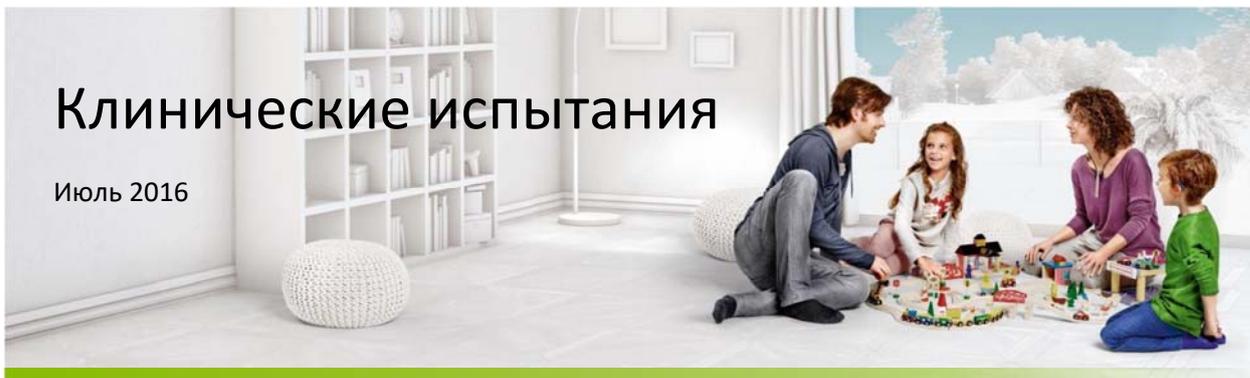


# Клинические испытания

Июль 2016



## Сравнение объективных и субъективных результатов использования автоматических систем классификации разных производителей

Использование автоматических систем классификации для категоризации акустической обстановки и соответствующего изменения параметров работы слухового аппарата значительно повысило возможность пользоваться всеми преимуществами современных слуховых аппаратов без необходимости ручного переключения режимов их работы. Однако, уровень сложности этих систем (скорость категоризации, количество регулируемых параметров) существенно различается у разных производителей. Система Phonak AutoSense OS™ не только точно и быстро идентифицирует акустическую обстановку, но и вычисляет пропорцию и вероятность наличия различных акустических классов. В Центре аудиологических исследований Phonak (PARC) было проведено исследование, призванное оценить возможности AutoSense OS в сравнении с автоматическими системами двух других ведущих производителей слуховых аппаратов. Особый интерес представляло влияние автоматической системы классификации на поведение пользователя в реальной обстановке. Согласно полученным результатам, система Phonak AutoSense OS обеспечивает лучшую разборчивость речи во многих сложных ситуациях.

### Введение

С момента своего первого использования в конце 1990-х годов автоматические системы классификации становились все более сложными с точки зрения способности адаптации параметров слухового аппарата к окружающей обстановке. Акцент на "умные" слуховые аппараты, самостоятельно переключающие программы и меняющие параметры своей работы, стал основной обсуждаемой темой, так как такие технологии снижают слуховое усилие и максимизируют удобство пользователя.

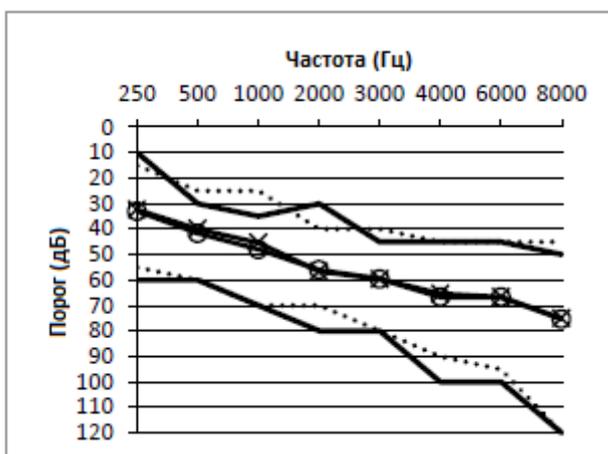
В обзорном исследовании McCormack и Fortnum (2014) был сделан вывод о том, что недостаточная воспринимаемая эффективность (особенно в условиях шума) и сложности с обращением со слуховыми аппаратами входят в тройку причин, приводящих к отказу от использования слуховых аппаратов. Можно предположить, что надежная автоматическая операционная система, способная оптимизировать параметры в соответствии с текущей обстановкой и сводящая к минимуму взаимодействие пользователя с устройством, потенциально способна устранить часть этих препятствий. Производители по-разному применяют

