем больше типов упругих колебаний (ни один из которых, кстати, экспериментально не идентифицируется), тем больше набор скоростей, значениями которых можно варьировать при этой подгонке.

Понятно, что не всех ученых устраивало такое положение вещей, и они стали выяснять истинное положение дел в сейсморазведке. И вот, в 60-х годах XX века был осуществлен международный проект под названием «Кольская сверхглубокая». Суть его сводилась к следующему. На Кольском полуострове сделали сейсморазведочное исследование. Полученные результаты были убраны в сейф, и после этого начали бурение. В течение нескольких лет пробурили скважину глубиной 12км. Когда достали из сейфа разрез, полученный по материалам сейсморазведки, и сравнили его с геологическим разрезом, то оказалось, что между этими двумя разрезами нет совершенно ничего общего.

Впрочем, это не совсем так. На глубину до 300м совпадение этих двух разрезов было абсолютным, в мельчайших деталях...

Следствие показало, что когда осуществлялась сейсморазведка, первые 300м были уже пробурены. Думаю, что комментарии излишни.

Казалось бы, все точки над *i* расставлены, и с сейсморазведкой что-то надо было делать. Но высокая международная комиссия приняла решение результаты этого проекта... засекретить. От кого засекретить? Я полагаю, что от спонсоров.

Руководителем проекта «Кольская сверхглубокая» был профессор ленинградского Горного института Литвиненко Игорь Васильевич. Он был зав. кафедрой геофизики, когда я приступил к чтению своего курса по шахтной геофизике. Как я уже рассказывал, мне было

насуточно необходимо поставить лабораторные работы для курса, который я читал. Ну к кому же мне было идти за консультацией, когда у меня возникли трудности с лабораторными работами, как не к нему? Мы были знакомы до этого, и он с готовностью меня принял.

Беседа проходила в очень дружественном духе, но при этом Игорь Васильевич настойчиво меня убеждал не заниматься лабораторными работами. Он аргументировал это тем, что сейсморазведка слишком простой метод, чтобы создавать лабораторные работы. Он на прощание предлагал мне всегда заходить к нему, если будут трудности, и на этом мы расстались. Однако когда я вернулся на свою кафедру (радиоэлектроники), то узнал, что за те 10 минут, что я шел с кафедры на кафедру, Литвиненко успел позвонить в ректорат, партком и моему зав. кафедрой с категорическим требованием отстранить меня от чтения курса... Я понял, что каким-то образом наступил ему на что-то очень болезненное, но на что именно, узнал сравнительно недавно, когда ознакомился с результатами проекта «Кольская сверхглубокая».

Я давно уже понял, что в науке нельзя лгать. Потому что назад дороги нет. Вот Мохоровичич, сделав, в общем-то, подлог, обрек сейсморазведку к движению в тупиковом направлении. Его сообщение придало уверенности действующим ученым в правильности идеи сейсморазведки, и в результате, за всё это время не было сделано ни одного исследования из тех, которые описаны у меня. Никто ни разу не померил ни скорость, ни затухание поля упругих колебаний. Никто не поинтересовался спектром сигнала, не проверил свойства сейсμοприемников. Всё осталось на уровне Пуассона. В сейсморазведке вообще нет ни одного экспериментатора. Одни только математики, которые заняты одним – созданием таких программ обработки результатов сейсморабот, чтобы наиболее эффективно подгонять их под информацию, получаемую при бурении.

В результате, сейчас сложилась очень тяжелая ситуация. Тысячи людей во всем мире занимаются совершенно никому не нужной работой. Идет разработка совершенно никому не нужной аппаратуры. И всё большее количество людей понимает, что это движение в никуда. Как это всё остановить? Ну нельзя же лишить работы всех этих специалистов, которые оказались в несуществующей области знания...

Колоссальны издержки всей этой многолетней фальсификации. Большое количество научной литературы, целые научные направления опираются на придуманные, несуществующие результаты сейсморазведки. Так, все представления о строении Земли основаны на утверждениях сейсморазведки. Сейчас стало понятно, что все рассуждения о тектонических плитах, об их параметрах и движении – следует, мягко говоря, пересмотреть.

Подводя итог, можно сказать, что игнорирование мнения Пуассона как грамотного методолога привело к созданию огромного тупикового направления, к развитию самой большой (по затратам) фальсификации за всю историю нашей цивилизации.

МЕТОД КАНАЛОВЫХ ВОЛН.

