



ШЕСТИЛЕТНИЕ КРУТИЛЬНЫЕ
ВОЛНЫ В ЯДРЕ И ИНТЕРВАЛ
ПОВТОРНОЙ КАЛИБРОВКИ
СТУДИЙНЫХ ЗАДАЮЩИХ
ТАКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ: ОТВЕТ
НА РАБОТУ ЖИЛЛЕ И СОАВТ. (2010)



Шестилетние крутильные волны в ядре и интервал повторной калибровки студийных задающих тактовых генераторов: ответ на работу Жилле и соавт. (2010)

M. Ferro

Ferro Acoustic Labs, Quito, Ecuador

Ferro Acoustic Labs Technical Bulletin, 2010.

Аннотация

В мае 2010 года Жилле, Жо, Кане и Фурнье сообщили в Nature, что в жидком ядре Земли распространяются крутильные волны -- колебания вложенных друг в друга цилиндров, вращающихся вокруг оси вращения Земли, которые повторяются примерно каждые шесть лет и пересекают ядро примерно за четыре года. Эти волны обмениваются моментом импульса с мантией и объясняют шестилетнее колебание продолжительности суток с амплитудой около одной десятой миллисекунды. Их скорость также указывает на то, что магнитное поле внутри ядра значительно сильнее, чем предполагали прежние оценки.

Студийный задающий тактовый генератор калибруется на вращающейся планете, вращение которой, как теперь выясняется, пульсирует с шестилетним периодом. Мы изучили записи о техническом обслуживании четырнадцати студийных задающих тактовых генераторов в Кито, Боготе и Лиме за период с 2003 по 2010 год. Поправки, вносившиеся при повторной калибровке девяти генераторов за пределами экваториальной полосы, следовали шестилетнему сигналу продолжительности суток ($r = 0,57$); поправки для пяти генераторов в Кито ему не следовали ($r = 0,06$). Мы рекомендуем повторно калибровать задающие тактовые генераторы за пределами экваториальной полосы не реже одного раза в три года, то есть через половину периода крутильных колебаний, чтобы никакие генераторы не проходили через полный размах колебаний вращения Земли между калибровками.

1. ВВЕДЕНИЕ

Продолжительность суток не является постоянной. Приливное трение медленно увеличивает её; атмосфера и океаны изменяют её на доли миллисекунды от сезона к сезону; а на временных масштабах от нескольких лет до десятилетий она меняется вследствие обмена моментом импульса между мантией и расположенным под ней жидким ядром. Шестилетнее колебание продолжительности суток уже некоторое время прослеживается в геодезических данных, однако общепризнанного объяснения его причины не существовало.

Жилле и соавт. (2010) теперь предложили такое объяснение. Решая обратную задачу для ансамбля моделей течения в ядре, полученных из геомагнитных данных, они выявили в ядре крутильную волну, повторяющуюся примерно каждые шесть лет, момент импульса которой соответствует шестилетнему сигналу продолжительности суток как по фазе, так и по амплитуде. Волна пересекает ядро примерно за четыре года. Крутильные волны представляют собой разновидность альфвеновских волн, распространяющихся благодаря магнитному полю, пронизывающему ядро, и их скорость зависит от величины этого поля. Пересечение за четыре года указывает на поле внутри ядра величиной в несколько миллитесла, во много раз более сильное, чем предполагали прежние оценки.

Ferro Acoustic Labs не является геофизической лабораторией, и этот бюллетень не вносит вклада в физику ядра. В нём рассматривается вопрос о том, что шестилетняя пульсация вращения Земли означает для устройства, задача которого -- отсчитывать время.

2. ГЕНЕРАТОР НА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАНЕТЕ

Студийный задающий тактовый генератор -- это кварцевый генератор, цепочка делителей частоты и калибровка. Калибровка выполняется по эталону в определённое время и в определённом месте, и с этого момента генератор работает автономно до следующей калибровки.

В заметке о магнитном экваторе, опубликованной в 2003 году, автор утверждал, что эталон должен оставаться на своём месте. Тот же принцип применим к эталону времени. Генератор, откалиброванный на планете с переменным вращением, откалиброван в условиях определённой фазы этой изменчивости. Если период изменений составляет шесть лет, то генератор, откалиброванный в одной фазе и оставленный без вмешательства на три года, проходит половину этого цикла.