автоматические функции. Кто-то уделяет основное внимание гибкости, сложности и точности работы автоматики, тогда как другие ограничиваются автоматическим переключением ограниченного числа параметров. Система Phonak AutoSense OS использует сложные алгоритмы классификации и сочетания характеристик, относящихся к разным акустическим условиям. В частности, AutoSense OS плавно управляет усилением и функциями очистки звука для достижения оптимального баланса эффективности и качества звучания. Изменение обработки сигнала происходит медленно, во избежание резких, заметных переходов или артефактов. В сложной повседневной обстановке эта система также позволяет смешивать несколько программ.

В предыдущем исследовании, выполненном в PARC, сравнивалась эффективность слуховых аппаратов в реальных условиях при ручном переключении программ и автоматическом (AutoSense OS) функционировании (Rakita, Jones, 2015). Было установлено, что AutoSense OS обеспечивает равную или более высокую разборчивость речи в сравнении с программой, выбранной пользователем вручную. В продолжение темы было бы очень интересно сравнить возможности AutoSense OS и систем классификации других производителей с точки зрения обеспечения разборчивости речи в сложной окружающей обстановке. Именно этому посвящена настоящая работа.

## Методика

В исследовании приняли участие 14 людей в возрасте от 23 до 83 лет. У всех испытуемых была сенсоневральная тугоухость малой/умеренно-тяжелой степени и все они постоянно пользовались слуховыми аппаратами. В ходе реализации данного проекта испытуемым были подобраны слуховые аппараты с внешним ресивером (RIC) Audeo B-90 и сравнимые устройства RIC двух других производителей слуховых аппаратов. Усредненная аудиограмма 14 участников исследования представлена на рис. 1.



**Рис. 1:** Усредненные аудиометрические пороги 14 испытуемых.

## Подбор и настройка слуховых аппаратов

Слуховые аппараты всех трех производителей были настроены по формуле NAL-NL2 с использованием соответствующего программного обеспечения. Во всех случаях усиление было установлено на 100% целевого значения. Функция частотного понижения была отключена во всех аппаратах. В качестве единственной программы оставлена автоматическая.

Для обеспечения одинаковой слышимости в слуховых аппаратах всех производителей выполнены измерения в реальном ухе с помощью системы Verifit 2. Путем точной настройки добивались соответствия характеристик, измеренных в реальном ухе (REAR), целевым значениям NAL-NL2 в пределах  $\pm 3$  дБ в диапазоне 250-4000 Гц. Это позволило исключить влияние различий исходной

настройки слуховых аппаратов при оценке обеспечиваемой ими слышимости в той или иной обстановке.

## Тестирование

Исследование проводилось в четырех вариантах реальной акустической обстановки. При их выборе руководствовались следующим: (а) обстановка часто встречается в повседневной жизни; (b) пользователи часто жалуются специалистам на сложность пребывания в данной обстановке; (с) выбранные варианты акустической обстановки охватывают широкий диапазон условий, требующих различного подхода к работе слуховых аппаратов. Тестовый материал (фразовая речь) всегда подавался на предварительно откалиброванном уровне. Уровень фонового шума старались поддерживать постоянным. В ситуациях, подразумевающих естественный окружающий шум (например, кафе или автомобиль), проводили неоднократное предварительное измерение уровня шума, чтобы убедиться в его постоянстве в течение дня и в разные дни. Ниже вы найдете подробное описание каждой акустической обстановки. В каждом случае испытуемому давали некоторое время (1 минуту) на привыкание к окружающим условиям. Это также позволяло слуховым аппаратам полностью адаптироваться к акустической обстановке.

