



Герман Лимпенс
(перевод Л. Годлевской)

Объективность и оценка «субъективного» наблюдения в использовании УЗ детекторов для идентификации и изучения рукокрылых

1. Различные системы преобразования ультразвука

Детальное объяснение технического функционирования и свойств различных ультразвуковых (УЗ) детекторных систем рассматривается у Алена (Ahlen et al. 1984), Фентона (Fenton 1988), Петтерсона (Pettersson 1993a, 1993b, 1999). Здесь же просуммирована информация, необходимая для понимания и интерпретации слышимого исходящего сигнала.

1.1. Детекторная система растяжения во времени (*the time expansion detector system*), принимая и оцифровывая сигнал, воспроизводит его в растянутом времени. Фактор растяжения во времени может иметь любое значение, однако, чаще всего используется значение 10 или 20. На выходе (подобно замедленному воспроизведению магнитофонной записи) частоты будут ниже и импульсы длиннее. Используя значение 10 в качестве фактора растяжения, типичный FM-сигнал¹, изменяющийся от 70 до 25 кГц на протяжении 5 мс, будет воспроизведен как слышимый с меняющейся от 7 до 2,5 кГц частотой в течении 50 мс.

Физические свойства импульса полностью сохраняются в исходящем сигнале, что, следовательно, делает его превосходным объектом последующего звукового анализа. Растянутый во времени УЗ импульс животного обнаруживает в себе много деталей, которые могут быть интерпретированы слуховым анализатором человека также в полевых условиях. Данная система является широкополосной и инспектирует почти полный диапазон частот, используемый кажанами.

1.2. Детекторная система частотного деления (*the frequency division detector system*) считывает циклы входящего сигнала, определяя время между пересечением 0-позиции, и продуцирует одну волну, например, на каждые 10 считанных циклов. Фактор-делитель в этом случае также может иметь любое значение, но деление на 10 является наиболее распространенным. Типичный FM сигнал с частотой, меняющейся от 70 до 25 кГц в течении 5 мс, будет воспроизведен как слышимый в реальном времени исходящий сигнал с частотой, меняющейся от 7 до 2,5 кГц в течении 5 мс.

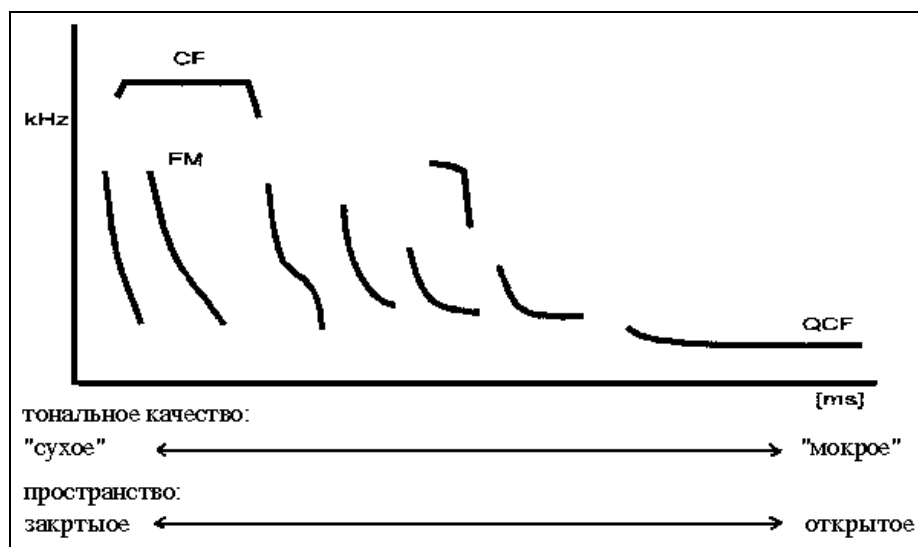


Рис. 1. Схематические изображения сонограмм различного типа сигналов

¹ FM сигнал (от frequency modulated) – частотно модулируемый сигнал, CF сигнал (от constant frequency) – сигнал постоянной частоты; QCF сигнал (от quasi-constant frequency) – сигнал с полупостоянной частотой. Схематическое изображение сонограмм различного типа сигналов представлены на Рис. 1. — (здесь и далее: прим. пер.)

В процессе считывания времени между пересечением 0-позиции часть физических характеристик сигнала (например, гармоники исходного сигнала) теряется. Процесс «усреднения» групп из 10 волн делает невозможным изучение быстрых частотных изменений, происходящих в начале или в конце «FM - пологий FM – FM» или "QCF-FM" импульсов. В этом отношении, детекторы частотного деления предоставляют менее надежную информацию по начальным и конечным частотам в крутых FM-частях импульсов.

Сигнал может быть использован для последующего звукового анализа, однако уровень физической детальности сигнала – ниже, чем для детекторов временного растяжения. Детекторная система частотного деления также является широкополосной и инспектирует весь диапазон частот, в котором могут быть зафиксированы сигналы кажанов. Исходящий сигнал производится в реальном времени.

1.3. Гетеродинный детектор (*the heterodyning detector*) может быть коротко описан следующим образом. Мы должны помнить, что типичный кажан производит FM-сигнал, частоты которого быстро меняются от высоких к низким. Гетеродинная система функционирует, микшируя входящие частоты кажана (f_{bat}) с частотой настраиваемого осциллятора в детекторе (f_{tuned}). После микширования этих двух частот исходящий сигнал будет включать как сумму ($f_{tuned} + f_{bat}$), так и разницу частот ($f_{tuned} - f_{bat}$). Сумма часто будет просто выше УЗ частоты - кажана и, таким образом, неслышима: она отфильтровывается. С другой стороны, частотная разница будет ниже точки настраиваемой частоты, принимая даже значение 0, когда $f_{tuned} = f_{bat}$. FM импульс, меняющийся от 70 до 25кГц, при $f_{tuned} = 45$ кГц производит V-образный исходящий сигнал, меняющийся от 25 кГц до 0 и снова до 20 кГц. Нижние частоты этого исходящего сигнала будут слышимыми. Низко-пропускной фильтр для исходящего сигнала (например, 2,5 или 8 кГц) будет функционировать как «частотное окно», отфильтровывая шум более высоких частот и воспроизводя ясно слышимый сигнал, изменяющийся, например, от 5 кГц до 0 и снова до 5 кГц (табл. 1 и рис. 2). Однако при $f_{tuned} = 35$ кГц и 55 кГц детектор произведет одинаковый исходящий сигнал. Это подразумевает, что исходящий сигнал не включает в себя частотную информацию (рис. 2). В поле такая информация считывается с детекторного дисплея.

