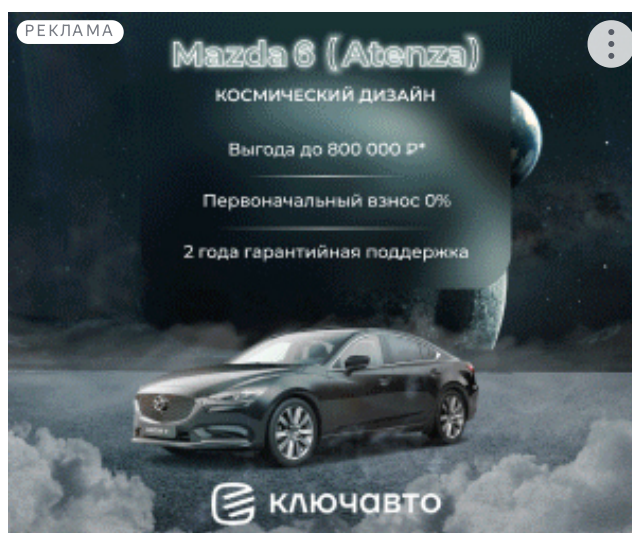


Рубрика «Понятия» старейшая в «АвтоЗвуке» и, в отличие от многих других, ни разу не меняла название. И, на мой личный взгляд важнейшая

Главная > Документ

Сохрани ссылку в одной из сетей:



[← предыдущая](#) [1](#) [2](#) [3](#)

[Смотреть полностью](#)

Только надо твёрдо запомнить, а лучше — перечитать цитату из основоположника в историко-биографической справке. Там сказано: «на низких частотах». К тому, как поведёт себя динамик на частотах более высоких, Тиль, Смолл и их параметры никакого отношения не имеют и никакой ответственности за это не несут. Какие частоты для динамика низкие, а какие — нет? А об этом и говорит первый из тройки параметров.

КАРТА ПЕРВАЯ, ИЗМЕРЯЕМАЯ В ГЕРЦАХ

Итак: параметр Тиль — Смолла №1 — собственная резонансная частота динамика. Обозначается всегда F_s , независимо от языка публикации. Физический смысл предельно прост: раз динамик — колебательная система, значит, должна быть частота, на которой диффузор будет колебаться, будучи предоставлен сам себе. Как колокол после удара или струна после щипка. При этом имеется в виду, что динамик абсолютно «голый», не установлен ни в какой корпус, как бы висит в пространстве. Это важно, поскольку нас интересуют параметры собственно динамика, а не того, что его окружает.

Диапазон частот вокруг резонансной, две октавы вверх, две октавы вниз — это и есть область, где действуют параметры Тиля — Смолла. Для сабвуферных головок, ещё не установленных в корпус, F_s может составлять от 20 до 50 Гц, у мидбасовых динамиков от 50 (басовитые «шестёрки») до 100 — 120 («четвёрки»). У диффузорных среднечастотников — 100 — 200 Гц, у купольных — 400 — 800, у пищалок — 1000 — 2000 Гц (бывают исключения, очень редкие).

Как определяют собственную резонансную частоту динамика? Нет, как чаще всего определяют — ясно, читают в сопроводительной документации или в отчёте о тесте. Ну а как её изначально узнали? С колоколом было бы проще: дал по нему чем-нибудь и измерил частоту производимого гудения. Динамик же в явной форме ни на какой частоте гудеть не будет. То есть он хочет, но ему не даёт присущее его конструкции затухание колебаний диффузора. В этом смысле динамик очень сходен с автомобильной подвеской, и этой аналогией я пользовался не раз и ещё буду. Что произойдёт, если качнуть на подвеске автомобиль с пустыми амортизаторами? Он хоть несколько раз, но качнётся на собственной резонансной частоте (где есть пружина, там будет и частота). Амортизаторы, сдохшие только отчасти, остановят колебания после одного-двух периодов, а исправные — после первого же качка. В динамике амортизатор главнее пружины, причём здесь их даже два.

Первый, более слабый, работает благодаря тому, что происходит потеря энергии в подвесе. Не случайно гофр делается из специальных сортов каучука, мячик из такого материала от пола почти не будет отскакивать, специальная пропитка с большим внутренним трением выбирается и для центрирующей шайбы. Это как бы механический тормоз колебаний диффузора. Второй, гораздо более мощный — электрический.

Вот как он работает. Звуковая катушка динамика — его мотор. В ней течёт переменный ток от усилителя, и катушка, находящаяся в магнитном поле, начинает двигаться с частотой подведенного сигнала, двигая, понятно, и всю подвижную систему, затем она и здесь. Но ведь катушка,двигающаяся в магнитном поле — это генератор. Который будет вырабатывать тем больше электричества, чем сильнее движется катушка. И когда частота станет приближаться к резонансной, на которой диффузор «хочет» колебаться, амплитуда колебаний возрастет, и напряжение, производимое звуковой катушкой, будет расти. Достигнув максимума точно на резонансной частоте. Какое это отношение имеет к торможению? Пока никакого. Но представьте себе, что выводы катушки замкнули между собой. Теперь уже по ней потечёт ток и возникнет сила, которая по школьному правилу Ленца будет препятствовать движению, его породившему. А ведь звуковая катушка в реальной жизни замкнута на выходное сопротивление усилителя, близкое к нулю. Получается как бы электрический тормоз, приспособившийся к обстановке: чем с большим размахом пытается ходить туда-сюда диффузор, тем больше этому препятствует встречный ток в звуковой катушке. У колокола тормозов нет, кроме затухания вибраций в его стенках, а в бронзе — какое затухание...

