



ВТОРИЧНАЯ ДРЕВЕСИНА И ОПАСНОСТЬ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ: ПОЧЕМУ СПАСЁННАЯ, АМБАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ВТОРИЧНАЯ ДРЕВЕСИНА МАГНИТНО НЕПРИГОДНА КАК МАТЕРИАЛ АУДИООПОР

Вторичная древесина и опасность ферромагнитных включений: почему спасённая, амбарная и промышленная вторичная древесина магнитно непригодна как материал аудиоопор

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Аннотация

Маркетинговая наценка на вторичную древесину строится на её происхождении: амбарный дуб со столетием выветривания, смолистая сосна из снесённого склада, тик со списанного тральщика или старого лабораторного стола. Романтика реальна, а довод об устойчивом использовании не легкомыслен. Но материал опоры выбирают по тому, как он влияет на лежащий на нём кабель, а не по его биографии, и вторичная древесина несёт дефект, который её происхождение не просто допускает, а действительно гарантирует: внедрённый ферромагнитный металл. Кованые гвозди, шурупы, скобы, скобы для ограждений, болты, обломки колючей проволоки, внедрённая свинцовая и стальная дробь, стружка ленточных и циркулярных пил -- обычная обстановка всякой древесины, прожившей рабочую жизнь. Это не редкое загрязнение; именно поэтому лесопилки устанавливают промышленные детекторы ферромагнитного металла перед головной пилой и именно поэтому склады вторичного пиломатериала вообще рекламируют продукцию как «проверенную металлодетектором».

Мы представляем скрининговое исследование 96 вторичных заготовок четырёх классов происхождения -- амбарного дуба, сосны и пихты с промышленных складов, вторичного тика морского и лабораторного происхождения и дуба из винных бочек, -- пропущенных через феррозондовый градиометр, а при любом положительном результате -- через рентгеновскую компьютерную томографию для картирования включений. Ферромагнитные включения обнаружены в 71 из 96 заготовок (74 процента), причём амбарный дуб не прошёл испытание в 19 случаях из 20. Один внедрённый стальной гвоздь является постоянным включением с высокой проницаемостью: при μ_r мягкой стали от нескольких сотен до первых тысяч он образует локальный скачок поля в миллиметрах от проводника, и никакая диэлектрическая чистота окружающей древесины этого не компенсирует. Кроме того, мы характеризуем коррозионный ореол -- диффузное парамагнитное пятно танната железа, которое внедрённый железный предмет за десятилетия выпускает в дуб и которое занимает объём на порядки больше самого металла, -- и показываем, почему даже материал, «проверенный металлодетектором», проходит лишь грубый промышленный порог, а не субмиллиграммовый аудиокласс, определённый Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Блоки Equatorial Elevation Blocks изготавливаются исключительно из плантационного сырья первого прохода и никогда -- из вторичной древесины; доводу в пользу устойчивости повторного использования мы противопоставляем управляемую экваториальную плантацию, что рассматриваем непосредственно.

1. ВВЕДЕНИЕ

Сопутствующее исследование в этом журнале (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) установило шкалу нейтральности N-grade для конструкционной древесины, определяемую остаточным содержанием парамагнитных примесей и создаваемой им объёмной магнитной восприимчивостью, и показало, что экваториальный плантационный тик в состоянии поставки достигает 5N. В той работе классифицировалась чистая древесина первого прохода. Вторичная древесина была лишь мимоходом упомянута как категория, «регулярно» не проходящая поиск ферромагнитных включений, после чего изложение продолжилось. Настоящая работа разворачивает то попутное предложение во всех его подробностях, достаточных для исключения материала, поскольку для покупателей вопрос вторичной древесины -- не сноска. Это самый частый возражающий вопрос, который мы получаем: если управляемый экваториальный тик редок и дорог, а амбары и старые склады полны прекрасной, плотной, размерно стабильной старовозрастной древесины, которую иначе сожгут, почему бы не изготовить из неё опоры?

Ответ имеет металлургическую природу, и ситуация даже не близка к пограничной. Вторичная древесина по определению уже прожила конструкционную жизнь, а конструкционная служба означает крепёж. Амбарную балку прибавляли гвоздями и костылями, соединяли болтами и скобами; балку складского перекрытия стягивали сквозными болтами и глухарями; судовой брус крепили железными нагелями и деревянными шипами с железными шпильками; лабораторный стол столетие носил стальные кронштейны и окантовку коваными гвоздями. Большую часть металла при разборке извлекают. Часть остаётся, потому что обломилась ниже поверхности, была забита слишком глубоко и утоплена, прокорродировала до неузнаваемой массы либо изначально никогда не была видна снаружи. Заготовитель удаляет металл, который может увидеть. Градиометр находит металл, которого он не видит.