Таблица 3. Пример частот сигнала на входе и выходе при их микшировании с сигналом осциллятора, настроенного на частоту 45 кГц. В разных детекторах низко-пропускные фильтры могут быть шире или уже

сигнал / кГц	настройка осциллятора	исход. сигнал	
70	-	45	= 25
60	-	45	= 15
55	-	45	= 10
54	-	45	= 9
53	-	45	= 8
52	-	45	= 7
51	-	45	= 6
50	-	45	= 5
49	-	45	= 4
48	-	45	= 3
47	-	45	= 2
46	-	45	= 1
45	-	45	= 0
44	-	45	= 1
42	-	45	= 2
43	-	45	= 3
41	-	45	= 4
40	-	45	= 5
39	-	45	= 6
38	-	45	= 7
37	-	45	= 8
36	-	45	= 9
35	-	45	= 10
30	-	45	= 15
25	-	45	= 20

± 8 кГц

окно ± 5 кГц

настраиваемая частота

окно ± 5 кГц

± 2 кГц

± 2 кГц

± 8 кГц

2. Слышимые параметры, используемые для идентификации

2.1. Частотные параметры

2.1.1. Тональное качество

Первый параметр, который мы используем в поле для различения видовых групп, – это присутствие или отсутствие так называемого «тонального качества» (Ahlen 1981; Helmer et al. 1987; Limpens & Hollander 1982; Limpens & Roschen 1995). Гетеродинный детектор, напр., с ± 5 кГц окном, воспроизведет сигнал, падающий от 5 до 0 кГц и снова повышающийся, в течении времени, за которое сигнал проходит частотное окно ±5 кГц (рис. 2). Таким образом, детектор будет производить слышимый для человека звук, но в оригинальном FM-темпе² (кГц/мс) сигнала.

² FM-темп — темп частотной модуляции – скорость изменения частоты сигнала.

Для того чтобы воспринять тон или высоту звука, наша слуховая система нуждается в определенной длительности каждой из частот. Следовательно, мы воспримем звук, но темп падения, или скорость изменения, частоты будет слишком быстрым, чтобы ощутить тон или высоту звука. Мы услышим звук без тонального качества: сухое «тик тик тик», для которого мы не сможем определить высоту тона.

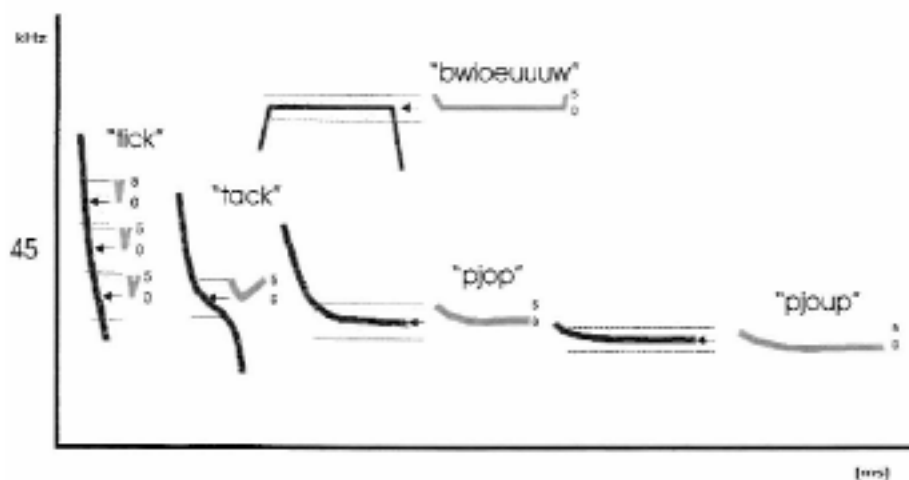


Рис. 2. Схематическое изображение сонаграмм импульсов кажанов и исходящих сигналов гетеродинного детектора

Когда FM-темп исходящего сигнала более пологого импульса – достаточно медленный, мы способны ощутить тон, и звук будет иметь «тональное качество» («тэк», «пьюп–пьюп», «пьюуп–пьюуп»: рис. 2). Эти звуки могут звучать как капли, падающие на водную поверхность. «Мокрые» звуки – звуки с тональным качеством, «сухие» звуки – без тонального качества: такая терминология используется во многих описаниях работы с УЗ детекторами. Описывать то, что мы слышим, трудно. Мы пытаемся дать имена звукам и звуковым структурам, в нормальных обстоятельствах в нашем человеческом аудио-мире не встречающихся, в то время, как фонетическая интерпретация символов различна для разных языков.

Настоящие CF сигналы, продуцируемые подковоносами, конечно, имеют тональное качество, но качество, которое, благодаря сравнительно длинным импульсам с постоянной частотой, более похоже на свистящий звук.

Виды различаются по способу использования скорости изменения частот: от крутого FM, пологого FM к QCF и настоящему CF. И виды, и даже особи одного вида изменяют FM-темп в связи с эхолокационными целями, которые они преследуют в данной обстановке: замкнуто или открыто пространство, как высоко над землей или как далеко от убежища находятся животные. Для того, чтобы ощутить тональное качество, если оно присутствует в сигнале, гетеродинный детектор должен быть настроен на ту часть импульса, где FM-темп достаточно медленен (рис. 3). Это будет более пологая часть FM-импульса кажана, производящего крутой-FM – пологий-FM – крутой-FM импульс. Часто эта часть импульса включает в себя также частоты с наивысшей энергией.

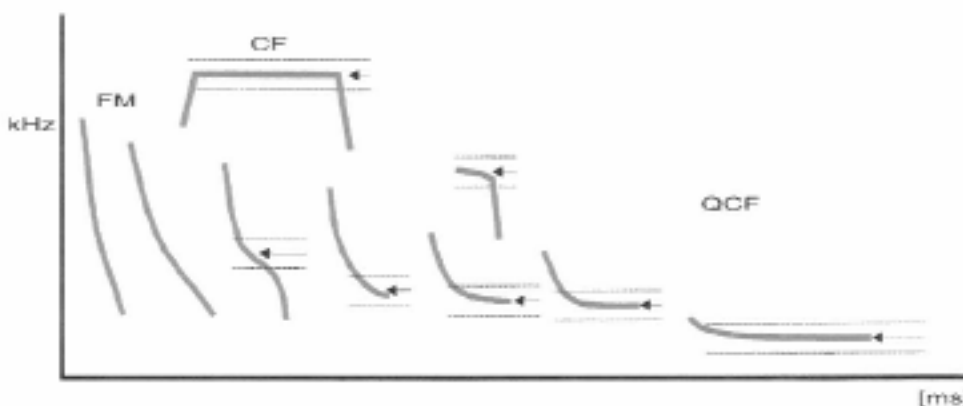


Рис. 3. «Участки» импульсов, позволяющие наблюдателю воспринять тональное качество

При настройке детектора (двигаясь вниз по FM-QCF сигналу от его высокой части) звук будет меняться от сухого (V-образная 5–0–5 кГц / слишком крутая часть импульса, чтобы ощутить тональное качество), высокого тонального качества (V-образная 5–0–5 гГц / достаточно пологая часть импульса) к низкому тональному качеству, когда детектор настроен на QCF часть импульса (V-образная 5–0–1 кГц / очень пологая часть). Чем длиннее и ровнее QCF часть, чем ближе детектор настроен к «наиболее пологой части QCF-частот», тем ниже будет тон исходящего сигнала (5–0–0,5 кГц) (рис. 2, рис. 4). Если детектор настроить еще ниже, разница между f_{bat} и F_{tuned} снова увеличится и тон повысится.