КАРТА ВТОРАЯ, НЕ ИЗМЕРЯЕМАЯ НИ В ЧЁМ

Мощность тормозов динамика численно выражается во втором параметре Тиля — Смолла. Это — полная добротность динамика, обозначается Q_{ts} . Выражается численно, но не буквально. В смысле, чем мощнее тормоза, тем меньше величина Q_{ts} . Отсюда и название «добротность» в русском (или *quality factor* в английском, из которого возникло обозначение этой величины), что это как бы оценка качества колебательной системы. Физически добротность — отношение упругих сил в системе к вязким, иначе — к силам трения. Упругие силы сохраняют энергию в системе, попеременно перегоняя энергию из потенциальной (сжатая или растянутая пружина или же подвес динамика) в кинетическую (энергия движущегося диффузора). Вязкие норовят энергию любого движения превратить в тепло и безвозвратно рассеять. Высокая добротность (а у того же колокола она будет измеряться десятками тысяч) означает, что упругих сил намного больше, чем сил трения (вязких, это одно и то же). Это же означает, что на каждое колебание в тепло будет переходить только малая часть энергии, запасённой в системе. Поэтому, кстати, добротность — единственная величина в тройке параметров Тиля — Смолла, не имеющая размерности, это отношение одних сил к другим. Как рассеивает энергию

колокол? Через внутреннее трение в бронзе, главным образом, потихоньку. Как это делает динамик, у которого добротность намного меньше, а значит, темпы потери энергии гораздо выше? Двумя способами, по числу «тормозов». Часть рассеивается через внутренние потери в упругих элементах подвеса, и эту долю потерь можно оценить отдельной величиной добротности, она носит название механической, обозначается Q_{ms} . Вторая, большая часть рассеивается в виде тепла от тока, проходящего по звуковой катушке. Тока, ей же выработанного. Это — электрическая добротность Q_{es} . Суммарное действие тормозов определялось бы очень легко, если бы в ходу были не величины добротности, а наоборот, величины потерь. Мы бы их просто сложили. А раз мы имеем дело с величинами, обратными потерям, то и складывать придётся обратные величины, поэтому и выходит, что $1/Q_{ts} = 1/Q_{ms} + 1/Q_{es}$.

Типичные значения добротностей: механическая — от 5 до 10. Электрическая — от 0,2 до 1. Поскольку в дело идут обратные величины, то получается, что мы суммируем механический вклад в потери порядка 0,1 — 0,2 с электрическим, составляющим от 1 до 5. Ясно, что итог будет определяться в основном электрической добротностью, то есть главный тормоз динамика — электрический.

Так как же вырвать у динамика имена «трёх карт»? Ну хотя бы двух первых, до третьей ещё доберёмся. Пистолетом, как Германн, грозить бесполезно, динамик не старуха. На помощь приходит всё та же звуковая катушка, пламенный мотор динамика. Ведь мы уже осознали: пламенный мотор подрабатывает и пламенным генератором. И в этом качестве как бы ябедничает об амплитуде колебаний диффузора. Чем большее напряжение появится на звуковой катушке как результат её колебаний вместе с диффузором, тем больше, значит, размах колебаний, тем ближе, значит, мы к резонансной частоте.

Как это напряжение измерить, притом что к звуковой катушке подведен сигнал от усилителя? То есть как разделить подведенное к мотору от выработанного генератором, это же на одних и тех же выводах? А не надо разделять, надо измерить получающуюся сумму.

Для этого поступают так. Динамик присоединяют к усилителю с возможно большим выходным сопротивлением, в реальной жизни это означает: последовательно с динамиком включают резистор с номиналом намного, в сто, как минимум, раз больше номинального сопротивления динамика. Скажем, 1000 Ом. Теперь при работе динамика звуковая катушка будет вырабатывать противо-ЭДС, вроде как для работы электрического тормоза, но торможения не произойдёт: выводы катушки замкнуты между собой через очень большое сопротивление, ток мизерный, тормоз — никудышный. Зато напряжение, по правилу Ленца противоположное по полярности подведенному («порождающему движению»), сложится с ним в противофазе, и если в этот момент измерить кажущееся сопротивление звуковой катушки, то покажется, что оно очень большое. На самом деле при этом противо-ЭДС не даёт току от усилителя беспрепятственно протекать по катушке, прибор это истолковывает как возросшее сопротивление, а как ещё?

Через измерение импеданса, того самого «кажущегося» (а на деле — комплексного, со всякими активными и реактивными составляющими, сейчас об этом не время) сопротивления и открываются две карты из трёх. Кривая импеданса любого диффузорного динамика, от Келлога и Райса до наших дней, выглядит, в принципе, одинаково, она даже фигурирует в логотипе какого-то электроакустического научного сообщества, сейчас забыл, какого. Горб на низких (для этого динамика) частотах обозначает частоту его основного резонанса. Где максимум — там и возделенная F_s . Элементарнее не бывает. Выше резонанса наступает минимум полного сопротивления, его-то обычно и принимают за номинальное сопротивление динамика, хотя, как видите, оно остаётся таким только в небольшой полосе частот. Выше полное сопротивление начинает вновь расти, теперь уже из-за того, что звуковая катушка — не только мотор, но и индуктивность, сопротивление которой растёт с частотой. Но туда мы сейчас ходить не будем, там интересующие нас параметры не живут.

Куда сложнее с величиной добротности, но, тем не менее, исчерпывающая информация о «второй карте» тоже содержится в импедансной кривой. Исчерпывающая, потому что по одной кривой можно

вычислить и электрическую Q_{es} , и механическую добротность Q_{ms} , по отдельности. Как потом сделать из них полную Q_{ts} , реально необходимую при расчёте оформления, мы уже знаем, дело нехитрое, не бином Ньютона.

