

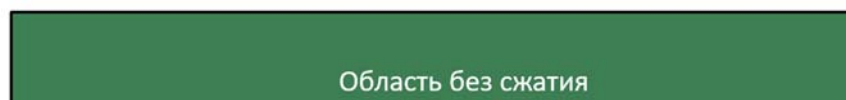
## Педиатрическая верификация SoundRecover2

### Что такое SoundRecover2?

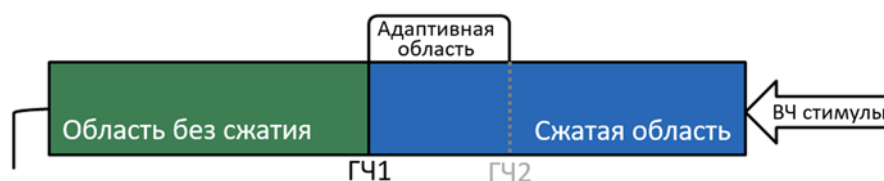
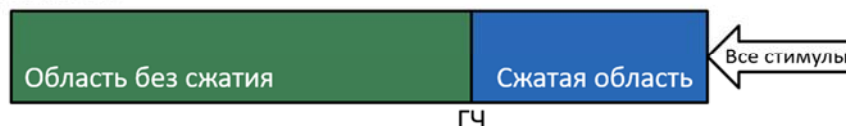
SoundRecover – это технология частотного понижения, используемая в слуховых аппаратах Phonak. Задача SoundRecover – перемещение высокочастотных звуков в слышимый диапазон, если обычная обработка сигнала не позволяет сделать их слышимыми. Двумя основными параметрами SoundRecover изначально были граничная частота (ГЧ) и коэффициент компрессии (КК) (рис. 1). ГЧ – это начало диапазона сигналов, подвергающихся частотной компрессии<sup>1</sup>. Ниже ГЧ частота сигнала не меняется в ходе его обработки. Выше ГЧ сигнал сжимается по частоте с использованием постоянного КК.

Новейшее поколение SoundRecover – SoundRecover2 – представляет собой адаптивную нелинейную частотную компрессию. SoundRecover2 сохраняет основные принципы первоначальной версии SoundRecover; при этом сохраняется структура низкочастотных звуков (например, гласных), а высокочастотные звуки (например, фрикативы) подвергаются компрессии. Уникальность SoundRecover2 в том, что начальная частота компрессии не фиксирована, как в SoundRecover, а меняется в зависимости от входного сигнала (рис. 1). SoundRecover2 имеет две граничные частоты – ГЧ1 и ГЧ2. Исходя из распределения энергии входного сигнала, адаптивный алгоритм SoundRecover2 мгновенно решает, какую из них использовать в данный момент (Rehmann, Jha, Allegro Baumann, 2016). В результате появляется возможность избирательной компрессии гласных и согласных звуков речи.

SoundRecover выключен



SoundRecover включен



SoundRecover2 включен



**Рис. 1:** Иллюстрация концепции частотной компрессии выходного сигнала при выключенном SoundRecover (верхний блок), включенном SoundRecover (второй сверху блок) и двух альтернативных вариантах SoundRecover2 (два нижних блока). "ВЧ стимулы" и "НЧ стимулы" обозначают преобладание, соответственно, высокочастотной и низкочастотной энергии во входном сигнале.

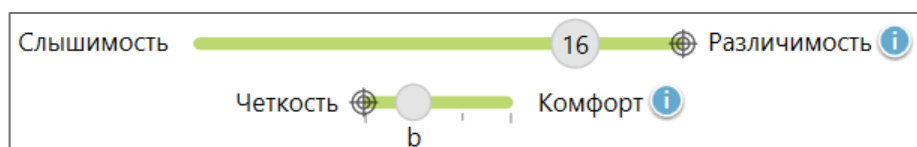
<sup>1</sup> Здесь и далее мы будем использовать термин "компрессия" применительно к частоте, а не к амплитуде сигнала.

Функциональные принципы SoundRecover и SoundRecover2 схожи: защита гармонической структуры речи в максимально широком диапазоне. В SoundRecover это достигалось путем изменения ГЧ в пределах от 1500 до 6000 Гц, в зависимости от введенной аудиограммы. В SoundRecover2 система может автоматически переключаться между двумя конфигурациями частотной компрессии, исходя из спектра входного сигнала. Адаптивный алгоритм выбирает ГЧ1 при преобладании высокочастотных сигналов или ГЧ2 – при преобладании низкочастотных сигналов (рис. 1). Это предотвращает сжатие низкочастотных сигналов, не нуждающихся в компрессии для того, чтобы быть слышимыми.