Когда тональное качество становится слышимым, часто другие параметры также становятся явными. Например, эффект Допплера в сочетании с длиной звукового пассажа кажана может рассказать нам кое-что про стиль полета наблюдаемого животного.

Благодаря эффекту Допплера, который определяется полетной скоростью кажана, воспринимаемая частота будет несколько различаться. Степень различия воспринимаемой частоты также зависит от положения микрофона по отношению к летящему животному. В детекторе, настроенном на «наиболее пологую часть QCF-частот», это приведет к небольшому изменению высоты тона импульса (реальная частота ниже или выше настроенной частоты). Это, в свою очередь, позволяет нам судить о стиле полета животного. Прямой полет пролетающего животного звучит как «пип-пип-пип-пеп-пеп-поп-поп-поп» (одно изменение тона), в то время, как более лихорадочный полет с менее прямой полетной линией будет звучать как «пип-пип-поп-поп-пип-поп-пип-поп» (несколько изменений тона в пассаже).

Многие виды используют различные типы импульсов с различными структурами (различные частотное наполнение сигналов, FM-темп, длина QCF-части). Если кажан использует импульсы с тональным качеством (пологий FM или QCF), отчетливо слышно длинное и медленное чередование «пип-поп-пип-поп» (напр., у *N. noctula*). Однако нам будет трудно услышать подобное изменение тона, когда чередующиеся импульсы все остаются внутри сухих FM импульсов (*M. daubetoni*, летящая прямо).

Когда детектор частотного деления трансформирует УЗ в слышимый звук, он также меняет FM-темп импульса. Делитель будет трансформировать крутые импульсы, меняющиеся от 70 до 25 в течении 5 мс в импульс, меняющийся от 7 до 2,5 кГц в течении 5 мс и таким образом понизит FM-темп в 10 раз.

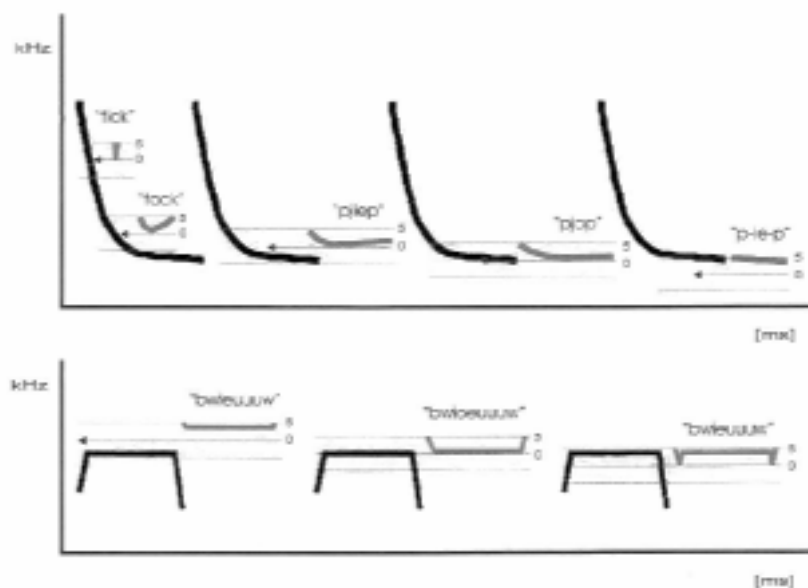


Рис. 4. Изменение тона исходящего сигнала при настройке гетеродинного детектора на различные части FM-QCF (вверху) и FM-CF-FM (внизу) импульсов

Но и в этом случае, FM-темп в наиболее крутых FM импульсах (например, таких, которые производят многие из собирающих видов) и наиболее крутая часть более пологих импульсов, будет все равно слишком быстрой для наших ушей, чтобы услышать тональное качество. Поскольку детектор частотного деления является широкополосной системой, то сигнал всегда будет включать все частоты, присутствующие в сигнале. Это делает затруднительным фокусировку на тональном качестве пологих частей (или QCF части) импульса. При этом хорошие детали различий между похожими видами будут «замаскированы» (напр. как у *P. nathusii* и *P. pipistrellus*).

Детектор временного растяжения трансформирует 5-мс импульс 70→25 кГц в 50-мс импульс 7→2,5 кГц. В этом случае в 10 раз уменьшаются как частоты, так и FM-темп, и тональное качество будет достаточно слышимым.

Таким образом, растянутые FM импульсы будут звучать как «тсиепп-тсиепп-тсиепп», где нижняя модуляция частоты может быть отчетливо слышима. Разница в высоте тона (напр., у *M. daubentoni* – выше, а у *M. dasycneme* – ниже) будет проявляться все отчетливее по мере приобретения наблюдателем практических навыков работы. Темп частотной модуляции в чрезвычайно крутых FM импульсах (напр., у *Plecotus*), может быть слишком быстрым для того, чтобы воспринять тональное качество даже в растянутых импульсах.

Особенно QCF-часть узкой полосы пологого FM-QCF импульса будет трансформирована в почти свистящий звук (подобно CF-импульсу), где слабое падение частоты все еще будет слышаться. По мере практики отличия в высоте станут легко различимы.

Гетеродинные детекторы предоставляют оптимальные возможности обнаружения и оценки присутствия (или отсутствия) тонального качества у FM-видов кажанов. Возможности детектора, в этом случае, определяет ширина частотного окна (низко-пропускной фильтр): относительно узкое частотное окно (напр. +/-2 кГц) повышает различающие свойства детектора вдоль частотной оси, но снижает его мониторинговую способность, соответственно, могут быть «пропущены» виды, использующие другие частоты.

Очень узкополосные импульсы настоящих CF-кажанов (FM-CA-FM) будут восприниматься всеми тремя детекторными системами как отчетливо свистящие звуки. Различия между находящимся на одном месте или летящим кажаном и прямым или зигзагообразным полетом вполне очевидны в изменениях тона, производимых доплеровскими изменениями в длинных импульсах. Гетеродинный детектор позволяет определять CF частоту (или узкую полосу частот) в поле, но может быть невосприимчив к сравнительно слабым и очень узкополосным импульсам, из-за узкого окна. В детекторах временного растяжения разница в тоне между видами *Rhinolophus*, отстоящих далеко друг от друга по частоте, может быть легко осознана в поле (напр., *R. hipposideros* – ~ 110 кГц, а *R. ferrumequinum* – ~ 80 кГц).

2.1.2. Наилучшая частота прослушивания (распределение энергии)

В описании звуков рукокрылых определенная частота, или узкая полоса частот, часто рассматривается как «наилучшая частота прослушивания», или иногда – как «пиковая частота». Эти частоты совпадают с пологой FM-частью в середине импульса (напр. у *M. daubentoni* – около 45 кГц) и с QCF-частью, в большинстве своем ближе к концу импульса (напр. у *P. pipistrellus* – 45 кГц и *P. pygmaeus* – 55 кГц).