Как именно определяются искомые величины по импедансной кривой, мы обсудим в другой раз, когда разговор пойдёт о методах измерения параметров. Сейчас будем исходить из того, что кто-то (производитель акустики или соратники вашего покорного слуги) это за вас сделали. Но отмечу вот что. Существует два заблуждения, связанных с попытками экспресс-анализа параметров Тиля — Смолла по виду кривой импеданса. Первое — совсем лоховское, его мы сейчас развеём без следа. Это когда глядят на кривую импеданса с огромным горбом на резонансе и восклицают: «Ничего себе добротность!» Типа — высокая. А глядя на маленький пупырышек на кривой, заключают: раз пик импеданса так приглажен, значит, у динамика высокое демпфирование, то есть — низкая добротность.

Так вот: в самом простом варианте это ровно наоборот. Что означает высокий пик импеданса на частоте резонанса? Что звуковая катушка вырабатывает много против-ЭДС, предназначенной для электрического торможения колебаний диффузора. Только при таком включении, через большое сопротивление, ток, необходимый для работы тормоза, не протекает. А когда такой динамик окажется включён не для измерений, а нормально, напрямую от усилителя, тормозящий ток пойдёт будь здоров, катушка станет могучим препятствием на пути неумеренных колебаний диффузора на его любимой частоте.

При прочих равных можно грубо оценить добротность по кривой, причём именно помня: высота импедансного пика характеризует потенциал электрического тормоза динамика, следовательно, чем он выше, тем НИЖЕ добротность. Будет ли такая оценка исчерпывающей? Не совсем, как было сказано, она останется грубой. Ведь в импедансной кривой, как уже говорилось, закопана информация и о Q_{es} , и о Q_{ms} , выкопать которую можно (вручную или с помощью компьютерной программы), проанализировав не только высоту, но и «ширину плеч» резонансного горба. По этому поводу мы тут поставили несколько вычислительных экспериментов, кому интересно — посмотрите.

А как добротность сказывается на форме АЧХ динамика, нас ведь именно это интересует? Как сказывается — решающим образом сказывается. Чем ниже добротность, то есть чем мощнее внутренние тормоза динамика на резонансной частоте, тем ниже и более плавно спадая, пройдёт вблизи резонанса кривая, характеризующая создаваемое динамиком звуковое давление. Минимальная неравномерность в этой полосе частот будет при Q_{ts} , равной 0,707, что принято называть характеристикой Баттерворта. При высоких значениях добротности кривая звукового давления начнёт «горбиться» вблизи резонанса, понятно почему: тормоза слабые.

Бывает ли «хорошая» или «плохая» полная добротность? Сама по себе — нет, потому что, когда динамик окажется установлен в акустическое оформление, в качестве которого сейчас будем рассматривать только закрытый ящик, и частота его резонанса, и полная добротность станут другими. Почему? Потому что и то и то зависит от упругости подвеса динамика. Резонансная частота зависит только от массы подвижной системы и жёсткости подвеса. С ростом жёсткости F_s растёт, с ростом массы — падает. Когда динамик установлен в закрытый ящик, воздух в нём, обладающий упругостью, начинает работать дополнительной пружиной в подвесе, общая жёсткость повышается, F_s растёт. Растёт и полная добротность, поскольку она — отношение упругих сил к тормозящим. Возможности тормозов динамика от его установки в некий объём не изменятся (с чего бы?), а суммарная упругость — возрастет, добротность — неизбежно возрастет. И никогда не станет ниже, чем была у «голового» динамика. Никогда, это — нижний предел. Насколько всё это возрастет? А это зависит от того, насколько жёсткий у динамика собственный подвес. Смотрите: одно и то же значение F_s можно получить при лёгком диффузоре на мягком подвесе или при тяжёлом — на жёстком, масса и жёсткость действуют в противоположных направлениях, а итог может оказаться численно равным. Теперь если мы поставим в какой-то объём (обладающий полагающимся этому объёму упругостью) динамик с жёстким подвесом, то он небольшого возрастания суммарной жёсткости и не заметит, величины F_s и

Q_{ts} изменятся не сильно. Поставим туда же динамик с мягким подвесом, по сравнению с жёсткостью которого «воздушная пружина» будет уже существенной, и увидим, что суммарная жёсткость изменилась сильно, а значит, F_s и Q_{ts} , исходно такие же, как у первого динамика, изменятся существенно.

В тёмные «дотилевские» времена для расчёта новых значений частоты резонанса и добротности (они, чтобы не путать с параметрами «голового» динамика, обозначаются как F_s и Q_{ts}) нужно было знать (или измерить) непосредственно упругость подвеса, в миллиметрах на ньютон приложенной силы, знать массу подвижной системы, а потом мудрить с программами расчёта. Тиль предложил концепцию «эквивалентного объёма», то есть такого объёма воздуха в закрытом ящике, упругость которого равна упругости подвеса динамика. Эта величина, обозначаемая V_{as} , и есть третья волшебная карта.

КАРТА ТРЕТЬЯ, ОБЪЁМНАЯ

Как измеряют V_{as} — история отдельная, там есть забавные повороты, и об этом, как говорю уже в третий раз, будет в специальном выпуске серии. Для практики важно понять две вещи. Первая: предельно лоховское заблуждение (увы, тем не менее встречающееся), что приведенное в сопроводительных документах к динамику значение V_{as} — это объём, в который динамик надо ставить. А это всего лишь — характеристика динамика, зависящая только от двух величин: жёсткости подвеса и диаметра диффузора. Если поставить динамик в ящик с объёмом, равным V_{as} , резонансная частота и полная добротность возрастут в 1,4 раза (это квадратный корень из двух). Если в объём, равный половине V_{as} — в 1,7 раза (корень из трёх). Если сделать ящик объёмом в одну треть от V_{as} , всё остальное возрастет вдвое (корень из четырёх, логика должна быть уже понятна и без формул).