В программе Phonak Target можно включить/отключить SoundRecover2, а также выполнить его точную настройку с помощью двух регуляторов (рис. 2):

- 1) Регулятор "слышимость-различимость" – верхний регулятор в программе Phonak Target. Это гибридный регулятор, изменяющий частоту ГЧ1 и ГЧ2, а также степень частотной компрессии (КК). При перемещении регулятора влево частотная компрессии увеличивается, при перемещении вправо – уменьшается.
- 2) Регулятор "четкость-комфорт" – нижний регулятор в программе Phonak Target. Его роль состоит в дальнейшей точной настройке адаптивных функций SoundRecover2, главным образом, путем изменения ГЧ2. При перемещении регулятора вправо степень частотной компрессии, в целом, снижается.

Эти два регулятора взаимосвязаны. Настройки нижнего регулятора пересчитываются при каждом перемещении верхнего регулятора. Подробнее об этом можно узнать в публикации Rehmann и соавт. (2016).



**Рис. 2:** Регуляторы, управляющие алгоритмом SoundRecover2 в программе Phonak Target.

### Использование гласных для иллюстрации SoundRecover2

Гласные звуки – гармонические сигналы с наличием гармоник на каждой частоте, кратной основной частоте говорящего. Например, если основная частота (F0) равна 200 Гц, гармоническая энергия будет присутствовать на частотах 400, 600, 800 Гц и т.д. В зависимости от особенностей артикуляции, определенные области этих гармоник будут естественным образом усилены, создавая формантные полосы.

Примеры формант гласного звука /и/, произнесенного женским голосом, приведены на рис. 3а и 3б. Очевидно, что основная частота (F0) составляет около 230 Гц, частота первой форманта (F1) – 450 Гц, а комплекс второй и третьей формант (F2-F3) занимает область от 2600 до 3400 Гц. При усилении стимула /и/ без SoundRecover частотное положение всех этих формант не меняется.

При использовании SoundRecover форманты, расположенные выше ГЧ, подвергаются частотному понижению, т.е. компрессии. При этом пользователи слуховых аппаратов могут отметить некоторую неестественность звучания. SoundRecover2 способен адаптивно защищать верхние форманты гласных, подвергая их меньшей частотной компрессии. При определенных значениях ГЧ2 гласные могут вообще не отличаться по частоте от исходных сигналов. Поэтому SoundRecover2 характеризуется более естественной формантной структурой гласных и лучшим качеством их звучания.

На рис. 4 представлено сравнение формантной структуры гласных при использовании SoundRecover и SoundRecover2. Измерения выполняли с помощью системы Audioscan® Verifit 2. При выключенном SoundRecover (розовая кривая) пик верхних формант звука /и/ приходится примерно на 3000 Гц. Алгоритм SoundRecover (оранжевая кривая) работает постоянно, понижая частоту пикового спектра /и/ до 2000 Гц. Новый алгоритм SoundRecover2 (голубая кривая), распознает /и/ как низкочастотный звук, не требующий

частотной компрессии. Область формант F2-F3 не смещается в низкочастотную сторону и практически совпадает со спектром звука /и/ при выключенном SoundRecover.

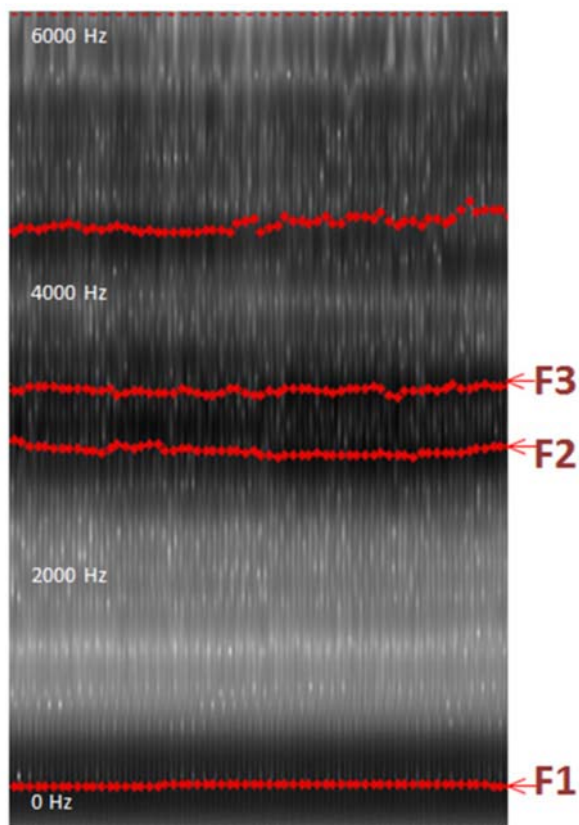


Рис. 3а: Спектрограмма гласного звука /и/, иллюстрирующая приблизительное частотное расположение трех первых формант. (Спектрограммы созданы с помощью программы Praat®).