Чтобы найти наилучшую частоту прослушивания при использовании гетеродинных детекторов, мы должны прослушать исходящий сигнал, не глядя на дисплей, и настроить детектор для получения наиболее возможного низкого тона в исходящем сигнале (рис. 4). При настройке детектора выше или ниже пологой FM-, QCF- или CF-частей тон исходящего сигнала будет также повышаться или понижаться. Фактически мы пытаемся минимизировать расстояние между F_{bat} (пологая/QCF/CF) и F_{tuned} (рис. 3), уменьшая разницу исходящих частот. В очень узкополосном стационарном CF-импульсе (без Доплеровского эффекта) можно даже найти даже 0-частоту исходящего сигнала (в этой точке звук неслышим).

Собирающие виды, использующие крутые FM сигналы, и многие другие виды летающие/ охотящиеся в замкнутых средах, будут иметь сравнительно одинаковое распределение энергии вдоль всего диапазона частот импульса. Здесь не будет присутствовать пиковая частота, или наилучшая частота прослушивания: отсутствие наилучшей частоты прослушивания является индикатором. Фиксация присутствия (напр., у *M. daubentoni* – на 45 кГц, *M. dasycneme* – на 35 кГц) или отсутствия (напр., *M. nattereri*) наилучшей частоты прослушивания в наблюдаемых импульсах возможно только в случае, когда наблюдатель может отчетливо слышать животное в течении продолжительного времени.

Присутствие или отсутствие и позиция наилучшей частоты прослушивания могут быть определены в поле с использованием настраиваемого гетеродинного детектора. При этом, ширина частотного окна определяет исполнительность детектора: сравнительно узкое частотное окно (напр. +/- 2 кГц) увеличивает различающие свойства детектора, но при этом последний будет наблюдать более узкую полосу частот.

Детекторы частотного деления и временного растяжения – в полевых условиях – не обеспечивают наблюдателя информацией относительно частот наилучшего прослушивания, поскольку широкополосные детекторы инспектируют весь диапазон частот, в котором мы можем регистрировать сигналы рукокрылых. Когда несколько разных видов охотятся вместе (напр., *M. daubentoni*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus*, *E. serotinus* и *N. noctula* над озером), гетеродинный детектор позволяет наблюдателю фокусироваться на различных частотах узких диапазонов. В замедленном исходящем сигнале детектора временного растяжения возможно отличать сигналы разных видов, а в широкополосном исходящем сигнале детектора частотного деления в реальном времени это будет сделать очень трудно.

На сегодняшний день для большинства европейских видов рукокрылых присутствие или отсутствие дополнительных гармоник не используется как идентификационный параметр. Для большинства FM-видов гармоники рассматриваются как естественное акустическое побочное явление. Исключениями являются *B. barbastella* и *Plecotus* sp. Широкоушка чередует два типа QCF-FM импульсов, из которых один характеризуется двумя почти одинаково сильными гармониками с QCF частотами (то есть наилучшие частоты прослушивания – 30-35 кГц и 65 кГц). Собирающие виды ушанов производят широкополосный мульти-гармонический сигнал, вкладывая энергию, сравнительно узко, в первую и вторую гармоники. При звуковом анализе это носит очевидный характер. В поле же для слабых сигналов ушанов это может наблюдаться только как некоторое усиление исходящего сигнала в районе 30 и 50 кГц, «разрыв» между гармониками возможно обнаружить только при использовании гетеродинного детектора хорошего качества с узко-частотным окном (+/-2 кГц).

Как бы там ни было, гармоники являются явлением, заслуживающим большего внимания, как при функциональном изучении эхолокации, так и в определении их ценности для видовой идентификации. Например, поздний кожан в замкнутом пространстве стремится держаться первой гармоники, не превышающей 60–65 кГц, но включает вторую и третью гармоники в свой сигнал; в то время, как *M. myotis* в подобных ситуациях продуцирует широкополосный сигнал, превышающий 100 кГц (Egebjerg-Jensen & Miller 1999).

Возможность обнаружить присутствующую гармонику, увеличивает возможность регистрации детектором видов и на других частотах. Например, если детектор настроен на частоты от 40 до 50 кГц, вторая гармоника импульса *Nyctalus* или *Eptesicus* sp. (или *Vespertilio*, или более слабая первая гармоника *Rhinolophus* sp. (у последних вторая гармоника гораздо сильнее)) также может быть зарегистрирована, что, часто, мешает наблюдателю фокусироваться на нужных частотах.

2.1.3. Частотное наполнение сигнала (частотный диапазон)

В отношении частотного наполнения сигналы кажанов могут быть описаны как “этот импульс изменяется от 70 до 25 кГц”, где $F_{max} = 70$ кГц и $F_{min} = 25$ кГц. Конечно, имеются и внутривидовые отличия в использовании частотного наполнения сигналов. При интерпретации этих параметров выясняется ряд явлений.

Звук является объектом не только геометрического рассеивания (чем длиннее путь, тем больше энергии теряется), но также и объектом атмосферного рассеивания (что зависит от частоты). Чем выше частота, тем больше звуковой энергии теряется (Griffin 1971; Lawrence & Simmons 1982). Как результат – расстояние между животным и микрофоном влияет на присутствие высоких частот в принимаемом сигнале. Чем расстояние больше, тем больше теряется высоких частот и тем ниже будет F_{max} .

Директивная чувствительность микрофона зависит от частоты. Чем выше частота, тем исполнение микрофона более направлено. В то же время направленность «звукового луча» кажана является частотно зависимой. Позиция и угол полетного направления животного в отношении к плоскости микрофонной мембраны, следовательно, влияют на присутствие высоких частот в принимаемом сигнале. Как результат, F_{max} является неточным параметром для использования его в поле или в анализе записей свободно летающих кажанов. Нижняя частота, F_{min} , является более надежной (рис. 5). В FM-QCF импульсах она почти совпадает с частотой наилучшего прослушивания в QCF-части.