В работе использованы слуховые аппараты с внешним ресивером Phonak B-90 и сравнимые с ними устройства RIC двух других производителей. Для всех трех пар слуховых аппаратов использовали мощные стандартные вкладыши Phonak. Это было сделано для того, чтобы физические ощущения при ношении разных аппаратов были одинаковыми. Порядок тестирования аппаратов был случайным и сбалансированным для каждой обстановки.

В каждом тестировании участвовали не менее двух экспериментаторов. Один из них отвечал за последовательность тестирования слуховых аппаратов. Во избежание узнавания все аппараты были помещены в акустически прозрачные черные чехлы EarGear (рис. 2). В результате ни испытуемый, ни второй экспериментатор, подсчитывавший результаты, не знали о том, какие аппараты тестируются в данный момент. При проведении тестов в автомобиле и кафе, когда для подачи речевых стимулов использовали беспроводную колонку BOSE Minilink, к группе присоединялся третий экспериментатор. Он держал колонку на определенном расстоянии от слушающего.



**Рис. 2:** Слуховые аппараты, помещенные в чехлы и снабженные одинаковыми мощными стандартными вкладышами.

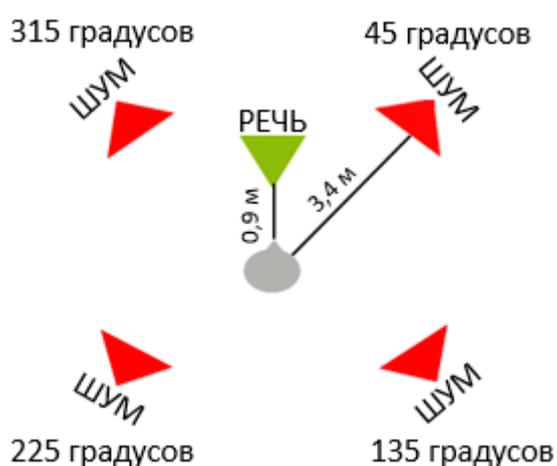
Ситуации "Сложная обстановка" и "Тихая речь" имитировали в специальном помещении с помощью лабораторных акустических колонок и звуковой карты. Условия в помещении способствовали выраженной реверберации (время реверберации 0,8 с). Речь и шум подавали с помощью 16-канальной звуковой карты Fireface RMEи колонок Genelec 8020 CPM.

## 1. Ситуация "Сложная обстановка" (плохая акустика)

Экспериментаторы хотели создать сложную и неоднозначную акустическую обстановку, требовавшую от автоматической системы классификации принятия "решения" высшего порядка в связи с наличием нескольких вариантов акустических помех. Подобная обстановка теоретически потребовала бы нескольких различных изменений параметризации, не обязательно соответствующих одной конкретной программе. В этих условиях, часто встречающихся в реальной жизни, пользователю очень сложно выбрать нужную программу с помощью переключателя.

Шум поддерживался на уровне 60 дБА во избежание активации агрессивного шумоподавления. Разборчивость речи на фоне громкого шума изучалась в другой ситуации – "Кафе" (см. ниже).

Помимо реверберации, помехи создавались одновременным разговором 4 человек (на уровне 60 дБА), подававшимся из 4 колонок, расположенных под углом 45, 135, 225 и 315 градусов. Испытуемый сидел в центре образованного колонками пространства, на расстоянии 11 футов (3,4 м) от каждой из них. Пятая колонка располагалась под углом 0 градусов к испытуемому, на расстоянии 3 футов (0,9 м) от него. Из этой колонки поступала фразовая речь (IEEE) уровнем 65 дБА (рис. 3).