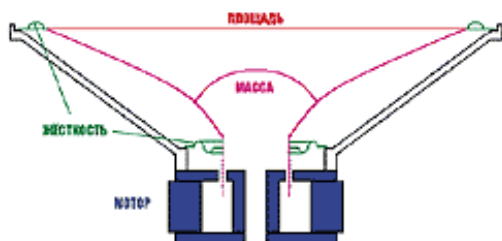
В результате, действительно, чем меньше при прочих равных величина V_{as} у динамика, тем на более компактное оформление можно рассчитывать, сохраняя плановые показатели по F_s и Q_{ts} . Компактность, однако, не даётся бесплатно. В акустике бесплатного вообще не бывает. Малое значение V_{as} при той же резонансной частоте динамика — результат сочетания жёсткого подвеса с тяжёлой подвижной системой. А от массы «подвижки» самым решительным образом зависит чувствительность. Поэтому все сабвуферные головки, отличающиеся возможностью работы в компактных закрытых корпусах, характеризуются и низкой чувствительностью по сравнению с коллегами с лёгкими диффузорами, но большими значениями V_{as} . Так что хороших и плохих значений V_{as} тоже не бывает, всему своя цена.

О чём пойдёт разговор в следующий раз? Понятно, о чём. Карты знаем, теперь — как сдавать, с какой ходить...

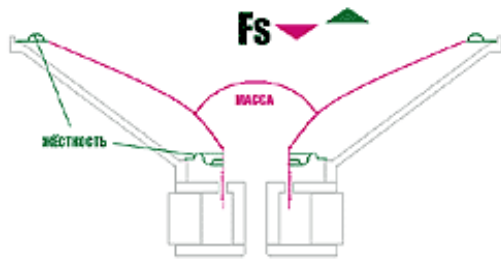
Что скрыто за картами

Андрей ЕЛЮТИН

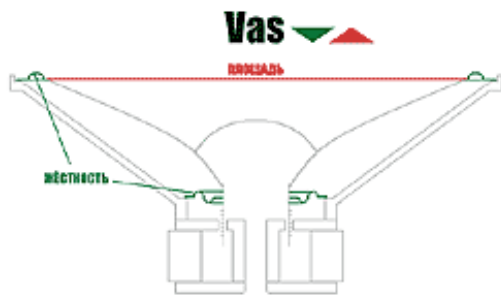
Какие карты имеются в виду — понятно, надеюсь. Те, что мы сдали сами себе в прошлом выпуске «В.В.», — три магические карты Тила — Смолла. Так вроде теперь всё разъяснилось, что там может скрываться? Производители всего мира вняли мирной инициативе двух выдающихся акустиков, стали прикладывать к своим изделиям параметры, получившие имена этих же двух выдающихся (правда, иногда забывают), так что теперь берём готовые цифры и...



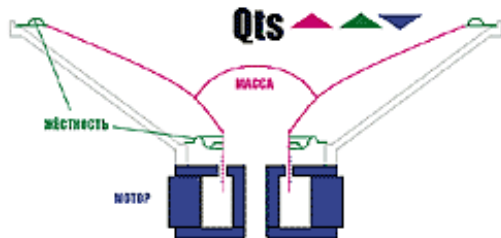
Четыре конструктивных, производственных характеристики динамика, из которых получаются потом параметры Тиля — Смолла



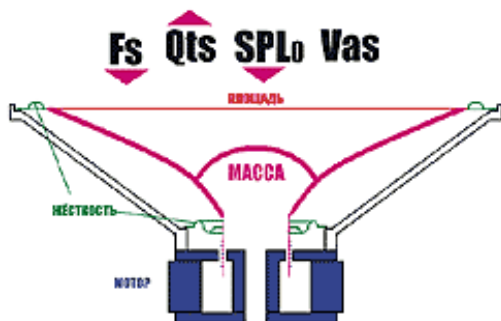
Резонансная частота определяется массой подвижной системы и жёсткостью подвеса, какова площадь диффузора и какой у него привод, этому параметру и дела нет. Цветные стрелки показывают, как будет меняться параметр при росте той или иной конструктивной величины



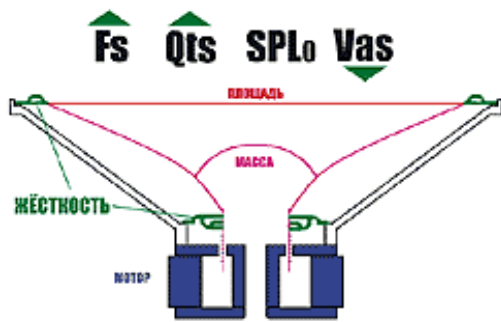
А эквивалентному объёму нет дела до массы подвижной системы: площадь диффузора и жёсткость его подвеса — вот всё, что определяет величину Vas



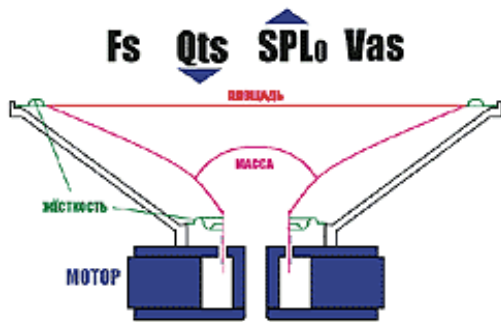
Добротности динамика есть дело до всего. Масса и жёсткость тянут её вверх, а мотор, превратившийся в электрический тормоз — вниз