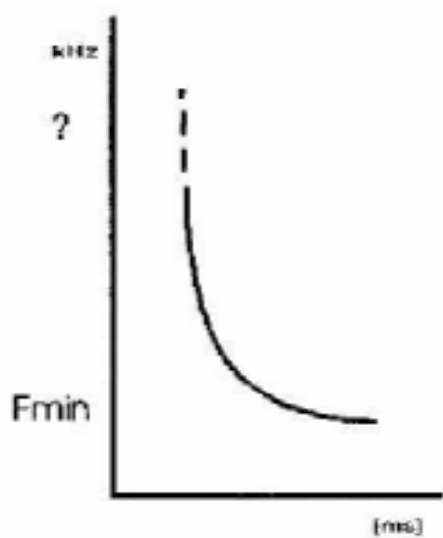


Рис. 5. “Неточность” высоких частот сигнала

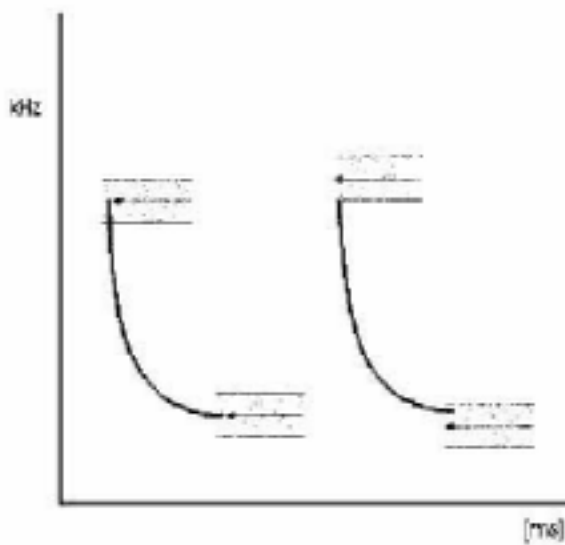


Рис. 6. “Неточности”, производимые частотным окном гетеродинного детектора

Учитывая все это, частотный диапазон и F_{max} могут быть использованы для различия (групп) видов с большими различиями. По сравнению с видами открытых пространств таких, как *N. noctula* или *V. murinus* или, даже, *E. serotinus*, которые будут иметь (когда они охотятся на действительно открытых пространствах) сравнительно узкий частотный диапазон, пролетающая *M. myotis* имела бы более широкий диапазон и более высокую F_{max} . Более стабильная и, следовательно, надежная F_{min} , или наилучшая частота прослушивания в QCF-части, может быть использована во всех ситуациях, а также при сравнении сравнительно близких *E. serotinus* и *E. nilssonii*; или *N. noctula* и *N. leisleri*.

В поле детекторы временного растяжения и частотного деления не позволяют прямо определить F_{max} и F_{min} . При анализе нам следует быть осторожными из-за неточностей, возникающих в системе частотного деления при очерчивании быстрых частотных изменений, возможных в начале и в конце импульса.

Использование настраиваемого гетеродинного детектора позволяет (грубо) определять F_{\max} и F_{\min} в поле. Но, напр., ± 5 кГц частотное окно должно использоваться осторожно: животное все еще детектируется (высокое звучание), когда детектор уже настроен на приблизительно 5 кГц выше или ниже реальной частоты (рис. 6.) Следовательно, сигналы кажана, который, согласно литературным данным или анализу записанного звука, имеет $F_{\min} = 25$ или 23 кГц, будет все равно восприниматься на частотах 20 и 18!!! Более узкое частотное окно более аккуратно в определении F_{\min} .

2.1.4. Форма кривой (shape of curvature)

Характер изменения FM-темпа и присутствие настоящей CF в импульсе придают специфический характер его форме. Существует целый ряд возможных форм для видов, демонстрирующих гибкость в соответствии с типом охотничьего пространства и поведения (рис. 1). FM импульсы могут быть линейными, криволинейными, двухлинейными или синусоидальными (FM – пологий FM – FM).

В зависимости от FM-темпа криволинейный FM проявляется как FM-QCF, двухлинейный – как крюкообразный FM-QCF, и синусоидальный превратится в FM-QCF-FM. Сигналы FM-QCF и FM-QCF-FM при более ровном, медленном FM-темпе превратятся в QCF (Ahlen 1981; Weid, Helversen 1987; Kalko, Schnitzler 1993; Limpens et al. 1997; O'Farrel et al. 1999).

При анализе записей временного растяжения (а также частотного деления), информация о форме кривой остается. В поле, в работе с гетеродинным детектором определение особенностей кривой проявляется косвенно при интерпретации других параметров, таких как тональное качество, изменение высоты звука при настройке, положение QCF или пологого FM в импульсах по отношению к крутым частям. Более детальные отличия в форме, такие как FM, FM-QCF-FM, FM-QCF, QCF-FM, FM-CA-FM, могут быть «прослушаны» в растянутых во времени импульсах. Исходящий сигнал детектора частотного деления не позволяют на слух оценить форму кривой, равно как и различать тональное качество.

2.2. Амплитудные параметры

2.2.1. Громкость

В зависимости от охотничьей стратегии виды различаются по громкости сигналов. Виды, которые охотятся на открытых пространствах, в целом, имеют более громкие, длинные и более пологие – даже QCF – импульсы. Соответственно более низкие, менее рассеянные импульсы будут восприниматься как более громкие (Limpens&Roschen, 1995; Waters&Jones, 1995). В поле этот параметр не может быть интерпретирован абсолютно, однако мы можем различать сравнительно громкие и сравнительно тихие виды.

Чтобы зафиксировать даже такое грубое отличие (громко - тихо) в поле, детектор должен правильно функционировать, микрофон не должен быть влажным, чувствительность микрофона и/или высокочастотная регулировка должны быть правильно настроены, батареи должны быть в хорошем состоянии. Состояние батарей может не составлять проблемы в детекторах, оснащенных внутренним стабилизатором напряжения, который поддерживает стабильным уровень чувствительности на протяжении всего времени работы батареи.

Чувствительность и детекционный диапазон отличны для разных детекторных систем, а также для продукции разных производителей. Для того, чтобы различать громкость, наблюдатель в своей работе должен всегда использовать одну и ту же детекторную систему и марку (Limpens 1994–1999; Waters & Walsh 1994). Должно учитываться влияние геометрического рассеивания и атмосферного рассеивания, определяемых расстоянием и углом между микрофоном и животным. Чем дальше животное, и чем более его движение направлено в сторону от микрофона, тем более слабо будет восприниматься сигнал.

Отличать громкие виды от тихих сравнительно легко. Но в любом случае наблюдатель должен иметь хороший опыт в том, как громко звучат определенные виды в разных обстоятельствах. После, становится возможным распознавание близких видов. Когда, учитывая все перечисленные факторы, напр., наблюдатель имеет хорошо слышимое «изображение» нормальной громкости водяной ночницы, охотящейся над прудом, становится возможным отличить одинакового, но более громкого кажана (напр., *dasycneme*?) от более тихого (напр., *nettereri*?) Наблюдение громкости не используется для диагностики, но для немедленного определения вида наблюдатель должен обращать внимание на все особенности сигнала.

2.2.2. Максимальное звуковое давление – энергия

Из-за того, что импульсы кажанов имеют короткую продолжительность, есть только два способа слышать громкость. Один из них обеспечивается реальным амплитудным отличием. Сигнал приблизительно одинаковой продолжительности может иметь более высокую амплитуду и, следовательно, быть громче. Другая возможность обеспечивается длиной сигнала. Продолжительность, напр., в 5 и 8 сек. являются одинаково малой для человеческого восприятия. В этом случае, наш слух будет реагировать на общую энергию импульса. Хотя такие импульсы и обладают приблизительно одинаковой амплитудой, последний импульс (8 мс) все равно будет обладать большей энергией и будет восприниматься как более мощный, более тяжелый, или более громкий сигнал. Напр., во многих ситуациях более длинный сигнал *P. nathusii* будет проявляться громче, чем сигнал *P. pipistrellus*. Опять таки, это не является параметром, на котором должно базироваться определение, но это – зацепка для проверки наиболее удачных частот прослушивания и других параметров.

Отличия в громкости могут быть использованы как ключ во всех трех детекторных системах. В реально-временных системах, детекторах гетеродинных и частотного деления, расстояние, поведение кажана могут рассматриваться, пока наблюдатель видит и слышит животное. При использовании детектора временного растяжения наблюдатель должен сопоставить расстояние и поведение животного, которое он только что наблюдал, с растянутым во времени сигналом. Чтобы оценить громкость при использовании гетеродинного детектора, последний должен быть настроен на правильную частоту, то есть на частоту наилучшего прослушивания, или на QCF-частоту, если такая присутствует в сигнале.