Должен ли кварцевый генератор реагировать на вращение находящейся под ним планеты -- вопрос, который этот бюллетень не разрешает. В нём рассматривается лишь то, содержат ли записи о техническом обслуживании действующих студийных тактовых генераторов какие-либо признаки такой реакции.



3. МЕТОД

В исследование были включены четырнадцать задающих тактовых генераторов в студиях звукозаписи и мастеринга: пять в Кито, в пределах четверти градуса от экватора; пять в Боготе, на 4,6deg с. ш.; и четыре в Лиме, на 12,0deg ю. ш. Все генераторы были профессионального класса, и все проходили повторную калибровку в одной и той же сервисной мастерской, нерегулярно, с интервалами от одного до четырёх лет, с 2003 по 2010 год. В записях мастерской для каждой повторной калибровки указана внесённая поправка частоты.

Для каждого генератора ряд поправок сравнивался с шестилетней составляющей данных о продолжительности суток за тот же период, взятой на даты повторных калибровок. Генераторы в Боготе и Лиме рассматривались совместно как генераторы за пределами экваториальной полосы.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для девяти генераторов за пределами экваториальной полосы поправки, вносившиеся при повторной калибровке, следовали шестилетнему сигналу продолжительности суток; объединённая корреляция по 27 повторным калибровкам составила $r = 0,57$. Корреляция наблюдалась и в каждом городе по отдельности.

Для пяти генераторов в Кито поправки не показали связи с сигналом продолжительности суток ($r = 0,06$ по 16 повторным калибровкам). В среднем они были меньше поправок для остальных генераторов и отражали лишь обычное старение кварцевых резонаторов.

Автор не утверждает, что одна десятая миллисекунды в продолжительности суток может сместить частоту кварцевого генератора на величины, зафиксированные в журналах мастерской. Он отмечает, что поправки имеют период сигнала вращения Земли, что они проявляются только вдали от экватора и что генераторы на экваторе оставались к нему нечувствительными.

5. РЕКОМЕНДАЦИЯ

Задающие тактовые генераторы за пределами экваториальной полосы следует повторно калибровать не реже одного раза в три года, то есть через половину периода крутильных колебаний, чтобы никакие генераторы не проходили через полный размах шестилетнего сигнала между калибровками. Несколько генераторов, фигурирующих в записях мастерской, работали по четыре года между калибровками. Дату последней калибровки следует указывать на генераторах.

Генераторы в экваториальной полосе нуждаются в повторной калибровке только вследствие старения кварцевых резонаторов. С начала 2011 года Ferro Acoustic Labs будет по запросу предлагать повторную калибровку на экваторе для генераторов из других мест.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ (2026)

Этот бюллетень был выпущен Ferro Acoustic Labs -- консультационным предприятием и кабельной мастерской, которыми доктор Магнус Ферро руководил в Кито до создания компании, впоследствии ставшей Equatorial Audio, -- и воспроизводится из серии бюллетеней. Это первая его работа, адресованная аудиоиндустрии, а не геофизикам.

Работа Жилле и соавт. (2010) существует в действительности и изложена здесь точно. Шестилетняя крутильная волна и её соответствие данным о продолжительности суток остаются предметом активных исследований. Рекомендованный здесь трёхлетний интервал впоследствии был сокращён: Ферро, Магнуссон, Танака и Флакс (2026), рассматривая долгосрочное увеличение продолжительности суток наряду с шестилетним колебанием, рекомендовали ежегодную повторную сертификацию задающих тактовых генераторов за пределами экваториальной полосы. Исследование записей о техническом обслуживании воспроизводится в том виде, в каком оно было зафиксировано, и повторно не проводилось.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gillet, N., Jault, D., Canet, E., Fournier, A. (2010). Fast torsional waves and strong magnetic field within the Earth's core. *Nature*, 465, 74-77. <https://doi.org/10.1038/nature09010>
- [2] Braginsky, S. I. (1970). Torsional magnetohydrodynamic vibrations in the Earth's core and variations in day length. *Geomagnetism and Aeronomy*, 10, 1-8.
- [3] Ferro, M. (2003). The Wandering Magnetic Equator and the Case for a Geographic Reference. Technical Notes of the Geomagnetic Laboratory, University of Quito.