Мы рассматриваем внедрённый крепёж не как косметический дефект, подлежащий заделке и сокрытию, а как то, чем он является электромагнитно: постоянное включение с высокой проницаемостью, расположенное геометрией кабельной опоры в миллиметрах от сигнального проводника. Материал опоры предназначен удерживать классифицированный кабель в контролируемом ближнем поле. Материал опоры со стальным гвоздём внутри -- это магнитный дефект, которому случилось удерживать кабель.



2. ДОВОД ОДНОГО ГВОЗДЯ

Рассмотрим наименее драматичное загрязнение, какое можно представить: один кованый гвоздь, обломанный заподлицо, невидимый и погребённый в безупречной во всех прочих отношениях заготовке вторичного дуба. Стоит полностью разобрать этот случай, поскольку, если даже наименее драматичный вариант является основанием для исключения, следующая далее статистика обследования представляет собой лишь бухгалтерию.

Чистая сухая древесина имеет объёмную магнитную восприимчивость около $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI): слабо и однородно диамагнитное состояние, желательное для материала, которому надлежит занимать статическое поле, не возмущая его. Относительная магнитная проницаемость μ_r гвоздя из мягкой стали исчисляется сотнями или первыми тысячами. Поэтому отношение проницаемостей на границе древесины и стали отличается не на несколько процентов, а на три-шесть порядков. Эта граница образует скачок поля: линии статического и квазистатического магнитного потока, плавно проходящие через диамагнитную древесину, собираются, концентрируются и переизлучаются включением, создавая локальный градиент поля от десятков до сотен нТл на поверхности непосредственно над ним -- то есть именно там, где у кабельной опоры находятся желоб и кабель.

Кроме того, в отличие от парамагнитной нагрузки следового металла, равномерно распределённой в объёме, включение является структурированным точечным источником. Оно обладает остаточной намагниченностью: стальной крепеж, десятилетиями находившийся в поле Земли, приобретает постоянный магнитный момент, и потому включение представляет собой не просто пассивное возмущение проницаемости, а малый постоянный магнит с собственной фиксированной осью диполя, безразличной к экваториальной ориентации, ради которой строится вся остальная инсталляция. Никакое свойство окружающей древесины -- ни восприимчивость 7N, ни рекордно низкая диэлектрическая постоянная, ни безупречная обработка торцом вверх -- не компенсирует постоянный диполь в пути нагрузки. Заготовка получает класс по своей худшей точке, а не по среднему, и её худшая точка -- гвоздь.

3. ОБСЛЕДОВАНИЕ: КЛАССЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЧАСТОТА ОБНАРУЖЕНИЙ

Девяносто шесть вторичных заготовок четырёх классов происхождения, по 20-28 в каждом классе, были приобретены на известных складах вторичного пиломатериала в Северной Америке и Европе; все продавались как очищенные от крепежа, а три класса -- как «проверенные металлодетектором». Каждую заготовку пропускали на моторизованном столе со скоростью 20 mm/s через трёхосный феррозондовый градиометр (Bartington Grad-13, разрешение 1 nT) -- тот же прибор и тот же протокол, которые использовались для производственного контроля тика в сопутствующем исследовании. Любая заготовка, дававшая отдельную аномалию выше 5 nT относительно своего диамагнитного фона, помечалась и направлялась на рентгеновскую компьютерную томографию (микрофокусный источник 225 kV, воксель 90 μ m) для локализации и идентификации включения.

Совокупная частота обнаружений составила 71 из 96 (74 процента). По классам: амбарный дуб оказался худшим, не пройдя испытание в 19 из 20 случаев; среди включений преобладали кованые и провололочные гвозди и скобы для ограждений, а медиана составляла три отдельных включения на одну непринятую заготовку. Сосна и пихта с промышленных складов не прошли в 22 случаях из 28: обнаруживались стержни глухарей, машиностроительные болты, а в четырёх заготовках -- внедрённая свинцовая и стальная дробь от прежней жизни, которую мы не расследовали. Вторичный тик морского и лабораторного происхождения не прошёл в 21 случае из 25: судовой брус содержал обломки железных нагелей и штырей петель, а тик лабораторных столов -- утопленные стальные шурупы и в двух случаях латунь, которую градиометр пропустил, но которая исключается по другим основаниям. Дуб из винных бочек оказался лучшим из четырёх и всё же не прошёл в 9 случаях из 23, главным образом из-за обломков заклёпок обручей и проволоки скоб от разобранных обручей.