Детекционный диапазон, сам по себе, не является параметром видового определения. Благодаря различным техническим свойствам (включающих, напр., преобразование целого или только части частотного диапазона, низко-пропускные фильтры, схемы пороговой чувствительности, отличия в частотном отклике и общая чувствительность между типами используемых микрофонов и т. д.) чувствительность отлична для разных детекторных систем. Здесь мы не нуждаемся в объяснении технических деталей, но на практике гетеродинный детектор имеет очень хорошую чувствительность, детекционная способность даже увеличена возможностью фокусироваться на наиболее громкой части сигнала, то есть на наилучших частотах прослушивания или QCF-частях. Это является очень важным преимуществом при регистрации тихих видов (многие *Myotis*, *Plecotus*).

Временное растяжение – достаточно чувствительно, но диапазон фиксируемых частот у системы временного растяжения меньше, чем у гетеродинных детекторов. А детекторы частотного деления, использующие схемы пороговой чувствительности, имеют сравнительно ограниченную чувствительность и диапазон.

2.3. Временные параметры

2.3.1. Длина импульса, длина интервала & темп повторения

Сигналы рукокрылых могут быть описаны относительно длины их импульсов и длины межимпульсных интервалов. У FM (FM и FM-QCF) видов более длинный импульс используется для покрытия большего детекционного диапазона. Поскольку у большинства видов следующий импульс производится тогда, когда эхо от предшествующего импульса воспринято, то более длинные импульсы связаны с более длинными интервалами. Вместе они составляют темп повторения (рис. 7).

Записи, сделанные с использованием детектора временного растяжения и частотного деления, могут быть использованы для достаточно точного измерения этих параметров. Для того, чтобы знать начало и конец сигнала, однако, требуется хороший, «высококачественный» сигнал по отношению к шуму и отсутствие перекрытия между сигналом и эхом (Kalko & Schnitzler, 1989). Из-за того, что окно гетеродинного детектора срезает часть импульса, то длина импульса не может быть измерена точно. Хотя эти факторы и не будут влиять на измерение более длинных интервалов и темп их повторения.

При прослушивании кажана в поле, длина импульса и межимпульсные интервалы воспринимаются как более длинные или более короткие в зависимости от того, звук и поведение какого именно вида заведомо известно наблюдателю. Вместе они воспринимаются как медленный или быстрый темп импульсов. Мы можем не использовать этот параметр при сравнении точных значений и значений, очень близких друг к другу (напр. 10/с и 13/с), но это предоставляет хорошую возможность субъективно (но надежно), выделять большие различия (рис. 7: а, б.). Наблюдатель имеет возможность слышать, что при охоте на открытых пространствах *M. nattereri* имеет более короткие импульсы, чем *M. dasycneme*, что импульсы *N. leisleri* длиннее, чем у *P. nathusii*, что темп повторения импульсов *M. dasycneme* – медленнее, чем у *M. daubentoni*. Перечисленное является тем, что заставит вас рассмотреть ближе то, что вы наблюдаете и слушаете, для составления полной картины.

Детектор частотного деления, как и гетеродинный детектор, позволяют наблюдателю использовать эти параметры. Для опытного наблюдателя замедляющее свойство детектора временного растяжения увеличивает возможность различать длину импульсов. Однако, из-за психологического оптимума нашего слухового восприятия интерпретировать интервалы и темп повторения сигналов становится невозможным, поскольку они преобразуются в слишком длинные и медленные.

3.2. Ритм

У некоторых видов импульсные интервалы стремятся быть разными (рис. 7с). Это связано с ритмом биения крыльев, проявлением полетного поведения (полет прямой/регулярный, кривообразный), что часто коррелируется с условиями окружающего пространства. Неравномерность межимпульсных интервалов приводит к неравномерному темпу повторения, к ритму (рис. 7).

Многие виды более или менее регулярно чередуют различные типы импульсов. У некоторых видов таких, как *Nyctalus*, эти различия достаточно велики, у других, напр. у видов *Pipistrellus*, они менее заметны. Различия в структуре этих импульсов связаны с продуцированием импульсов более длинных, с более низким разрешением, и импульсов коротких, но с более высоким разрешением. Длинные, низкого разрешения импульсы, в целом будут более продолжительными, низкими по частоте и следовать один за другим после продолжительных интервалов. Короткие, высокого разрешения импульсы, будут короче, выше по частоте и следовать один за другим после коротких интервалов. Импульсы разной структуры будут также иметь различное тональное качество на выходе гетеродинного детектора, что вместе с длиной и интервалом импульсов создаст очень характерный ритм (рис 7: д, е).

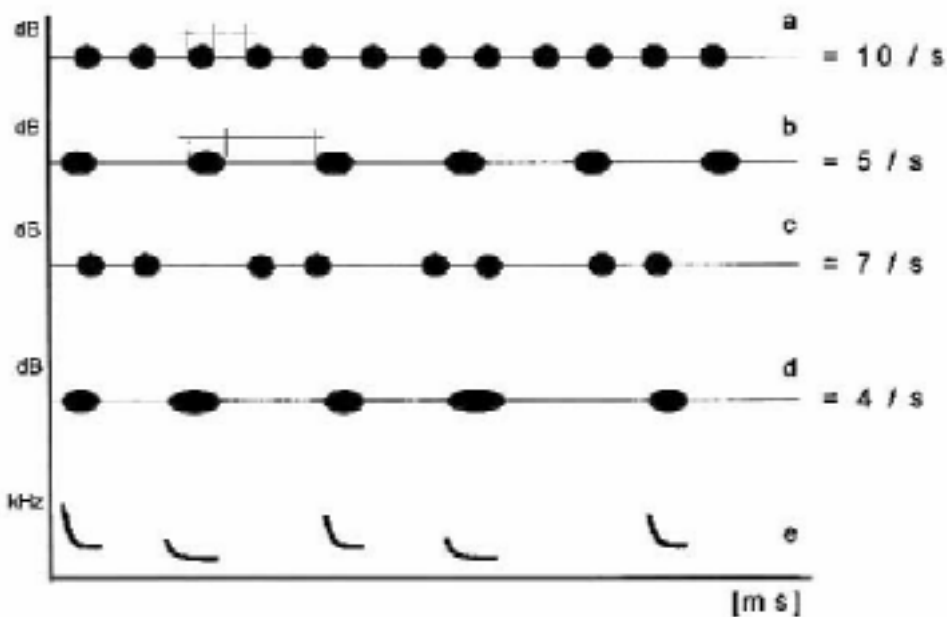


Рис. 7. Темп повторения, ритм

Тональное качество, продуцируемое гетеродинным детектором, обеспечиваемое настройкой на правильную частоту; увеличивает возможность интерпретации ритма. Чем больше различия между чередующимися импульсами, тем более различно тональное качество. В поле мы можем немедленно опознать очень характерный *Pipistrellus* ритм, *Nyctalus* ритм или *Eptesicus* ритм. Для *Myotis* группы различия в темпе импульсов и ритме, и различия в способе их изменения являются наиболее важными ключами распознавания.