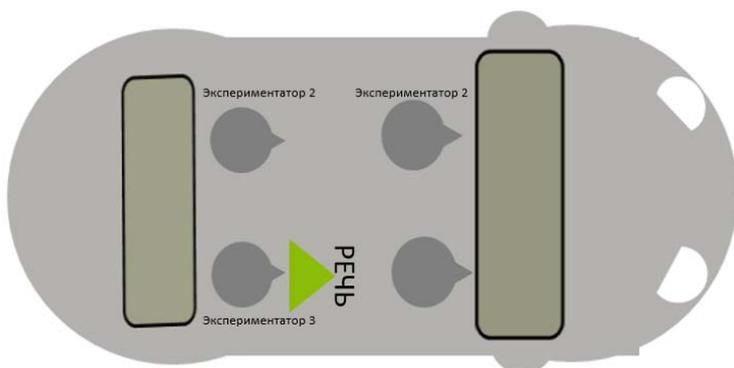
**Рис. 3:** Схема ситуации "Сложная обстановка", предназначенной для сравнения показателей разборчивости речи при использовании автоматических систем классификации трех производителей.

## 2. Ситуация "Автомобиль"

По ряду причин автомобиль представляет собой сложную акустическую обстановку. Помимо шума, создаваемого двигателем и трением шин о дорожное покрытие, очень часто в салоне играет музыка и разговаривают пассажиры. Кроме того, собеседник почти всегда оказывается сбоку или сзади от пользователя слуховых аппаратов. В результате направленные микрофоны оказываются неэффективными, т.к. собеседник не попадает в зону луча направленности. Напротив, направленность может сыграть неблагоприятную роль.

Во всех экспериментах использовался Nissan Murano (год выпуска 2014). Испытуемый сидел в переднем пассажирском кресле. Все измерения проводились на одном и том же участке дороги, в парке, примыкающем к зданию PARC. Автомобиль всегда двигался со скоростью 30 миль в час (48 км/ч). Дорожное покрытие всегда было сухим. Через акустическую систему автомобиля воспроизводился одновременный разговор четырех человек, записанный на подключенном к ней iPhone 6s. Уровень шума составлял 60 дБА. Суммарный уровень шума (разговор + шум двигателя + шум колес) достигал 63 дБА. Фразовая речь (IEEE) воспроизводилась через беспроводную колонку BOSE, которую держал в руке экспериментатор, сидевший на заднем сиденье, прямо за спиной испытуемого. Уровень предъявления речи составлял 70 дБА. В ходе тестирования один

экспериментатор вел автомобиль, второй подсчитывал результаты, а третий держал в руке колонку BOSE (рис. 4).

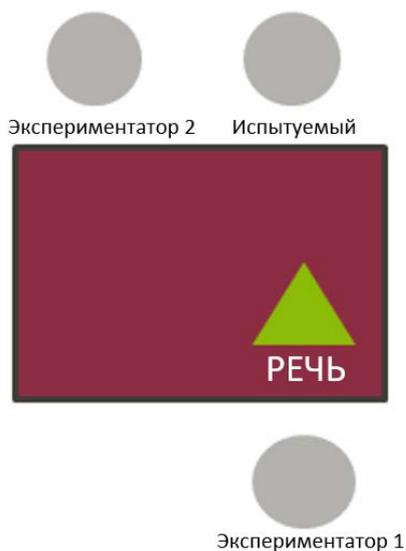


**Рис. 4:** Схема ситуации "Автомобиль", предназначенной для сравнения показателей разборчивости речи при использовании автоматических систем классификации трех производителей.

### 3. Ситуация "Кафе" (громкий шум)

Ситуация "кафе" представляет собой типичный пример очень шумной и акустически сложной обстановки. Для тестирования было выбрано кафе в центральном районе города Нейпервилл (штат Иллинойс, США). Наш выбор становился именно на этом кафе, потому что оно всегда переполнено в рабочие часы.