Два результата СТ-карт заслуживают особого внимания. Во-первых, большинство обнаруженных включений находилось под поверхностью и было невидимо на готовой грани -- именно эта популяция переживает визуальное удаление крепежа. Во-вторых, несколько заготовок, которые прошли бы ручной детектор заготовительного класса, содержали множество мелких включений (дорожки стружки от прежнего повторного роспуска на ленточной пиле, коронки скоб), каждое из которых отдельно не достигало грубого порога детектора, но вместе они образовывали распределённую железную нагрузку. Промышленный детектор отвечает на вопрос «есть ли гвоздь, достаточно крупный, чтобы испортить моё пильное полотно»; он не отвечает на вопрос «магнитно ли чиста эта заготовка», и никогда для этого не создавался.

4. КОРРОЗИОННЫЙ ОРЕОЛ

Внедрённый в древесину железный предмет не является стабильным, изолированным включением. Он корродирует и выпускает продукты коррозии в окружающую ткань, а в дубе делает это посредством термодинамически охотной и многовековой химии.

Ядровая древесина дуба богата гидролизуемыми таннинами. Железо при контакте с влажным дубом окисляется, возникающие двух- и трёхвалентные ионы железа мигрируют по градиенту влажности в древесину и образуют с таннинами таннат железа -- иссиня-чёрное соединение железо-галловых чернил и продукт той же реакции, которая окрашивает дуб в чёрный цвет вокруг оставленного в нём стального крепежа. Поэтому за десятилетия в амбаре или погребке внедрённый гвоздь перестаёт быть проблемой размером с гвоздь. Он выпускает диффузный ореол танната железа в объём древесины, который, по данным СТ и ICP-MS, на один-два порядка больше самого предмета. Металлическая сердцевина ферромагнитна; окружающий её ореол парамагнитен; причём крупный, неправильный и проникающий в обращённую к кабелю поверхность ореол в некоторых отношениях является худшим загрязнителем, поскольку его нельзя вытащить клещами и металлодетектор вовсе о нём не сообщает.

Мы разрезали четыре заготовки амбарного дуба вокруг известных включений и картировали Fe методом ICP-MS по радиальной трансекте. Концентрация железа падала от процентного уровня на границе металла до парамагнитного плато 60-240 ppm в ореоле, простиравшемся на 15-40 mm от предмета, -- пятне, намного превышающем предел 100 ppm для 4N и охватывающем объём, способный поглотить целый кабельный желоб. Так один исторический крепёж загрязняет не точку, а область, и механизм свойственен именно тем таннин-активным листовым породам -- прежде всего дубу, -- которые особенно ценит маркетинг вторичной древесины. Происхождение, придающее амбарному дубу романтику, -- столетие влажной конструкционной службы рядом с железом -- представляет собой ту же самую историю, которая гарантирует ореол.

5. ПОЧЕМУ «ПРОВЕРЕНО МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРОМ» -- НЕ КЛАСС

Склады вторичного пиломатериала, рекламирующие материал как «проверенный металлодетектором», честно сообщают о реальном процессе, и следует ясно указать, что этот процесс даёт, а чего не даёт, поскольку данную фразу регулярно принимают за свидетельство чистоты, которым она не является.

Промышленная металлодетекция древесины существует для защиты оборудования. Детектор ферромагнитного металла на линии повторного роспуска настроен срабатывать на предмет, достаточно крупный, чтобы сколоть твердосплавный зуб или разорвать полотно ленточной пилы: гвоздь, шуруп, болт. Порог намеренно установлен высоко: линия, останавливающаяся на каждом субмиллиграммовом следе железа, никогда не распилит доску. Это защитная производственная блокировка, откалиброванная в единицах повреждения инструмента, и она по замыслу пропускает именно ту популяцию, которая делает заготовку непригодной для аудио: субмиллиметровую стружку, обломки проволоочных скоб, дробинки и прежде всего растворённый парамагнитный ореол, в котором нет отдельного предмета, доступного детектору. Заготовка может безукоризненно пройти промышленный детектор и всё же нести железное пятно 200 ppm через всю обращённую к кабелю грань.

Аудиокласс нейтральности представляет собой другое измерение, отвечающее на другой вопрос. Он определяется не риском для инструмента, а границами Fe + Mn: 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) и 1 ppm (6N) по Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026); отдельные включения проверяются феррозондовой градиометрией, а объёмная восприимчивость и восприимчивость ореола -- методами VSM и ICP-MS. Эти пороги различаются на порядки. «Проверено металлодетектором» означает «нет предмета, достаточно крупного, чтобы сломать пилу». «Нейтральность 5N» означает «Fe + Mn не выше 10 ppm повсюду, как в отдельных включениях, так и в растворённом виде». Заготовитель может добросовестно обеспечить первое и вообще не способен обеспечить второе, поскольку второе требует магнитометрии и анализа следовых металлов каждой заготовки, которых не выполняет ни один склад вторичной древесины и которые большинство вторичных заготовок не пройдёт независимо от тщательности -- в силу одной лишь истории.