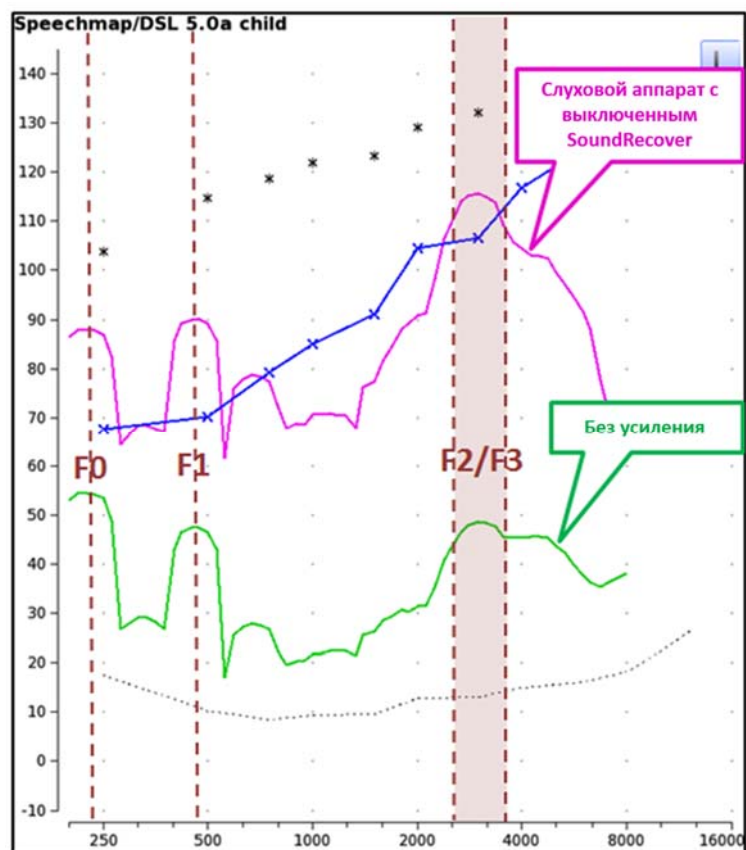
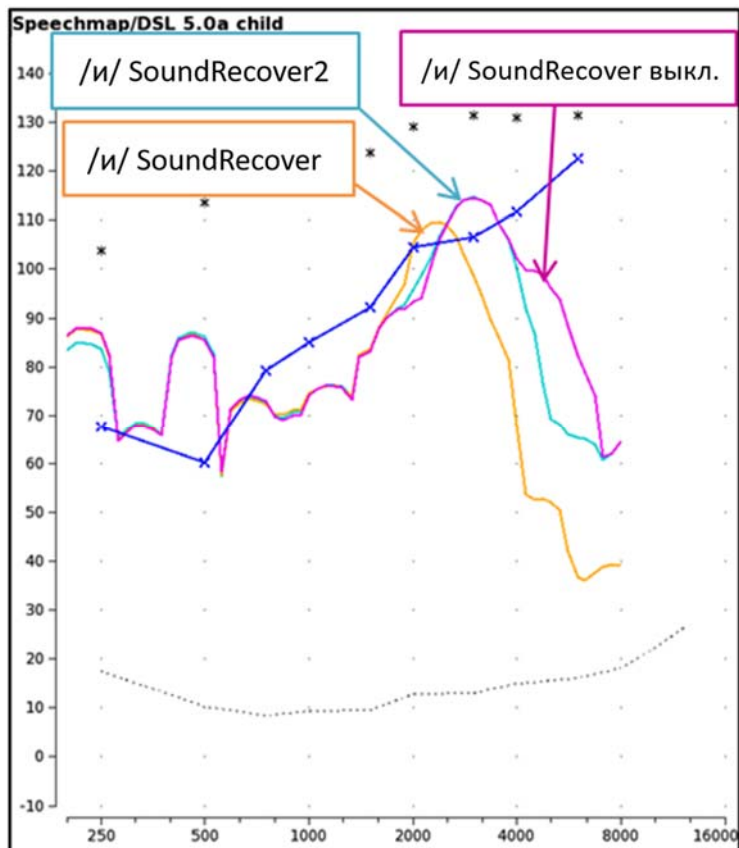
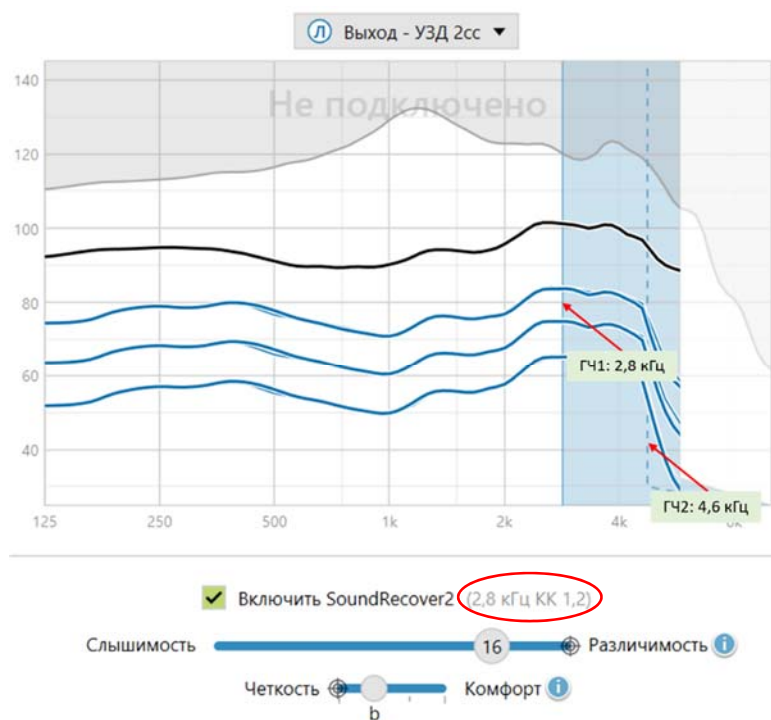