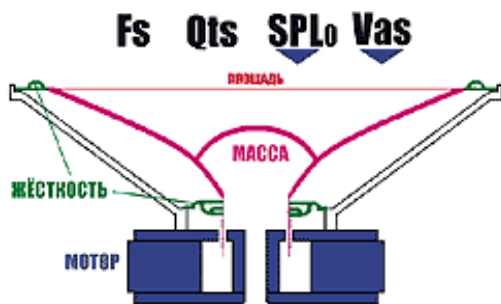
Если просто взять и утяжелить диффузор, снизится резонансная частота, повысится добротность и упадёт чувствительность



Если сделать более жёсткой подвеску, V_{as} упадёт, но повысится резонансная частота. И — опять добротность, ведь упругих сил в системе стало больше



Если, ничего не трогая, сделать более мощным привод диффузора, возрастет чувствительность и снизится добротность



Чтобы удержать F_s и Q_{ts} на требуемых значениях, но снизить требования к объёму, приходится одновременно утяжелять диффузор, делать более жёстким подвес и форсировать привод. Расплата, тем не менее, неизбежна: чувствительность таких головок оказывается невысокой. Вы только что присутствовали при рождении автомобильного сабвуфера

Над практической басовой акустикой висит тяжкое проклятие, снять которое, главное, не удастся никогда и никакими заклинаниями, надо научиться с этим жить. Есть три характеристики басовой акустики, определяющие её достоинства. Опять три, так уж получается, и не только в акустике. Это:

- Глубина баса, то есть нижняя частотная граница
- Чувствительность, или к.п.д.
- Компактность оформления

Идеальной акустикой будет такая, которая будет давать МНОГО баса, НИЗКОГО баса и в МАЛЕНЬКОМ ящике. Ну чем не предел мечтаний? Задача физики, однако, обламывать крылья мечтам. Проклятие как раз в том, что ни одна из этих характеристик не может быть качественно улучшена без ухудшения одной или обеих остальных. Возьмём какую-нибудь акустику с определённым балансом достоинств и попробуем что-нибудь в ней улучшить. Например, резко повысить чувствительность, а остальное пусть останется таким же. Дудки — получится акустика профессионального назначения, для озвучивания залов. С рекордными значениями чутя, но без глубоких басов и/или требующая огромных

корпусов. Вернём на место глубокий бас — и убедимся: чувствительность упала, объём по-прежнему требуется немалый. Пример — домашняя акустика: часто напольные и полочные колонки одной серии различаются, главным образом, нижней граничной частотой. Ну и объёмом, разумеется. Поборемся за компактность, не поступаясь глубокими басами, и чувствительность проваливается иногда самым катастрофическим образом. Это как раз наш случай, автомобильный. Наши сабвуферы от таких же по калибру, используемых в pro audio, по чувствительности отличаются иной раз на 10 — 12 дБ, а это означает, что для создания одного и того же звукового давления (при прочих равных условиях) на «не наш» динамик достаточно подать 1 Вт, а «нашему» надо 10. «Не нашему» 10 — «нашему» 100. «Не нашему» 100 — нашему кирдык.

И ЧТО? ВОТ ДАЖЕ ИНТЕРЕСНО, что? Можно так: подставляем в программу для расчёта сабвуферов, которых теперь хоть пруд пруди, а уж она нам всё расскажет — куда ставить да как сыграет. Но есть часть населения, которая иногда задаётся вопросом: «А как это сделано?» Ведь и параметры Тилия — Смолла не с неба свалились. Они собраны из других деталей, которыми раньше инженеры-акустики пользовались в исходном, разобранном состоянии. Если упомянутый чуть выше вопрос свойственен вашей натуре, продолжайте читать, попытаюсь пролить свет.

СБОРКА И РАЗБОРКА

Параметры бывают конструктивные и неконструктивные. Это не достоинство или недостаток, это — свойство. Для первых есть точный рецепт, как их добиться. Вторые получаются в результате совместной работы первых. Очень часто в технике оказывается, что конструктивные параметры абсолютно необходимы при изготовлении устройства, но страшно неудобны, когда надо оценить результаты работы готового продукта. Приведу пример.

На автомобильном заводе нет таких станков, на которых были бы рукоятки, например, «максимальная скорость». Или «время разгона до 100». Или «тормозной путь на сухом асфальте». У автомобилестроителей в ходу совсем иные показатели: диаметр того, сечение этого, масса третьего, упругость четвёртого, и так до бесконечности. Именно это содержится в чертежах, именно на это настраиваются станки. А теперь предположим, что вам предложили выбрать автомобиль по этим данным. Вот вам машина, диаметр цилиндра такой-то (даже с допуском плюс-минус сколько-то сотых миллиметра), вот гидравлическое сопротивление впускного коллектора, а вот — момент инерции коленчатого вала. Вам подходит? Нет, скажете вы, будьте любезны хотя бы максималку, от нуля до сотни и тормозной путь, чтобы хоть было с чем сравнить. Но получается, что цифры инженеров вам не очень нужны, а по вашим эти же инженеры не берутся сделать автомобиль. Вот и «у птичек точно так же».

Динамик по своей схеме — устройство предельно примитивное. По схеме, не по тонкостям взаимодействия с окружающей средой и тем более — с человеческим слухом. Это — всего лишь масса (диффузор), подвешенная на пружине (подвес), к массе прикреплён мотор, состоящий из катушки (звуковой) и постоянного магнита (магнит он и есть магнит). Всё остальное — подробности. Все параметры динамика, определяющие его работу на низких частотах, так или иначе сидят здесь, но расселись они не самым очевидным образом. И на заводе по производству динамиков тоже нет волшебных станков с рукоятками F_s , V_{as} и Q_{ts} , до этого наука не дошла. Зато там можно сделать диффузор с определёнными размерами и массой, детали подвеса с определённой упругостью, катушку с известным сопротивлением и магнит с определённой силой.