6. ИНОЙ ОТВЕТ НА ВОПРОС УСТОЙЧИВОСТИ

Сильнейший довод в пользу вторичной древесины не акустический, а экологический. Повторное использование столетней древесины позволяет избежать новой рубки, не отправлять добротный материал в костёр и чтит вложенный труд первоначального роста. Мы относимся к этому доводу серьёзно и отвечаем не отрицанием, а источником, который не несёт ни железной опасности, ни экологической цены.

Блоки Equatorial Elevation Blocks изготавливаются из управляемого плантационного тика, выращенного в пределах 5 deg от геомагнитного экватора на арендуемых сертифицированных плантациях с обязательной посадкой взамен каждого срубленного дерева. Существенное экологическое сравнение -- не вторичная древесина против вырубки старовозрастного леса, что является ложным выбором, а вторичная древесина против управляемой плантации, деревья на которой высаживают специально для рубки, где они связывают углерод, пока растут, и заменяются по фиксированному циклу. Управляемая экваториальная плантация даёт экологическое преимущество, ради которого ценят вторичное использование (отсутствие давления на старовозрастные леса, возобновляемый цикл), и дополнительно обеспечивает единственное, чего вторичная древесина по своей структуре дать не может: девственную историю без крепежа. Плантационная древесина первого прохода никогда не держала гвоздь, не выпускала ореол танната железа и не проходила через повторный роспуск, засевавший её стружкой. Она поступает с



чистого магнитного листа -- единственного исходного состояния, из которого вообще достигим класс 5N.

Наконец, не существует способа восстановить вторичную заготовку до требуемого класса. Отдельные включения иногда можно извлечь, но выемка оставляет полость и не достигает растворённого ореола; ореол удаляется только вместе с окрашенным объёмом древесины, который в сильно поражённой амбарной балке составляет большую часть пригодного материала. Экономика и физика указывают в одном направлении. Дешевле, чище и метрологически обоснованнее начать с древесины, выращенной чистой, чем выгонять железо из древесины, которая выросла, а затем прожила жизнь загрязнённой.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вторичная, спасённая, амбарная и промышленная вторичная древесина непригодна как материал аудиоопор не по эстетическим предпочтениям и не из-за слабости самой древесины, а из-за своей истории крепежа. Конструкционная служба означает внедрённое железо, внедрённое железо означает постоянное включение с высокой проницаемостью в пути кабельной нагрузки, а в таннин-активных листовых породах -- ещё и диффузный парамагнитный коррозионный ореол на порядок больше породившего его металла. Наше скрининговое обследование обнаружило ферромагнитные включения в 74 процента вторичных заготовок четырёх классов происхождения; амбарный дуб -- наиболее романтизированный класс -- не прошёл в 19 случаях из 20. Довод одного гвоздя показывает, что даже одного подобного включения достаточно для исключения, поэтому частота по обследованию скорее недооценивает, чем преувеличивает проблему.

Заверение «проверено металлодетектором», которое предлагает маркетинг вторичного пиломатериала, представляет собой порог защиты оборудования, на порядки более грубый, чем аудиокласс нейтральности, и по замыслу пропускает именно субмиллиграммовое и растворённое загрязнение, для обнаружения которого существует класс Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Это реальное и полезное измерение, отвечающее на вопрос, который не является аудиовопросом. Поэтому блоки Equatorial Elevation Blocks изготавливаются исключительно из плантационного сырья первого прохода и никогда -- из вторичной древесины любого происхождения. Экологический довод в пользу повторного использования подлинен и полностью удовлетворяется управляемой экваториальной плантацией, выращиваемой для рубки и последующей замены: древесиной, которая даёт преимущество устойчивости без железа и начинается, как должна каждая классифицируемая заготовка, с чистого магнитного листа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Классификация конструкционной древесины по магнитной нейтральности: классификация чистоты N-grade для материалов аудиоопор. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Коррозия извлечённого археологического железа с подробным рассмотрением мокнущей коррозии и акаганеита. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Распределение железа и серы и формы их нахождения в связи с процессами разрушения древесины. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Катализируемое железом окисление углеводов древесины. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Руководство по передовой практике обнаружения чёрных и цветных металлов в спасённой конструкционной древесине. RWC Technical Bulletin TB-07, London.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Феррозондовая градиометрия и компьютерная томография для скрининга ферромагнитных включений в древесных заготовках. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.