Одной из разновидностей лучевой сейсморазведки является метод каналовых волн.

Серьезнейшей неприятностью, которая может случиться при подземной добыче полезного ископаемого, является внезапная встреча горнодобывающей или проходческой техники с тектоническим нарушением. Такая встреча может завершиться серьезной аварией, гибелью техники и людей. При добыче угля – это выброс метана, обрушение пород кровли, обводнение и пучение почвы. Поэтому весь горняцкий мир с надеждой воспринял в 1963-м году сообщение о создании метода прогноза тектонических нарушений.

В 1963 г в журнале *Geophysics* появилась статья западногерманского физика Крея, в которой он дал подробное описание метода сейсмолокации тектонических нарушений непосредственно из выработок угольной шахты. [23] Это было подробное, с указанием планов горных работ и реальных выработок, описание практического осуществления идеи, изначально столь же очевидной, как и вся идея сейсморазведки.

Идея метода каналовых волн имеет следующий вид.

Как известно, угольные пласты по своим акустическим характеристикам существенно отличаются от вмещающих пород. Отсюда, вроде бы, само собой разумеется, что пласты угля могут оказаться как бы звуковыми волноводами. А если это действительно так, то, оцени-

вая звукопроводность этих волноводов, можно было бы выявлять находящиеся в них разрывные нарушения.

Схема эксперимента, описанного Креем, приведена на рис.1, на котором показан в плане участок угольного пласта, подлежащего исследованию.

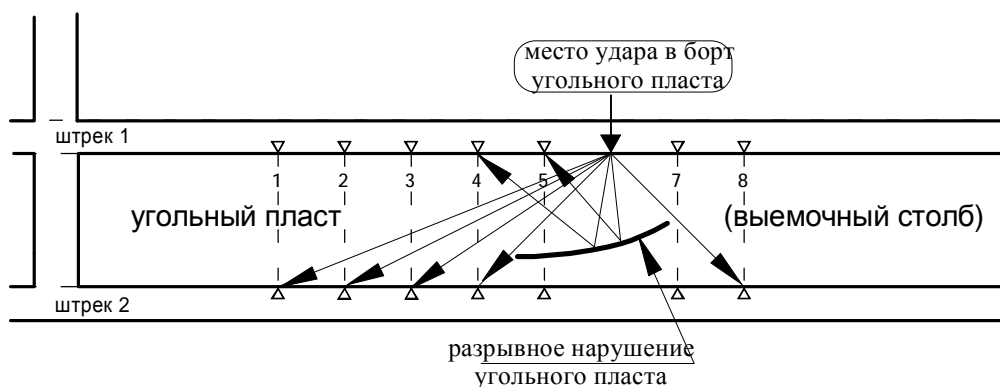


Рис. 1

В каждом из штреков **1** и **2** в борта угольного пласта установлены (ввинчены в угольный пласт) сейсмоприемники, по 8 штук в каждом штреке. Сигналы с этих сейсмоприемников поступают на 16-канальную сейсмоаппаратуру. По сути, 16-канальный осциллограф с памятью.

Допустим, что в угольном пласте имеется разрывное нарушение, не имеющее выхода на штреки. Это как раз тот случай, когда встреча добычного комбайна с тектоническим нарушением происходит внезапно и доставляет наибольшие неприятности. В таком случае, при ударе молотком в борт угольного пласта на уровне 6-го ряда сейсмоприемников, приемники **4** и **5** штрека 1 зарегистрируют отражение сигнала от этого нарушения, а в районе приемников **5**, **6** и **7** штрека 2 образуется акустическая тень. То есть, эти приемники не регистрируют прямого сигнала.

В силу простоты и очевидности описанных процессов, а также вследствие убедительности материалов, приведенных в статье Крзя, все угледобывающие страны, в том числе, и СССР, начали разработку аппаратуры, реализующей эту идею. В других странах эту идею подтвердить не удалось, и всё закончилось только испытаниями. У нас же это дело было поставлено на широкую ногу, поскольку за внедрение этой аппаратуры чиновники Минуглепрома СССР рассчитывали получить Государственную премию.

В связи с этим последним фактором, в стране было создано 28 геофизических отрядов, каждый из которых эксплуатировал в опытном порядке аппаратуру метода каналовых волн (как ее называли). При этом со стороны Минуглепрома, а именно, главным геофизиком этого учреждения, было поставлено перед каждым отрядом требование, чтобы эффективность этой аппаратуры на каждой шахте была бы не ниже 80%. Мне непонятно, как эффективность геофизической аппаратуры можно оценивать в процентах, но, тем не менее, шахты давали соответствующие документы именно о такой эффективности.