Рис. 3б: Спектр гласного звука /и/ без усиления (зеленая кривая) и со слуховым аппаратом без SoundRecover (розовая кривая), измеренный системой Audioscan® Verifit 2. Вертикальными пунктирными линиями обозначено примерное расположение F0, F1 и области F2-F3.



**Рис. 4:** Спектр гласного звука /u/, измеренный с помощью системы Audioscan® Verifit 2 для SoundRecover (оранжевая кривая), SoundRecover2 (голубая кривая) и при выключенном SoundRecover (розовая кривая).

На рис. 5 представлено управление SoundRecover2 в программе Target. Положение регуляторов такое же, как на рис. 2. Исходное значение ГЧ1 равно 2,7 кГц, а КК = 1,2:1. Положение нижнего регулятора "четкость-комфорт" соответствует ГЧ2 = 4,6 кГц. Таким образом, при преобладании высокочастотных звуков действует частотная компрессия в диапазоне выше 2,7 кГц (ГЧ1), а при преобладании низкочастотных сигналов частотная компрессия ограничивается диапазоном выше 4,6 кГц (ГЧ2). Коэффициент компрессии (КК) составляет 1,2:1 для обеих граничных частот. Перемещая регуляторы вправо или влево, можно, соответственно, повысить или понизить граничные частоты ГЧ1 и ГЧ2.



**Рис. 5:** Снимок экрана вкладки SoundRecover2 в программе Phonak Target. Программирование параметров SoundRecover2 осуществляется с помощью регуляторов. Числовые значения ГЧ1 и КК обведены красным.