Речевой материал подавался на максимальной громкости портативной колонки, размещавшейся напротив слушающего. Уровень фонового шума держался на постоянном уровне 80 дБА (рис. 5).



**Рис. 5:** Схема ситуации "Кафе", предназначенной для сравнения показателей разборчивости речи при использовании автоматических систем классификации трех производителей.

### 4. Ситуация "Тихая речь"

Четвертая ситуация, "речь на расстоянии" или "тихая речь", также моделировалась в PARC. Акустическая колонка, передающая фразовую речь уровнем 50 дБА, располагалась на расстоянии 3 футов (0,9 м) от испытуемого, по азимуту 0 градусов (рис. 6). Собственный фон пустого помещения составлял 41 дБА; дополнительный шум не использовался.



*Рис. 6: Схема ситуации "Тихая речь", предназначенной для сравнения показателей разборчивости речи при использовании автоматических систем классификации трех производителей.*

### Выполнение исследования

В каждой из четырех описанных выше ситуаций испытуемым предлагали повторить 20 фраз IEEE при использовании всех трех моделей слуховых аппаратов. Модели разных производителей использовались в случайном порядке. Каждый раз рассчитывался процент правильно повторенных фраз. Все испытуемые инструктировались одинаково. Если испытуемый не был уверен в том, что он услышал, можно было попробовать угадать правильную фразу.

Помимо описанной выше проверки разборчивости речи, участников исследования просили дать субъективную оценку своих усилий по распознаванию речевого материала (сразу же по завершении каждого теста). Использовалась десятибалльная шкала: от "1" (без усилий) до "10" (максимум усилий).

## Результаты

### Разборчивость речи

Показатели разборчивости фразовой (IEEE) речи усредняли для всех 14 испытуемых, отдельно по каждому производителю и по каждой ситуации. На рис. 7a-7d представлены средние показатели разборчивости речи в каждой обстановке в слуховых аппаратах разных производителей.

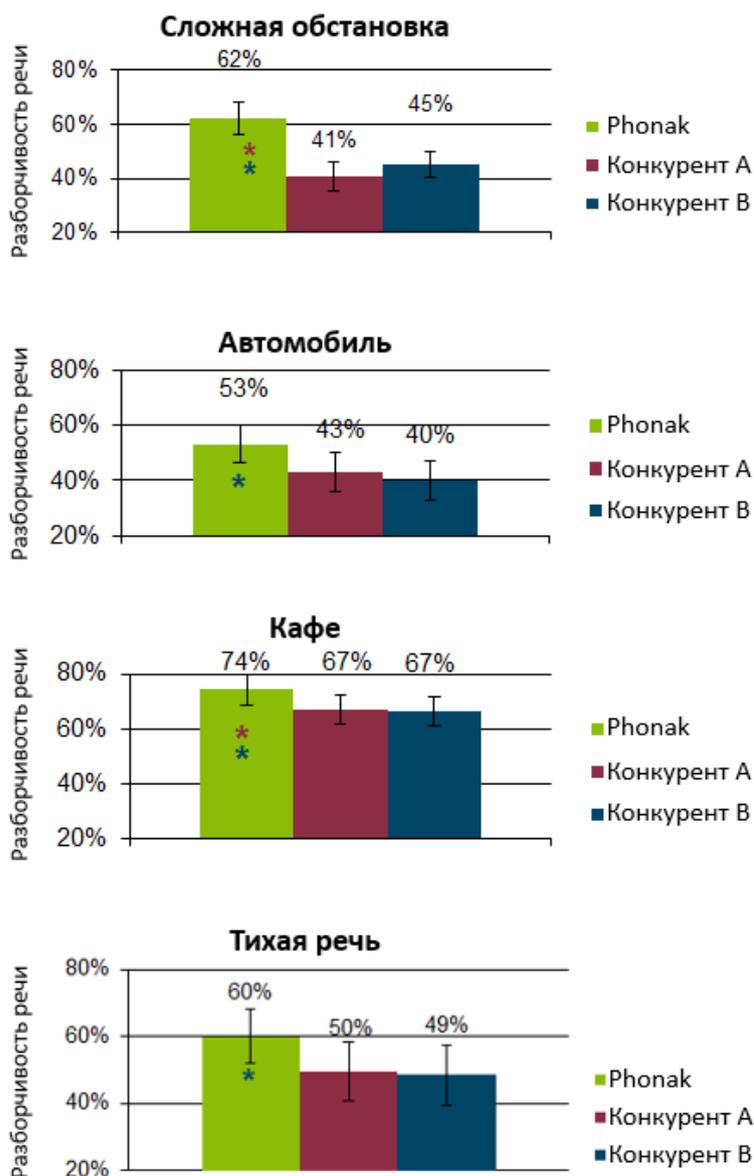
Дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA) обнаружил значимый главный эффект производителя слуховых аппаратов в ситуациях "сложная обстановка" ( $p < 0,05$ ), "тихая речь" ( $p < 0,01$ ), "кафе" ( $p < 0,05$ ) и "автомобиль" ( $p < 0,05$ ). Средние показатели для каждой обстановки представлены на рис. 7a-7d. Вертикальные отрезки представляют собой стандартную ошибку среднего.