Сам по себе, реальновременной, слышимый сигнал детектора частотного деления, позволяет интерпретировать ритм, но это свойство ритма будет менее показательно, чем в гетеродинном детекторе, из-за того, что различия в тональном качестве между импульсами менее воспринимаемы.

Некоторые виды имеют настолько характерный ритм, что они могут быть определены опытным наблюдателем даже, когда гетеродинный детектор не настроен на частоту наилучшего прослушивания, или часть импульса с тональным качеством. В этом случае для обучающего этапа детектор частотного деления имеет недостаток, связанный с отсутствием проявления тонального качества.

Интерпретация темпа повторения, ритма для детектора временного растяжения может быть затруднительной, поскольку в реальном времени сигналы не столь длительны.

3. Синтез и интерпретация

В поле мы должны стремиться к максимальному сбору информации (как акустической, так и визуальной) о наблюдаемых кажанах. Кажаны и ситуация должны предоставить нам возможность наблюдать их длительно и успешно. Мы должны выбрать место или ситуацию, в которых будут наблюдаться определенные виды, различающиеся наверняка. (Ahlen 1980a, 1990; Limpens 1994-1999). Полная картина, которую мы сможем построить, основывается на собранных визуальных и акустических наблюдениях: размер, форма и цвет животного, его крылья и уши, его полетное поведение в связи со структурой местности, аудио-наблюдения тонального качества, тона, FM-темпа, Доплеровского эффекта, чередование типов импульсов, наилучшая частота прослушивания, или QCF-частота, распределение энергии, присутствие гармоник, частотный диапазон, F_{min}/F_{max} , громкость, длина импульса, интервал между импульсами, темп повторения, и наконец, но не в последнюю очередь, ритм. Во многих случаях, это позволит произвести надежное определение животного до видового уровня или до уровня группы двух или трех похожих видов. Некоторые виды (напр. виды *Pipistrellus* или *Nyctalus*) могут быть различимы практически во всех ситуациях; другие виды (напр. *M. mystacinus/brandtii*, *M. myotis/blythi*, *P. auritus/austriacus*) могут быть разделены только при особых обстоятельствах (Ahlen 1980; Limpens 1994-1999).

Наблюдатель сравнивает акустические и визуальные параметры с тем, что хранит его собственная звуковая и визуальная память. Знание базисных принципов формирования импульсов и визуализация этих структур увеличивает возможность наблюдать и интерпретировать необходимые параметры. При интерпретации всего комплекса параметров большинство видов определяются немедленно. От выбора наблюдателя зависит, какие параметры являются наиболее важными для различения группы из 2 или 3 «оставшихся» видов.

Как это работает ? Несколько примеров

Мы намеренно располагаемся на незамкнутой части дороги, ведущей от маленького селения к облесенной вершине холма. Здесь мы ожидаем наиболее удачного наблюдения пролетающих кажанов и наиболее отчетливые звуки. В вечерних сумерках мы видим большого кажана, следующего своим полетным путем к лесу. Мы можем видеть, что он несколько больше *E. serotinus* и имеет более широкие крылья. Гетеродинный детектор, настроенный на 40–45 кГц, не производит ни галопирующего стучаще-танцевального ритма *E. serotinus*, ни медленного, достаточно регулярного, сравнительно громкого ритма подобно сухому «тик-тик-тик». Мы «ловим» сигналы пролетающего кажана в память детектора временного растяжения и делаем запись. Другая особь, следующая полетным путем, дает нам возможность настроится ниже: между 30 и 35 кГц кажан производит импульсы, подобные регулярному «так-так-так-так...» с шлепающим тональным качеством. Наблюдаем белое брюшко в свете фонаря и V-образную форму хвоста силуэта на фоне неба. Все говорит о том, что это большие ночницы (*M. myotis* или *blythii*: в этой ситуации неразличимы), а не *E. serotinus*. Записи временного растяжения обеих пассажиров, подтверждают это «полевое определение»: сравнительно длинные, до 10 мс, FM-QCF-FM импульсы с чем-то, похожим на пологую FM или QCF, между 30–35 кГц (напр., Limpens 1994–1999; Limpens et al. 1997). Следование полетным путем утром назад к деревне, или возможно даже проверка всех больших чердаков, дают нам возможность найти убежище и проверить наше определение, а также узнать, это – *M. myotis* или *M. blythii* (Limpens 1993; Limpens & Roschen 1996).

В другой ситуации мы выбираем участок облесенного речного берега, позволяющий нам наблюдать охотящихся кажанов на фоне светлого неба. Среди других видов, *M. daubentonii* охотится своим обычным способом: только над водой, схватывая насекомых с водной поверхности задними конечностями. Наблюдаются их белое брюшко и, по сравнению, напр., с *P. pipistrellus*, более длинные и широкие крылья. Они производят быстрый, регулярно ускоряющийся и замедляющийся ритм сухих «тик»'ов, с наилучшей частотой прослушивания на 40–45 кГц. Немного позже какие-то ночницы начинают охотиться несколько выше, вдоль береговой растительности. Другие ли это ночницы, или снова *M. daubentonii*? Эти кажаны тоже имеют белое брюшко, но кажутся несколько меньше, их крылья короче и тело компактнее и круглее. Ритм опять сухой с наилучшей частотой прослушивания на 40–45 кГц, но более медленный и достаточно регулярный, без двухударного ритма *M. daubentoni*, когда последние летают длинными петлями над водой. Это – *M. mystacinus/brandtii*. Группа, в которой мы снова не можем выделить отдельные виды с помощью детектора. Анализ записей показывает два достаточно одинаково оформленных сигнала: «среднекрутые» FM импульсы, от 70 до 25 кГц, с небольшой пологой FM-частью на 45 кГц. Импульсы водяной ночницы показывают типично узловые формы благодаря интерференции сигнала и эха от водной поверхности; в то же время записи *mystacinus/brandtii*, летающих далеко от растительности, не проявляют такого искажения. Наблюдаются большие и более регулярные импульсные интервалы.

Утром мы счастливы найти скопления таких «других кажанов» на берегу около деревни. Мы следуем за ними к их убежищу и находим их роящимися над деревянной стеной. Несколько иных, белобрюхих кажанов, немного больше и с большими крыльями участвуют в роении. Летают они медленнее и концентрируются ближе к стене. Ритм роящихся животных – беспорядочный набор сухих «тик»'ов, в котором невозможно выделить отдельных особей или виды. Брюшко новых кажанов слишком белое, и их уши слишком коротки для ушанов; это должны быть *M. nattereri*. Отлов сачками на следующий вечер обнаружит беременных *M. mystacinus* и беременных *M. nattereri*. Результаты есть: виды идентифицированы, обнаружено убежище, репродуктивный статус и пол, полетный путь и охотничье место.

В таком процессе синтеза и интерпретации, ведущем к идентификации, честный наблюдатель знает свои возможности. Наблюдатель понимает, что ни каждый пролетевший кажан может быть идентифицирован, особенно в случае с видами, достаточно близкими один к одному. Для того, чтобы распознать и идентифицировать кажана, требуется хорошее визуальное и акустическое наблюдение.