Пока Тиль и Смолл не опубликовали свою «энциклику», инженеры-акустики всего мира при расчётах акустических характеристик пользовались теми же параметрами динамиков, что и при их производстве. Или почти теми же, получившими название «электроакустические параметры», в отличие от именных, Тилия и Смолла. Так делали многие годы, с номограммами и формулами, но было это почти так же мучительно, как пытаться рассчитать время пути на дачу, имея полный комплект конструкторской документации на автомобиль, но не зная важнейших его ездовых характеристик.

Величие, не побоюсь этого слова, двух классиков заключалось в том, что они отважились предложить заменить параметры, прямо связанные с конструкцией динамика, на другие, связанные с ней довольно опосредованно и неочевидно.

РАЗБЕРЁМ

Разберём динамик на те немногие части, из которых он состоит и про которые, по отдельности, можно всё довольно легко узнать. Только разбирать надо в правильной последовательности, чтобы дров не наломать. Пока динамик ещё не раздербанили, узнаем гибкость подвеса. Это несложно: положить на диффузор груз и измерить, насколько он под весом этого груза просел. Потом поделить просадку на массу груза и получить то, что называется гибкостью подвеса (C_{ms} , измеряется в миллиметрах на Ньютон). Теперь можно ломать. Отделяем диффузор вместе со звуковой катушкой, то есть то, что в не разломанном на части динамике колеблется, линейкой выясняем диаметр диффузора, калькулятором — площадь, весами — массу. У звуковой катушки мы измерим длину провода, потраченного на её намотку. А у освобождённого теперь магнита измерим индукцию в зазоре, есть такие приборы, называются теслометры, потому что результат выдают в единицах, названных по имени чудесного сербского физика Николы Теслы. Две последние величины, если их не мешкая перемножить друг на друга (по отдельности они малополезны), называются силовым фактором динамика, обозначается так же, как и вычисляется, BL , то есть индукция (мощность магнитного поля, грубо говоря) на длину провода, находящегося в этом поле. «Силовой фактор» потому так называется, что BL — это своего рода заготовка для определения силы, действующей на диффузор при подаче тока в катушку. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, в пределах гимназического курса, равна $B \times I \times L$, то есть достаточно силовой фактор помножить на ток, как фактор превращается в реальную силу. В числе базовых параметров Тиля — Смолла силового фактора нет, а величина эта — архиважная, в ней, действительно, вся сила динамика.

Зная всё это, попробуем без формул, на качественном уровне, попытаться понять, какими окажутся параметры динамика, те самые, «ездовые», необходимые нам для расчёта и моделирования его работы. И поймём, в каком трудном положении находятся разработчики акустики.

ПЕРВАЯ ПАРА

Первый и главный параметр динамика — резонансная частота F_s . Главный, потому что, очень сильно упрощая, можно сказать: динамик излучает только выше своей резонансной частоты. Упрощая чуть меньше, скажем так: ниже резонансной частоты интенсивность звукового излучения динамика быстро падает. Так вот: из всех параметров отдельных частей распатроненного динамика резонансная частота зависит только от двух: массы подвижной системы и гибкости подвеса. Ни до площади диффузора, ни до стати магнита ей и дела нет. Чем больше масса и чем мягче подвес (больше величина просадки при одном и том же усилии, приложенном к диффузору), тем резонансная частота ниже. А-а-тлично, говорим мы, вообразив себя (на время, потом сами не захотите) конструкторами динамика. Диффузор — ладно, он должен быть всё-таки достаточно прочным, значит, масса у него какая-то есть. Теперь сделаем мягкий-мягкий подвес (большую-большую величину C_{ms}), и у нас будет резонансная частота, какую захотим, хоть 15 Гц, будет играть всё, и даже с запасом. Ну, оставим пока за скобками вопрос, всегда ли нужна такая низкая резонансная частота, вы и без этого уже попали. Потому что другой из судьбоносных параметров, эквивалентный объём V_{as} , тоже зависит только от двух конструктивных характеристик, но уже от иных.

ВТОРАЯ ПАРА

Эквивалентному объёму тоже нет дела до магнита, катушки и протекающего через неё тока, хоть вовсе их оторвать, как мы делали при разборке динамика. V_{as} зависит только и исключительно от площади диффузора (чем больше S_d , тем больше V_{as}) и гибкости подвеса (чем мягче подвес, то есть больше C_{ms} , тем снова больше). Это — единственный параметр из тройки Тиля — Смолла, который при некотором навыке можно, пусть очень грубо, оценить голыми руками. Во всяком случае, в сравнении двух

динамиков одинакового калибра. Нужны именно руки: эквивалентный объём будет меньше у того из двух, у кого сильнее сопротивляется диффузор при нажатии на него. Поскольку площадь диффузора одна и та же, а кроме неё и упругости подвеса, V_{as} не зависит ни от чего, что в нашей власти.

Масса, обратите внимание, здесь уже ни при чём. А теперь смотрите, что получилось. Гибкость совсем недавно вы сами выбрали очень высокую. Эквивалентный объём получился огромный, а он самым существенным образом определяет величину необходимого объёма акустического оформления любого типа. Что будем делать? Предприимчивый человек тут сообразит: раз V_{as} от массы не зависит, схитрим — сделаем диффузор потяжелее, а подвес — пожёстче, итог для резонансной частоты будет тот же самый, одно скомпенсирует другое. А эквивалентный объём уменьшится, он зависит только от гибкости. Могу вас обрадовать и огорчить одновременно. Огорчить — потому что вы не первый, кто до этого додумался. Перед вами в очереди за авторским вознаграждением стоят практически все производители автомобильной басовой акустики. А обрадовать — тем, что по находчивости вы им не уступаете. Получается, есть универсальное решение? Делаем дико тяжёлый диффузор, страшно жёсткий подвес, получаем (при той же F_s) ужасно маленький эквивалентный объём, и дело в шляпе. Но на деле всё будет как раз дико, страшно и ужасно.