После применения поправки Бонферрони к трем парам сравниваемых в каждой обстановке показателей определяли значимость каждого парного сравнения ( $\alpha = 0,02$ ) (Dunn, 1961). Согласно результатам апостериорного анализа с использованием ранговых критериев Фишера, показатели Phonak AutoSense OS ( $M = 62\%$ ,  $SE = 6,0\%$ ) были значимо выше, чем у двух других производителей ( $M = 41\%$ ,  $SE = 5,6\%$ ), ( $M = 45\%$ ,  $SE = 4,6\%$ ) в ситуации "сложная обстановка".

Это же относится и к ситуации "автомобиль": ( $M=53\%$ ,  $SE= 6,9\%$ ) против ( $M = 43\%$ ,  $SE = 7,2\%$ ) и ( $M = 40\%$ ,  $SE = 7,0\%$ ).

Аналогичные результаты получены для ситуации "кафе": ( $M = 74\%$ ,  $SE = 5,5\%$ ) против ( $M = 67\%$ ,  $SE = 5,3\%$ ) и ( $M = 67\%$ ,  $SE = 5,3\%$ ).

Наконец, в ситуации "тихая речь" показатели разборчивости речи для Phonak AutoSense OS (M = 60%, SE = 8,2%) были значимо выше, чем для одного из двух других производителей (M = 49%, SE = 9,1%).

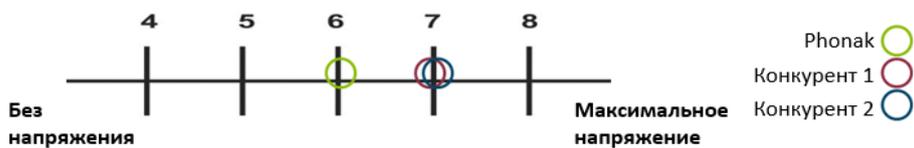


**Рис. 7а-7д:** Показатели разборчивости (%) фразовой речи IEEE в слуховых аппаратах Phonak и двух конкурентов. Вертикальные отрезки соответствуют стандартной ошибке среднего. (\*) = значимое различие при  $p = 0,02$ . (\*) = Конкурент 1. (\*) = Конкурент 2.

### Слуховое напряжение

Средние показатели слухового напряжения, отмечавшегося участниками исследования в четырех ситуациях с использованием аппаратов разных производителей, представлены на рис. 8. Испытуемые оценивали слуховое напряжение по 10-балльной шкале: от "1" (без напряжения) до "10" (максимальное напряжение).