Наблюдатель должен быть прилежным в отношении самотренировки и дальнейшего развития своей способности к идентификации. Нельзя научиться работе с детектором, взяв все необходимые параметры из литературы и применив их. Наблюдение параметров в поле с использованием слухового анализатора и детектора в первую очередь требует обучения и практики. Это может занять несколько лет и сходно с изучением птиц с биноклем и по их голосам. На этапе обучения наблюдатель должен начать с одного или только нескольких ясных и многочисленных видов, слушая их и наблюдая за их полетом и охотой в разных ситуациях. Когда эти виды точно известны, в список наблюдателя могут быть добавлены новые виды. С этой точки зрения, места, изобилующие различными видами, могут быть не лучшими местами обучения. Более разумно проводить время, изучая виды на территориях, где встречается только по одному виду из групп, сходных по звуку. Напр., если это возможно, следует изучить сперва *E. nilsonii* в Скандинавии и *E. serotinus* в северо-восточных Нидерландах и Германии, перед тем, как изучать их в местах наложения ареалов в среднегерманских горах или в Восточной Европе. Зная только *E. serotinus*, но зная достоверно, возможно немедленно распознать охотящегося *E. nilsonii* как *Eptisicus*'а, но «несколько иного»: тогда необходимо более близкое рассмотрение и поиск убежища.

В период фазы обучения, начинающий должен искать руководства опытного наблюдателя, должен практиковаться снова и снова, например, отмечая кажанов световыми метками и следуя за ними (вид известен), когда они летят от убежища к охотничьим местам и наоборот; пытаюсь поймать животных в местах их охоты.

Утренний и вечерний сумеречные периоды обеспечивают удобные условия наблюдения, но со временем наблюдательные способности должны быть развиты до умения работать в темные периоды с помощью мощного фонаря. Страны высоких широт предоставляют для практики более долгие периоды сумерек и очень светлые летние ночи.

Даже опытный наблюдатель после нескольких лет должен продолжать практику, и никогда не терять способность к критической оценке своего определения. В случаях, когда это является возможным, детекторная идентификация должна быть проверена другими методами, например, путем отлова животных сетями в поле или поиск и осмотр убежищ, для получения подтверждения идентификации. Детектор является отличным инструментом для подготовки к использованию других методов изучения нахождения видов в условиях данной местности и по проверке идентификации, поскольку описанный инструментарий позволяет наблюдателю эффективно обнаруживать убежища, полетные пути и места высокой активности рукокрылых (Helmer et al., 1989; Limpens, 1983a).

Табл. 4. представляет сравнение трех рассмотренных детекторных систем и включает информацию о различных возможностях, которыми системы обеспечивают наблюдателя для идентификации в поле и/или записанных звуковых параметров в звуковом анализе. Звуковой анализ включает использование осциллограммы, мульти-спектрограммы / сонаграммы, частотной спектрограммы и ноль-кроссинг анализ.

Каждая система имеет свои преимущества и недостатки. При этом очевидно, что наиболее ценными детекторами являются те, которые включает в себя гетеродинную систему и систему временного растяжения. Такая комбинация предоставляет хорошие возможности для идентификации в поле, позволяет фокусироваться на отдельных частотах, позволяет прослушивать детали замедленных звуков, инспектировать широкую полосу частот и записывать звук для последующего анализа. Исходящий сигнал в реальном времени гетеродинного детектора, изменения громкости, тона и ритма могут быть интерпретированы опытным наблюдателем в сопоставлении с полетным поведением животного.

Системы гетеродинная и частотного деления в одном детекторе также может являться полезной комбинацией, совмещающей возможность гетеродинной системы с мониторингом широкой полосы частот и записью звука для последующего анализа. Недостаток такой комбинации связан с невозможностью прослушивания замедленных сигналов; запись, в этом случае, возможна, когда животное находится сравнительно близко, и обнаруживает также меньшую детальность при последующем анализе.

Гетеродинный детектор хорош тем, что он является сравнительно дешевым. Это ценный инструмент полевого наблюдения рукокрылых, но он не позволяет прослушивать замедленные звуки и производить запись для последующего анализа. Возможность идентификации, при этом, меньше, чем при использовании комбинации гетеродинный+временное растяжение.

В некоторых трудных ситуациях, напр., различение *Plecotus* sp. и *M. nattereri* при кратковременном наблюдении, гетеродинные детекторы не обеспечивают наблюдателя дополнительной акустической информацией, в то время, как детекторы временного растяжения (звуковая информация в цифровой памяти) могли бы обнаружить различия (Limpens 1994–1999; Ahlen, pers. comm.). Детекторы, обладающие только системой временного растяжения или только частотного деления, позволяют делать запись, но не приспособлены для идентификации и наблюдения животных.

P. S. Прим. пер. – Предложенный перевод является выдержкой из статей: "Limpens Herman J.G.A., McCracken Gary F. Choosing a bat detector — theoretical and practical aspects" и "Limpens Herman J.G.A. Field identification: using bat detectors to identify species", которые вошли в сборник "Proceedings of the workshop "Echolocation symposium: hand's on experience in techniques, software and recording" (Austin, Texas, April 15-17, 2002)".

Какой детектор наилучший для идентификации рукокрылых ?

Таблица 4. Сравнение детекторных систем в отношении их возможностей в интерпретации слышимых параметров для идентификации рукокрылых в поле и/или записанных звуковых параметров в лаборатории

	В поле			Анализ		
	гетеродинный детектор	детектор частотного деления	детектор временного растяжения	гетеродинный детектор	детектор частотного деления	детектор временного растяжения
Частотные параметры						
тональное качество: присутствие/отсутствие	++	+/-	+			
тональное качество: тон	++	+/-	++			
FM-темп / форма / кривизна	-*	-	++		+	++
эффект Допплера	++	-	-			
чередование типов импульсов	++	-	+		+	++
наилучшая частота прослушивания	++	-	-		+	++
QCF частота	++	-	-		+	++
распределение энергии	++	-	-		+	++
присутствие гармоник	++	-	-		-	++
частотный диапазон	++	-	-		+	++
F_{max}	-/+	-	-		-/+	-/+
F_{min}	++	-	-		+	++
амплитудные параметры						
громкость	++	++	++		+	++
распределение энергии	++	-	+/-		+	++
временные параметры						
длина импульса	+/-	+/-	++		+	++
длина интервала	++	++	=/-	++	++	++
темп повторения	++	++	+/-	++	++	++
ритм	++	+	+/-			
мониторинговый диапазон	+/-	++	++			
настройка /фокусировка на опр. частотах	++	-	-			
детекционный диапазон	++	+/-	++			
цена	++	+	+/-			

«++» – хорошо; «+» – возможно; «+/-» – трудно; «-» – не возможно, или (для цены): «++» – сравнительно дешевый, «+» – средняя стоимость; «+/-» – сравнительно дорогой.

* Информация может быть получена: исходя из тонального качества, изменения высоты тона при настройке, положения QCF или пологий FM частей импульса.