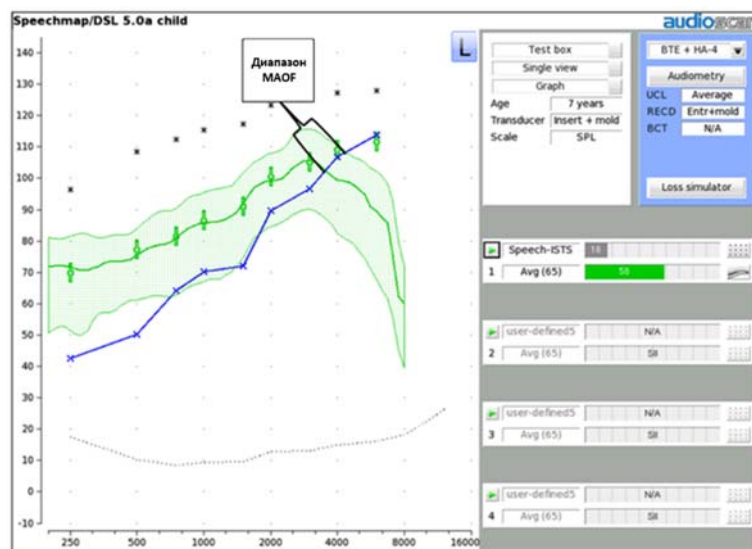
При любом подборе слуховых аппаратов детям необходима верификация настройки, подтверждающая соответствие амплитудно-частотных параметров целевым значениям. В качестве отправной точки настройки мы рекомендуем выбрать одну из общепринятых расчетных формул. Мы также советуем дополнить стандартную процедуру верификации несколькими шагами, связанными с технологией частотного понижения. Мы должны быть уверены, что ребенок слышит важные речевые звуки, необходимые для его речезыкового развития.

Ниже мы рассмотрим рекомендуемые стимулы и методику верификации настройки слуховых аппаратов, использующих алгоритм SoundRecover2. Особое внимание мы уделим новым стимулам, используемым в системе Audioscan® Verifit. Описываемые принципы применимы к любой системе верификации.

### Новые методики верификации

Для верификации частотного понижения предложено много различных стимулов, включая изолированные высокочастотные звуки (Glista, Scollie, 2009). В данной статье мы рассмотрим протокол, использующий предварительно записанные калиброванные речевые сигналы /с/ и /ш/, доступные в системе Verifit 2 (Scollie и соавт., 2016). Согласно ныне действующим клиническим рекомендациям, прежде, чем активировать SoundRecover2, необходимо попытаться максимально использовать доступный пациенту выходной диапазон слуховых аппаратов (AAA, 2013). Далее следует установить частоту, начиная с которой выход слухового аппарата не "дотягивает" до уровня, определяемого аудиограммой. Эта частота именуется "максимальной слышимой выходной частотой" (MAOF) (McCreery и соавт., 2014; McCreery и соавт., 2013).

Согласно предлагаемому протоколу, при определении диапазона MAOF мы пользуемся непрерывным речевым сигналом, например ISTS. Под диапазоном MAOF понимается участок, заключенный между двумя точками: (1) точка пересечения кривой долгосрочного усредненного речевого спектра (LTASS) с пороговой кривой; (2) точка пересечения кривой речевых пиков с пороговой кривой (рис. 6). Этот диапазон впоследствии можно использовать в качестве целевого ориентира для калиброванных стимулов /с/, используемых при верификации и точной настройке (Scollie и соавт., 2016).



**Рис. 6:** Диапазон MAOF, найденный с помощью пороговой кривой и LTASS. При измерении пользовались речевым стимулом ISTS на уровне 65 дБ УЗД. Верхняя и нижняя границы LTASS соответствуют пикам и провалам речевого спектра.

### Пример верификации SoundRecover2

Приведенные ниже рисунки иллюстрируют настройку SoundRecover2 для пользователя с круто нисходящей высокочастотной тугоухостью. Уровни выхода тихих, средних и громких речевых сигналов, а также максимальный уровень выхода заушных слуховых аппаратов Phonak Naida V90-SP рассчитывали по формуле DSL v5.0 (Scollie et al., 2005).

Рекомендуемый план верификации

1. Настройка и верификация с выключенным SoundRecover2.
2. Определение необходимости применения SoundRecover2 с использованием стимула /с/.
3. Активация SoundRecover2 и завершение точной настройки.

Подробное описание протокола

1) Настройка целевых значений и верификация с выключенным SoundRecover2:

Измерьте амплитудно-частотную характеристику слухового аппарата с выключенным SoundRecover2 и по возможности доведите ее до целевых значений (рис. 7).