Приемы, с помощью которых получали эти документы, находятся не в компетенции физики, а скорее, в области компетентных органов. Поэтому описывать это я не буду.

Недаром методологи считают, что очевидность в физике – это путь в тупик. Правильнее, наверное, было бы сказать – непроверенная очевидность. Но ведь изначальную идею, казалось бы, очень нетрудно проверить.

Допустим, что мы согласны с изложенной моделью картирования нарушений угольного пласта. Но, наверное, прежде чем выпускать в серию аппаратуру, неплохо было бы все-таки эту идею проверить на каком-нибудь очень простом примере. Ну, скажем, что будет, если удар нанести в противоположную стенку штрека. Или сейсмоприемники установить на противоположных стенках штрека...

То есть проверить, позволяет ли описанный метод выявлять штрек. Штрек – это ведь тоже разрывное нарушение угольного пласта. Причем такое явное, какого природа предложить не может.

Как оказалось, подобного рода исследования самостоятельно и без информирования руководства проводились геофизиками всех 28 отрядов. При этом было установлено, что параметры сейсмосигналов не зависят от того, в какую из стенок штрека наносится удар и в какую из стенок штрека установлены сейсмоприемники. Более того, на параметры сейсмосигнала не влияет даже наличие между штреками 1 и 2 дополнительных, как бы промежуточных штреков (так называемых, разрезов). И таким образом, можно сказать с уверенностью, что предложенным Креем методом штреки выявлять нельзя. Но если этот метод не позволяет увидеть штреки, то что уж говорить о природных нарушениях...

То, что Крэй ввел всех в заблуждение, стало ясно уже к 1982 году. Однако сама по себе идея подобного выявления тектонических нарушений настолько элементарна, очевидна и заманчива, что это «научное» направление существует до сих пор. Более того, в научной литературе развивается математическое обоснование этого, якобы, высокоэффективного метода.

О высокой эффективности метода каналовых волн можно прочесть в нескольких монографиях. В первую очередь, у Н.Я. Азарова. Этот господин, будучи директором Донецкого филиала ВНИМИ – организации, занимавшейся изготовлением и внедрением аппаратуры метода каналовых волн, защитил докторскую диссертацию, ключевым моментом которой были документальные “подтверждения” 80-процентной эффективности метода. Эта диссертация и составила основу монографии.

Для меня эта тематика давно потеряла интерес. Я работал со всеми вариантами аппаратуры этого метода и знаю фактическое положение дел. Знаю, какими средствами добывались свидетельства о высокой эффективности метода каналовых волн, и чего стоят монографии и статьи по этому методу. Но вдруг, во время проведения традиционного летнего семинара 1-5 июля 2002 г «Геомеханика и геофизика» Институтом Геофизики СО РАН, моим экспериментальным данным была противопоставлена информация по методу каналовых волн со ссылкой на монографию Азарова.

Произошло это следующим образом. Я докладывал эффект АРП и некоторые его следствия. Ведущий семинара, академик Гольдин предложил считать излагавшийся мною материал неинтересным, так как если даже такой эффект и существует, то он противоречит общепринятым подходам в сейсморазведке и, в частности, методу каналовых волн.

Ну, здесь есть о чем подумать. Если по мнению академика существуют мотивы, когда новый физический эффект может оказаться неинтересным, это много говорит об уровне людей, которых избирают в академики. Согласно азам методологии, в споре между физическим эффектом и какими-то, пусть и общепринятыми, мнениями, победа всегда на стороне физического эффекта.

Кроме того, мне кажется, что этот случай должен послужить прецедентом для разработки каких-то этических правил в науке. Я заметил, что у нас как-то очень снисходительно относятся к подлогу в науке. А ведь на самом деле, как можно видеть на показанном примере, подлог типа того, что совершен г-ном Азаровым, может иметь последствия, существенно более глубокие, чем просто использование средств на изготовление заведомо никому не нужной аппаратуры. Ведь этот якобы инструмент для выявления тектонических нарушений предназначен для повышения безопасности труда шахтеров. А поскольку это все, на самом деле, фикция, то вместо повышения безопасности, с помощью метода каналовых волн получается наоборот, снижение безопасности.