

ЗАМЕТКИ НА ПОЛЯХ

А.В. Николаев

Иногда в ходе анализа того или иного произведения (в широком смысле этого слова: при чтении книги, статьи, прослушивании доклада) возникают некоторые замечания, размышления, выходящие за рамки анализируемого произведения и имеющие подчас обобщающие значения. Это, так называемые, «заметки на полях».

В частности, в процессе обсуждения доклада С.А. Королева при защите им кандидатской диссертации член-корреспондент РАН Алексей Всеволодович Николаев затронул некоторые проблемы создания сейсмологической аппаратуры, представляющие, на наш взгляд, интерес и для геофизики в целом. Поэтому редакция, с согласия автора, считает целесообразным опубликовать стенограмму выступления А.В. Николаева с небольшими пропусками, относящимися к конкретным характеристикам защищаемой диссертации.

О текущих проблемах при создании аппаратуры для сейсмических наблюдений

Задача экспериментальной сейсмологии и, вообще говоря, геофизики в широком смысле, это задача мониторинга. Что такое мониторинг? Это выявление непрерывных изменений, происходящих в земной коре. В основе аппаратных требований стоит требование высокой временной устойчивости. Временная устойчивость и неустойчивость проявляются с разных сторон. Во-первых, у нас меняются геофизические поля, которые окружают сеймостанцию: и температура, и электрическое поле, и электромагнитное поле, и магнитное поле, и т.п. Но, прежде всего, давайте начнём с нелинейных искажений. Нелинейные искажения проявляются тоже с разных сторон.

Прежде всего, сам прибор нелинейный, пружины нелинейны, на которых маятник подвешен. Есть и другие факторы. Воздух не откачан, значит, у нас есть циркуляция воздуха (тоже такая сложная). Это раз. Два – это процедура в станции самой. Дискретизация и квантование – это нелинейная операция. Что такое квантование? Это мы разбиваем на уровни, а дискретизация – по времени разбиваем. В итоге мы непрерывный сигнал заменяем ступенчатым сигналом. Это приводит к ошибке нелинейности. Эти ошибки равномерно распределены внутри уровней. Это хорошо изучено радиотехниками. Институт НИРФИ детально этим занимался. Но геофизики обычно действуют так, как в своё время была предложена методика, что должен быть ещё подсчёт по огибающей сигнала. И это до сих пор так сильно в нас вбито, что до сих пор сидит неприкосновенно.

Вместе с тем, очень интересные «хвосты» вот этой АЧХ. Ведь, если у нас очень низкий уровень сигнала, допустим, слева, в области низких частот, то нам не нужен низкочастотный приёмник. Мы можем просто поднять усиление на низкой частоте

и скорректировать запись. А если он без искажений, то нам вообще не нужен низкочастотный прибор (если отношение сигнал/помеха продлевает в сторону низких частот до 1 МГц). То же самое относится и к высокой частоте. Короче говоря, использование низкочастотных датчиков и низкочастотной малозумящей станции – это путь к регистрации и работе на низких частотах. А мы сейчас выбираем такой путь. Ставим станции REFTEK, допустим. Прекрасный прибор, но нужно найти ещё человека, который умеет их настраивать. А вместе с тем, аппаратным путём мы характеристики вытащили.

Теперь рассмотрим другую часть: вот этот «хвост» частотной характеристики справа – высокочастотную часть. Землетрясения местные имеют частоты 10 Гц в частотном спектре. Дело в том, что сигнал проходит через нелинейную среду, и появляются кратные частоты. Что такое кратные частоты? Это замечательная вещь. Во-первых, нелинейные характеристики среды это интересный объект для исследований. Во-вторых, это высокочастотный объект. В-третьих, изменения стандартного сигнала, который создаётся вибратором, очень хорошо видны именно на высокочастотных гармониках, гораздо лучше, чем на основном фоне. Никто этим не занимается. Геофизики занимаются нелинейными, а аппаратуры соответствующей нет. А приходится ей мерить. Как мы поверяем сейсмографы? Ставим на виброплатформу. Она тоже добавляет свои нелинейные. Кто их изучал – нелинейные? Платформа аттестована Госстандартом. А кто в Госстандарте этим занимался? Никто там этим не занимается. Я этим немножко занимаюсь, кто-то ещё этим немножко занимается. Короче говоря, мы на этих виброплатформах ничего не видим.

Возьмём сейсмостанцию, как прибор. Вообще, её характеристик должно быть очень много. У нас есть, так называемые, «косые» чувствительности. Это чувствительность горизонтальной компоненты к вертикальным колебаниям, вертикальной компоненты к горизонтальным колебаниям. Откуда берётся чувствительность к горизонтальным колебаниям у вертикальной компоненты? Никто не смотрел, как на перекрестиях пружины ходит центр тяжести. Если центр смещён, вертикальная компонента смещает маятник вверх или вниз, а в это время сбоку его толкает горизонтальная компонента. Возникает нелегко разрешимая статическая задача, чтобы понять какие особенно сильные колебания. При сильных колебаниях что происходит (то же самое на виброплатформах происходит)? Ведь никто ни разу не поставил горизонтальный прибор на вертикальную платформу.