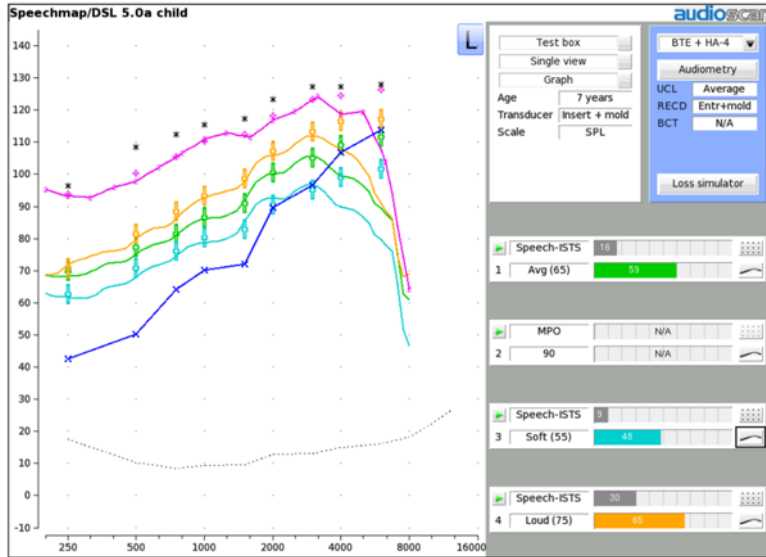


Рис. 7: Верификация слухового аппарата при выключенном SoundRecover2 с использованием стимулов ISTS уровнем 55 (голубая кривая), 65 (зеленая кривая) и 75 (оранжевая кривая) дБ УЗД. Розовая кривая соответствует ВУЗДмакс.

2) Определение необходимости частотного понижения:

Измерьте спектр стимула /с/ при выключенном SoundRecover2, чтобы установить, попадает ли звук /с/, включая его верхнее колено, в диапазон MAOF при предъявлении стандартного речевого фрагмента уровнем 65 дБ УЗД (рис. 8). Если /с/ находится вне этого диапазона, перейдите к шагу 3.

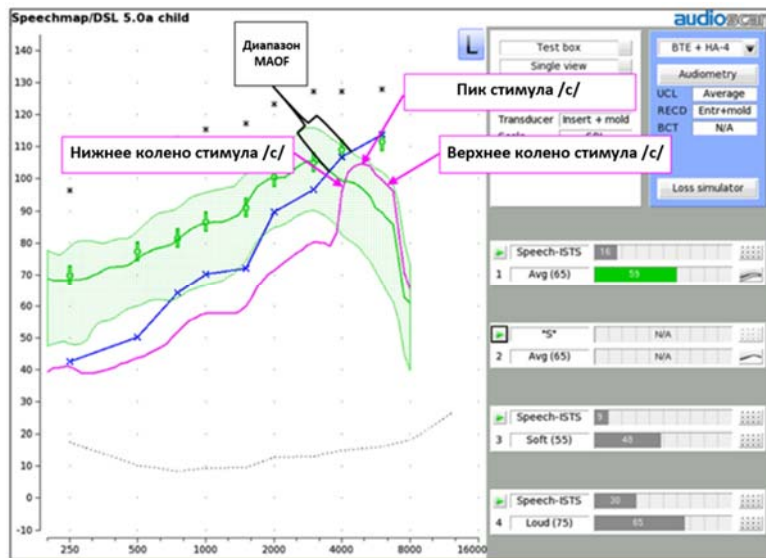
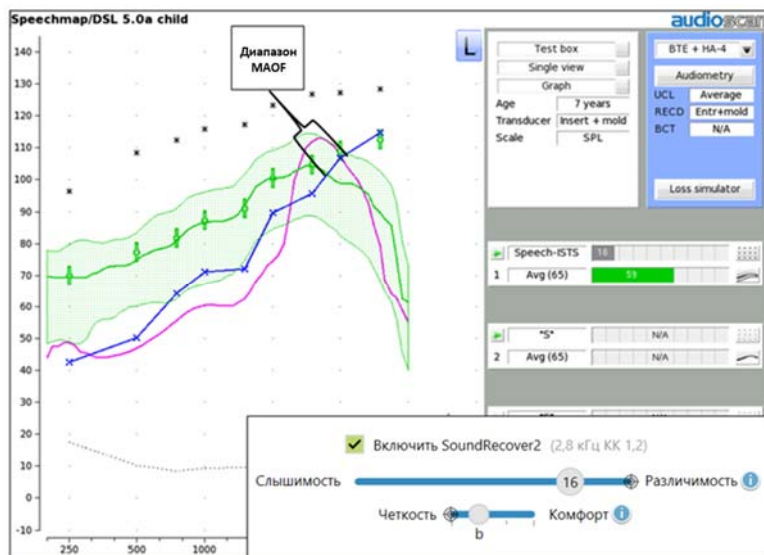


Рис. 8: Выход слухового аппарата при использовании стимула ISTS уровнем 65 дБ УЗД (зеленая область). Верхняя граница зеленого диапазона представляет собой усредненный уровень речевых пиков. SoundRecover2 выключен. Розовая кривая соответствует усиленному сигналу /с/ при уровне входа 65 дБ УЗД. В данном примере звук /с/ не попадает в диапазон MAOF, т.е. остается неслышимым. Таким образом, в этом случае оправдано использование частотного понижения.