Это можно было и предвидеть, при вашей-то сообразительности. Не бывает в реальном мире таких простых и, главное, бесплатных решений. Динамик-то должен играть, совершать некоторое полезное действие, а значит, у него должен быть пристойный коэффициент этого полезного действия, более привычно измеряемый в нашей дисциплине в форме чувствительности. Чувствительность, то есть звуковое давление, создаваемое динамиком при подаче одной и той же мощности (обычно 1 Вт) на одном и том же расстоянии от диффузора (обычно 1 м), зависит уже от трёх величин, снятых нами с деталей загубленного во имя просвещения динамика. От площади диффузора, от возможностей мотора и... от массы подвижной системы. Будем считать: диаметр мы выбрали и не меняем, хотя, вообще-то, чем он больше, тем больше будет чувствительность при прочих равных. И мотор, то есть магнитная система, и звуковая катушка у нас одни и те же. Тогда чем больше мы утяжили диффузор, тем меньше будет чувствительность динамика. Получается, хитрость удалась лишь отчасти: выиграла объём — утерли чувствительность.

НЕ ПАРА

Уже в этих четырёх соснах (растущих группами по две) разработчикам басовых головок приходится не первый год блуждать, бормоча про себя: «Ужесточим подвеску — резонанс вверх уплывёт, смягчим — объём потребует большой, утяжелим диффузор — вернём резонанс и V_{as} , но в чутье потеряем, тогда облегчим диффузор — резонанс уплывёт...» И так до бесконечности. Единого решения нет, оттого и разными получаются сабвуферы. Но ведь это ещё полбеды. Мы ни словом пока не обмолвились про добротность, а это из трёх параметров Тиля — Смолла самый, пожалуй, капризный. На величину добротности готового динамика влияют все запчасти, на которые мы его совсем недавно разобрали, кроме корзины и клемм. Логика влияния такова (только логика, без формул): добротность есть отношение всего, что похоже на маятник, ко всему, что похоже на тормоз. Масса диффузора — это маятник, упругость подвеса — тоже. А мотор, как мы знаем, вблизи резонанса становится тормозом и занимает положенное ему место в знаменателе пропорции. Есть ещё фактор механической добротности, за которую ответственны потери в элементах подвеса, но в основном свою роль играет фактор электрического торможения, более поддающийся прогнозу.

Значит, чем больше масса подвижной системы, тем выше добротность, чем жёстче подвес — тем тоже выше, чем мощнее магнитная система — тем, наоборот, ниже. Здесь уже навскидку ничего оценить не удастся. Приходилось видеть головки с худосочным магнитом, имеющие такую же величину добротности, что и такие же по калибру, но с огромным магнетищем. Но достаточно было пошевелить «невооружённой рукой» диффузор одного и другого, как становилось ясно, в чём секрет: диффузор первого динамика чутко реагировал даже на слабое нажатие, а у второго стоял как вкопанный, пока на него не навалишься как следует. Значит, если частоты резонанса у обоих близки, можно с уверенностью

заявить: одинаковые частотные характеристики у обоих можно получить в совершенно разных объёмах. У мягкого и с маленьким магнитом — в большом, у второго, у которого всё наоборот — в маленьком. Почти наверняка у второго будет ниже чувствительность, несмотря на могучий мотор, и совсем наверняка второй будет дороже первого.

Человек с практическим отношением к природе должен в какой-то момент сообразить: мощность привода ведь зависит не только от магнита, но и от того, сколько провода находится в зазоре. Магнит стоит денег, так давайте просто намотаем побольше витков, эффект такой же, ведь индукция и длина провода в выражении для силового фактора перемножаются. Попытка хорошая. Слишком хорошая, чтобы стать удачной с первого раза. Больше витков — это ведь значит более тонкий провод, у звуковой катушки возрастет сопротивление, ток, проходящий через катушку уменьшится, ничего мы не добились. «Ну, тогда возьмём провод толще, а катушку намотаем в два-три-четыре слоя». Да хоть в пять, для более толстой намотки придётся делать больше ширину зазора в магнитной системе, а значит, при том же магните значение индукции в зазоре упадёт. Снова приплыли. Увеличим не число витков, а диаметр катушки (чтобы больше была длина каждого витка) — тот же результат: магнитное поле окажется «размазанным» по более протяжённому зазору и потеряет силу, выраженную в величине индукции. Ну как, нравится вам теперь профессия конструктора динамических головок?

Теперь вы знаете, как родились ставшие общепринятыми характеристики сабвуферов автомобильного назначения, путём жертв, лишений, вечных компромиссов и попаданий не на одно, так на другое. А как этими, выстраданными кем-то за нас (и для нас) характеристиками пользоваться — в следующий раз.

Мы ещё в прошлый раз собирались воспользоваться цифрами, сопровождающими динамики, но остановились на время, чтобы понять, откуда они взялись. А теперь, поскольку поняли, можно и пользоваться.

ЗАДАДИМ СЕБЕ ВОПРОС. ПОЧЕМУ ЭТО МЫ, БОРЦЫ за автомобильный звук, так озабочены параметрами динамиков, а те, кому ближе звук домашний, об этом говорят очень мало. Или совсем не говорят. В том ли дело, что в автозвуке пустил гораздо более прочные корни естественно-научный подход к электроакустике, а в домашнем хай-фай-хай-энде — скорее чувственный? Отчасти да, но это не главное. Главнее то, что в домашнем звуке этого всего можно не знать. Есть такая возможность. Причин для этого как минимум две.