Или наоборот – вертикальный прибор на горизонтальную платформу. Там другой эффект. Ну и, вообще, там неизвестно что происходит. Допустим, мы испытываем, как влияет температура на всё. Очень сильно. Это не только термометр нужен, но и приёмник электрического поля, магнитного поля, электромагнитного поля и т.д. Короче говоря, всё это очень сложно. Никто этим не занимается. А характеристик должно быть много: должны быть «косые» чувствительности все, должны быть «косые» чувствительности по отношению к высокочастотным нелинейным гармоникам. Они очень сильные. А мы вообще в эту область не суёмся, не смотрим, какая «косая» чувствительность ко второй гармонике, к третьей и т.д. с первого основного тона, допустим, 1 Гц.

Высокочастотная гармоника это источник информации для современной геофизики. Сейчас геофизика нацелена на выявление деликатных характеристик, которые меняются во времени. Что такое деликатные характеристики? Вы показывали результаты сейсмомониторинга проектируемой площадки Нижегородской АЭС. Замечательный эксперимент. По существующему положению у нас все атомные

станции должны быть обеспечены сейсмическим мониторингом. Значит, ваша аппаратура должна быть поставлена на всю жизнь. Если станцию рассчитывают на 50 лет, значит 50 лет она должна у вас работать. И должна быть временная стабильность соответствующая – раз. Ну и, кроме того, отовсюду лезут помехи. А сейчас такую же атомную станцию продали Белоруссии. Они строят такую атомную станцию, но у белорусов своя забота – им нужен мониторинг. В Белоруссии уже есть группа сейсмических станций на солевых шахтах, разработанная ими самими. Существует потенциальная опасность – переменная сейсмичность. Причём, известны сильные землетрясения, которые бывали на соляных карьерах. А сравнительно недалеко строится Белорусская атомная. Строится по точно тому же проекту, что и Нижегородская – просто взяли и перетащили. А я недавно разговаривал с белорусами. Они говорят, что сейсмику возьмём ту же самую, что и в Нижнем Новгороде, и применим. А я говорю: «Вы бы спросили у нас». А они говорят: «Мы спрашиваем ваш Росатом».

В общем, замкнутый круг – никому не нужны сравнения характеристик. Мы нуждаемся в том, чтобы у нас было много характеристик, чтобы продлить этот список за счёт громадной неизведанной части. Представьте себе биологию без микроскопа. Считайте, что вся геология держится на современной микроаналитической базе – «микроскопах» и т.д. Вот вы свой «микроскоп» сделали из этой самой группы. Замечательная вещь – группа.

Кстати, о группах два слова. Если у нас пишутся похожие сигналы, а их надо сравнивать, выявлять изменения, а изменения очень маленькие, то очень точно характеристики надо снимать. Как раз здесь и нужны ваши ухищрения со временем.

Кстати, о времени. Зачем мы сейчас берём спутниковый сигнал? У нас владеет временем Менделеево. Сейчас 16 знаков точность времени. Они мне звонили и говорят: «Мы не можем продать 16-й знак. Мы уже умеем. Где найти заказчика на 16-й знак? На 15-й знак мы нашли заказчика». Это первичный эталон. А есть вторичные эталоны. Они есть по крупным городам России и бывшего Советского Союза. Точные сигналы для метрологии берутся не из ГЛОНАССа или какого-нибудь спутника, а везутся в чемоданах на поезде. В чемодане на поезде везётся точное время. До сих пор у нас точное время – 9-й знак. 9-й знак это одна миллисекунда в год. Короче говоря, хорошо, конечно, эта маленькая штучка, чтобы брать сигнал со спутника. На самом деле, мы можем тут же выкинуть этот сигнал и просто заменить. Я не знаю, надо спросить, какими измерениями пользуются современные физики. Наверняка, там есть хорошие приборы. Для нас достаточно 11-го знака.

Два слова теперь о динамическом диапазоне станций. Ну, зачем нам 24 разряда? Кому они нужны? Никому не нужны. Их придумали для того, чтобы отсеять конкурентов. Вот вы не умеете ставить 24-х разрядный АЦП – у вас станции не будет. А вы умеете делать 15-и разрядные, ну и сидите с ними. Ну и давайте будем сидеть. Чем нам хуже? Особенно, если изучаем микросейсмы, кому нужен 15-й знак при изучении микросейсм. Вполне достаточно 10-и дБ. Ну, 12-и, ну, хорошо, давайте 40 дБ возьмём. Этого достаточно, чтобы изучать микросейсмы. Возьмём Нижний Новгород или Москву, или Белоруссию. Ну что нам удалённые землетрясения, которые происходят в Тихом океане или где-то? Зачем нам эти уровни? Тем более, эти уровни ещё неизвестно как в 24-х разрядной станции. Они сбиваются, группируются, они неравномерно разбиты. Никто не изучал эти станции. Ну, не знаю, может быть, кто-то и мерил. Тогда он должен знать лучше других, что эти уровни сбивы. Плохая характеристика, она нелинейная. Я частенько с этим вопросом сталкивался.

Теперь американцы предлагают 36-и разрядный АЦП. Ну, вообще, это никому не нужно. Вполне достаточно 15–16-и разрядов, на которых мы работали и работаем. А если мы решаем такую деликатную задачу: фон помех в районе Фукусимы, потом пришло страшное землетрясение. Ну и что? Давайте снимем количество разрядов, давайте сделаем дельта-модуляцию. Что такое дельта-модуляция? Это модуляция, где мы пишем просто приращение от одного к другому. Давайте сделаем чаще дискретизацию этого участка, тогда у нас мельче участочки получаются. Ну, зачем нам 24 разряда?..