### 3) Точная настройка SoundRecover2:

При включенном SoundRecover2 измерьте спектр /с/ в исходной настройке. Если /с/ не попадает в диапазон MAOF, воспользуйтесь регулятором "слышимость-различимость", чтобы найти минимальную степень компрессии, при которой достигается нужная слышимость этого звука. Повторно измерьте спектр /с/, чтобы убедиться в том, что выбранная настройка обеспечивает попадание /с/ в диапазон MAOF (рис. 9). Желательно, чтобы верхнее плечо /с/ оказалось максимально приближенным к верхней границе диапазона MAOF. Рекомендуем не выключать стимул /с/ в процессе поиска нужной настройки SoundRecover2. При этом функция NoiseBlock должна быть отключена или установлена в минимальное положение.



**Рис. 9:** Перемещайте верхний регулятор "слышимость-различимость" до тех пор, пока стимул /с/ не станет слышимым (окажется выше пороговой кривой), а его верхнее плечо не совпадет с верхней границей диапазона MAOF.

### Заключение

Описанный в этом документе протокол подразумевает использование SoundRecover2 только в том случае, если калиброванный стимул /с/ не слышен без частотного понижения. Кроме того, рекомендуется настраивать SoundRecover2 так, чтобы найти самую слабую настройку, обеспечивающую улучшение слышимости высокочастотных звуков по сравнению с выключенным алгоритмом SoundRecover2. Для определения необходимости использования частотного понижения и точной настройки данной функции рекомендуется применять предварительно записанные калиброванные стимулы, используемые системами тестирования слуховых аппаратов, например, Audioscan® Verifit (Scollie и соавт., 2016). Эти стимулы были специально созданы для применения в рамках описанного выше протокола. Такой индивидуальный подход учитывает степень тугоухости пользователя и характеристики слухового аппарата при выборе настроек SoundRecover2. Иногда могут потребоваться дополнительные шаги по настройке SoundRecover2. Часть из них описана ниже, в разделе "Часто задаваемые вопросы".

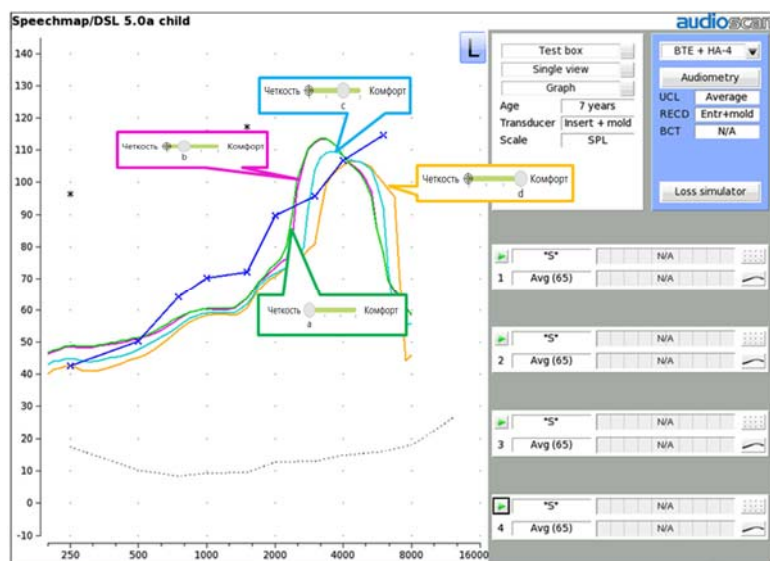
### Часто задаваемые вопросы

*По завершении шагов 1-3 пользователь слухового аппарата жалуется на неестественное звучание гласных звуков. Что можно предпринять в таком случае?*

Вы можете воспользоваться регулятором "четкость-комфорт" для достижения оптимального баланса между слышимостью и естественностью звучания. По умолчанию регулятор "четкость-комфорт" находится в положении "а". Мы расскажем, как проверить, улучшится ли качество звучания гласных звуков, если вы переведете его в положение "b", "c" или "d". В положениях "b-d" используется более высокая ГЧ2, т.е. расширяется частотный диапазон, не подвергающийся компрессии при преобладании низкочастотных сигналов. Это должно привести к улучшению качества звука, но при чрезмерном перемещении регулятора в сторону "комфорта" может снизиться эффективность частотного понижения.