ПРИЧИНА ПЕРВАЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ

Суть её в том, что домашняя акустика приходит к владельцу в завершённом виде. Параметры заложенных в неё компонентов в большинстве случаев нельзя не то что изменить, а даже узнать без полной разборки готового, красивого и дорогого изделия. А кто и, главное, зачем это будет делать? Исключения бывают, но раз на тысячу или реже. Оттого так популярны в домашнем звуке игры с проводами: больше-то ничего изменить нельзя. И ценовой гипноз: стоит акустика тыщу — значит, должна сыграть на тыщу, а эта, за пять сотен, как она на тыщу может сыграть? У нас всё по-другому.

То, что для нас готовое изделие, в домашнем звуке означало бы радиодеталь. Да и для нас, строго говоря, динамик не готовое изделие, конечный продукт — это система в машине, но готовыми системами не торгуют (заводские не в счёт, сами знаете почему).

Если бы торговали готовыми аудиосистемами, мы бы тоже могли позволить себе роскошь ничего не знать о параметрах динамиков, туда установленных. Садись и слушай, кому положено, всё уже учёл. Но нам в обмен на деньги выдают динамик, который сам по себе никак не звучит, даже если его к чему-нибудь подключить. Как понять, чего от него ожидать, подходит ли он, а если подходит — то для чего, в смысле, что для него надо сделать, чтобы он раскрыл свои возможности?

Пока, напомним, мы говорим только о работе динамиков на низких частотах. В своё время будем заходить и выше по частоте, но значительная часть технических решений, которые приходится принимать при выборе динамических головок, связана именно с их работой в басовом регистре. И почти вся теория, на основе которой, не прибегая к эксперименту, можно спрогнозировать поведение акустики, тоже выведена для низких частот. А мы именно к этому стремимся — понять, как будет работать динамик до того, как стали его хозяином.

На низких частотах в машине, в общем случае, работают два типа акустики. Фронтальные мидбасы (или басовики трёхполосной системы, здесь не важно) и сабвуфер. Подход к прогнозу и расчёту для этих типов акустики принципиально разный. Большинство сабвуферных головок предназначены для установки в то или иное сознательно построенное акустическое оформление. Его характеристики выбираются так, чтобы вместе с «врождёнными» параметрами динамика дать требуемые итоговые значения резонансной частоты и добротности, которые и определяют форму АЧХ в машине, многие другие характеристики и в итоге — характер звучания. Исключение составляют сабвуферы, предназначенные для работы в акустическом экране (более популярным стало название *free air*). Для них объём ящика, куда они установлены, — это объём багажника, который всегда настолько велик, что никак не сказывается на итоговых значениях параметров динамика в оформлении. Динамик перестаёт «чувствовать» действие объёма ящика, в который он установлен, когда этот объём в 5 раз больше эквивалентного объёма динамика V_{as} . «Перестаёт чувствовать» означает, что резонансная частота и полная добротность изменяются не более чем на 10%. Типичные значения V_{as} для 12-дюймовых, например, головок, крайне редко превышают 80 л, следовательно, типовой багажник для них — это уже безграничный простор. Это если считать багажник действительно закрытым ящиком, которым он, в сущности, не является, но об этом чуть позже, в другом контексте. Поэтому для сабвуферных головок параметры Тилля — Смолла — это совсем уже «информационное сырьё», до поры до времени никак не означающее характеристики готового изделия.

Совсем иная ситуация с мидбасовыми компонентами фронтальной акустики, отрабатывающими значительную часть басового материала. Типовая схема установки фронтальных мидбасов — в дверь. Формально дверь — тот же закрытый ящик объёмом 30 — 50 л (крайние случаи). Типичные значения V_{as} компонентных мидбасов (или коаксиалов такого же калибра) таковы: 90% 5-дюймовых головок попадают с этим параметром в коридор 6 — 10 л, для 6-дюймовых это 8 — 15 л. То есть получается, в принципе, что объём двери где-то на границе просторного закрытого ящика и бесконечного экрана. Это — говоря формально. На самом деле дверь — это никакой не ящик. Судите сами: если бы нечто, отштампованное из листа толщиной 0,6 мм, без каких-либо существенных элементов жёсткости обшивки, с многочисленными прорезами (для дверных ручек, ограничителя хода, опускного стекла, слива воды и пр. и пр.) можно было бы считать серьёзным корпусом акустической системы, чего ради во всём мире уже которое десятилетие корпуса для домашней акустики строят из толстых досок, с многочисленными рёбрами и распорками, причём тем более толстых и с тем более многочисленными, чем лучше акустика? Подойдите к машине (лучше — своей) и нажмите пальцем на центр двери. Миллиметр прогиба особого усилия не потребует. Прodelайте то же самое с самой затрапезной домашней колонкой. Здесь можно воспользоваться и чужой, ущерб исключён, если ваша фамилия не Кличко.

Что такое миллиметр? Примерно амплитуда колебаний диффузора мидбаса на всех частотах, кроме предельно для него низких. А площадь его куда меньше, чем площадь дверной панели, поэтому вибрация металлического листа двери в значительной мере компенсирует пульсации давления во внутреннем объёме, то, на чём основано действие закрытого ящика как акустического оформления. Так что сам по себе объём без учёта жёсткости — фикция. Если не убедил, доведём ситуацию до абсурда: поставим на место корпуса акустической системы полиэтиленовый мешок, пусть и требуемого объёма. Это он для мусора 60 л, а для акустики — сам мусор. Поэтому, говоря об условиях работы дверных мидбасов, следует отдавать себе отчёт в том, что они работают не в закрытом объёме в акустическом смысле. Такое оформление ближе всего соответствует акустическому экрану, и тем ближе, чем