Согласно полученным результатам, отмечается тенденция к меньшему слуховому напряжению при использовании системы AutoSense OS по сравнению с системами двух других производителей, однако различия не достигают уровня статистической значимости. Средняя оценка аппаратов Phonak составляла 6,2, двух конкурентов – 7,0 и 7,1.



**Рис. 8:** Средние субъективные показатели слухового напряжения при выполнении тестов разборчивости речи в слуховых аппаратах разных производителей.

## Обсуждение

В настоящей работе изучалась способность систем автоматической классификации оптимизировать слышимость в различных акустических ситуациях, в том числе, при наличии помех. Пользователи слуховых аппаратов хотят сохранять нормальное звуковосприятие в разных условиях, без необходимости ручного вмешательства в работу аппаратов. Кроме того, пользователю почти невозможно вручную выбрать нужную программу в соответствии со сложной и часто меняющейся акустической обстановкой. Наконец, простое переключение программ не позволяет добиться смешения различных параметров, используемого в системах автоматической классификации некоторых производителей слуховых аппаратов.

Целью настоящего исследования было сравнение систем автоматической классификации разных производителей с точки зрения их влияния на функциональные показатели пользователей слуховых аппаратов в различной обстановке. Каждый производитель использует собственный подход к классификации и по-разному комбинирует различные параметры.

Исследование проводилось в четырех вариантах сложной акустической обстановки. Согласно полученным результатам, система Phonak AutoSense OS наиболее эффективно повышает функциональные показатели пользователей. В частности, Phonak AutoSense OS обеспечивает лучшую разборчивость речи во всех четырех ситуациях, чем системы классификации двух других производителей. Кроме того, субъективное слуховое напряжение при использовании аппаратов Phonak было в целом ниже, чем в аппаратах конкурентов.

## Заключение

Согласно результатам настоящего исследования, система AutoSense OS, управляющая обработкой сигналов в слуховом аппарате, в том числе, усилением и активацией отдельных функций, обеспечивает лучшую разборчивость речи по сравнению с сопоставимыми устройствами двух других ведущих производителей. Это преимущество сохранялось вне зависимости от сложности ситуации. Испытуемые демонстрировали лучшие результаты с аппаратами Phonak в четырех реальных акустических ситуациях.

Автоматическая классификация – сложная технология, требующая идентификации акустических характеристик и адаптации обработки сигнала в реальном времени. Удобство пользователя зависит от точности автоматической системы классификации, т.к. ему приходится меньше задумываться над переключением программ. Кроме того, такая система обеспечивает равномерно оптимальные слуховые ощущения, в отличие от ручного переключения программ. Настоящее исследование свидетельствует о лучшей разборчивости речи и более позитивном субъективном восприятии звучания в реальной обстановке при использовании AutoSense OS по сравнению с системами, предлагаемыми двумя другими производителями слуховых аппаратов. Это подтверждает способность AutoSense OS положительно влиять на ощущения и функциональные показатели пользователей в реальной обстановке.

## Литература

McCormack, Abby and Fortnum, Heather (2013) Why do people fitted with hearing aids not wear them? International Journal of Audiology, 52 (5). pp. 360-368.

Rakita, L and Jones, C. (2014) Performance and Preference of an Automatic Hearing Aid System in Real-World Listening Environments. The Hearing Review

## Об авторах



Lori Rakita работает аудиологом-исследователем в PARC. В компании Phonak она вела программу исследований, включая технические испытания, создание доказательной базы и клиническую поддержку продукции. Lori получила степень магистра психологии в Висконсинском университете в Мэдисоне и степень доктора аудиологии в Университете Вашингтона в Сент-Луисе.



Christine Jones работает в компании Phonak с 2001 г. В настоящее время она является директором Центра аудиологических исследований Phonak (PARC), где руководит программами внутренних и внешних клинических исследований. До этого Christine отвечала за педиатрическое направление в Phonak US и вела детские клинические исследования в PARC. Christine получила степень магистра аудиологии в Университете Вандербильта и степень доктора аудиологии в Центральном мичиганском университете.