Мы рекомендуем специалисту самому прослушивать слуховой аппарат в процессе описанной здесь точной настройки. Например, при настройке с использованием куплера специалист может воспользоваться контрольными наушниками, подключенными к анализатору слуховых аппаратов. При настройке в реальном ухе нужно полагаться на комментарии пациента. Наивысший уровень слышимости звука /с/ достигается в положении "а", поэтому при перемещении регулятора нужно всякий раз контролировать возможное изменение слышимости звука /с/.

На рис. 10 приведен пример использования регулятора "четкость-комфорт" для улучшения общего качества звучания гласных звуков. Выбор окончательной настройки основан на компромиссе между улучшением качества звучания и слышимостью высоких частот. В положении "b" стимул /с/ остается слышимым и не выходит за пределы диапазона MAOF. Затем мы зарегистрировали спектр стимула /с/ во всех остальных положениях регулятора "четкость-комфорт". По мере перемещения регулятора в сторону "комфорта" слышимость звука /с/ снижается. Так, в положениях "с" и "d" звук /с/ уже не слышен, поэтому их нельзя рекомендовать для настройки.



**Рис. 10:** Измерение спектра звука /с/ при включенном SoundRecover2 в различных положениях регулятора "четкость-комфорт": "а" (зеленая кривая), "b" (розовая кривая), "с" (голубая кривая) и "d" (оранжевая кривая).

## Литература

AAA. 2013. American Academy of Audiology Clinical Practice Guidelines: Pediatric Amplification.

Glista, D., and S. Scollie. (2009) Modified Verification Approaches for Frequency Lowering Devices. In Audiology Online. Vol. November. 1-11.

McCreery, R.W., J. Alexander, M.A. Brennan, B. Hoover, J. Kopun, and P.G. Stelmachowicz. (2014) The influence of audibility on speech recognition with nonlinear frequency compression for children and adults with hearing loss. Ear and Hearing. 35(4):440-447.

Stelmachowicz. (2014) The influence of audibility on speech recognition with nonlinear frequency compression for children and adults with hearing loss. Ear and Hearing. 35(4):440-447.

McCreery, R.W., M.A. Brennan, B. Hoover, J. Kopun, and P.G. Stelmachowicz. (2013) Maximizing audibility and speech recognition with nonlinear frequency compression by estimating audible bandwidth. Ear and Hearing. 34(2):e24-e27.

Rehmann, J., Jha, S. and Allegro Baumann, S. (2016). SoundRecover2 – the first adaptive frequency compression algorithm. Phonak Insight Paper.



Scollie, S., D. Glista, J. Seto, A. Dunn, B. Schuett, M. Hawkins, N. Pourmand, and V. Parsa. (2016) Fitting frequency-lowering signal processing applying the AAA Pediatric Amplification Guideline: Updates and protocols. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27(3):219-236.

Scollie, S., R.C. Seewald, L. Cornelisse, S. Moodie, M. Bagatto, D. Lurnagaray, S. Beaulac, and J. Pumford. (2005) The desired sensation level multistage input/output algorithm. *Trends in Amplification*. 9(4):159-197.

## Авторы



Д-р Danielle Glista – старший научный сотрудник Лаборатории детского слухопротезирования в Национальном центре аудиологии и профессор-исследователь в Институте коммуникационных расстройств (Канада).



Marianne Hawkins – научный сотрудник и аудиолог Лаборатории детского слухопротезирования в Национальном центре аудиологии (Канада).



Д-р Susan Scollie – директор Лаборатории детского слухопротезирования в Национальном центре аудиологии и доцент в Институте коммуникационных расстройств (Канада).



Jace Wolfe, PhD – директор по аудиологии Фонда Hearts for Hearing и доцент кафедры аудиологии в Университете Центра здравоохранения Оклахомы и Университете Салус (США).



Andrea Bohnert – старший сотрудник отделения взрослой и детской аудиологии университетской клиники оториноларингологии и коммуникационных расстройств в Майнце, преподаватель логопедии и аудиологии в университетской клинике Майнца (Германия).



Julia Rehmann – инженер-аудиолог в Sonova AG (Штефа, Швейцария).