

УДК 331.101.1+621.382

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-37-42

А. В. Шатеева, А. А. Емельяненко

**ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-MID-ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭРГОНОМИЧНОСТИ ЗАУШНЫХ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ**

Волгоградский государственный университет

E-mail: anfisa.2009.2002@gmail.com, emelyanenko_aleksei@mail.ru

Рассмотрено применение 3D-MID-технологий в качестве конструктивного и технологического факторов обеспечения эргономичности заушных слуховых аппаратов. Приведены конструктивные и функциональные особенности заушных слуховых аппаратов, позволяющие рассматривать применение 3D-MID-технологий к конструированию и изготовлению подобных устройств. Показана возможность и целесообразность применения 3D-MID-технологий для изготовления рассматриваемых устройств. Приведена последовательность конструкторских и технологических этапов производства аппаратной части заушного слухового аппарата с применением 3D-MID-технологий.

Ключевые слова: 3D-MID-технологии, эргономичность, заушный слуховой аппарат

© Шатеева А. В., Емельяненко А. А., 2024.

A. V. Shateeva, A. A. Emelyanenko

PREREQUISITES FOR THE APPLICATION OF 3D-MID TECHNOLOGIES TO ENSURING THE ERGONOMICS OF BEHIND-THE-EAR HEARING AIDS

Volgograd State University

The application of 3D-MID technologies as constructive and technological factors for ensuring the ergonomics of behind-the-ear hearing aids is considered. The design and functional features of behind-the-ear hearing aids are presented, which make it possible to consider the application of 3D-MID technologies to the design and manufacture of such devices. The possibility and expediency of using 3D-MID technologies for the manufacture of the devices in question is shown. The sequence of design and technological stages of the production of the hardware of the ear hearing aid using 3D-MID technologies is given.

Keywords: 3D-MID-technologies, ergonomics, behind-the-ear hearing aid.

Технологии 3D-MID (Three-Dimensional Molded Interconnect Device – букв.: трехмерное литое монтажное основание) – современная, быстро развивающаяся концепция конструкторского проектирования и технологического обеспечения аппаратной части электронных приборов [1–3]. Суть технологии заключается в формировании изделия сложной пространственной формы, сочетающего в себе как заданные механические (корпусные, несущие, базовые) функции, так и функции электрического многопроводникового соединителя. Технологии 3D-MID позволяют получить сложную криволинейную геометрию печатных узлов (плат, микросхем) и сформировать в этих узлах на их криволинейных поверхностях токоведущие пути, в том числе многослойные. Другими словами, 3D-MID-технологии позволяют объединить электрические и механические функции в трехмерной структуре печатного узла, вывести функции печатного узла на уровень шасси, тем самым упростить состав изделия, обеспечить компактность при формировании требуемой формы изделия.

Специфика ряда приборов медицинского назначения как раз и состоит в необходимости придания их корпусной части особой формы, отвечающей анатомическим особенностям пациента. И применение 3D-MID-технологий здесь – не только способ миниатюризации аппаратной части, но и средство повышения эргономичности формы приборов, носимых пациентом и находящихся в непосредственном длительном контакте с ним. Ведь основное конструктивное противоречие носимых на теле пациента медицинских приборов – необходимость компактного размещения составных частей прибора и интегрирующего их печатного узла в корпусе наименьших размеров при том, что печатный узел (плата) традиционно имеет плоскую прямоугольную одно- или многослойную форму, а корпус должен иметь плав-

ные криволинейные, в идеале – анатомические, обводы.

Заушные слуховые аппараты являются важным средством помощи людям с нарушениями слуха. Они относятся к категории аппаратов воздушной проводимости и представляют собой электроакустические устройства, которые помещаются за ушной раковиной пациента, усиливают звук и направляют его по звуководу в наружный слуховой проход. В заушном слуховом аппарате реализована общая функциональная схема слуховых аппаратов (рис. 1). Основными функциональными узлами заушного слухового аппарата являются (рис. 2):

- микрофон, принимающий звук и преобразующий его в электрический сигнал;
- усилитель, принимающий сигнал от микрофона и посылающий его затем в ресивер;
- ресивер (звукоизлучатель, телефон), преобразующий электрический сигнал в звук и посылающий его через звуковод и ушной вкладыш в наружный слуховой проход;
- регулятор громкости (элемент управления);
- элемент питания (батарейный отсек);
- звуковод и ушной вкладыш, служащие каналом для передачи звука в наружный слуховой проход.

Основной проблемой производства заушных слуховых аппаратов является необходимость компактного размещения перечисленных составных частей (кроме звуковода и вкладыша) и интегрирующего их печатного узла в корпусе наименьших размеров анатомически удобной формы. Примеры заушных слуховых аппаратов на рис. 2 иллюстрируют, что печатный узел (плата) аппаратной части традиционно имеет плоскую прямоугольную форму и монтируется на шасси – базовую конструкцию, несущую также микрофон, усилитель, регулятор громкости (рис. 2, а, б) и телефон (рис. 2, а). Такое традиционное разделение печатного узла как элемента поверхностного

электромонтажа и шасси как механической базы аппаратной части прибора не обусловлено в данном случае задачами декомпозиции и ремонтпригодности конструкции прибора, но усложняет состав и конструкцию прибора.

Кроме того, такое разделение в конструкции аппарата печатного узла и шасси обуславливает многоэтапность технологии изготовления аппарата, увеличивает трудоемкость и затраты на его изготовление и, следовательно, цену для потребителя.

В то же время обеспечение взаимозаменяемости составных частей и автоматической собираемости аппаратов исключают возможность проектирования и изготовления индивидуальных слуховых аппаратов, обладающих индивидуальной, анатомически отвечающей пользователю, формой.

Решение проблемы видится в применении к конструированию и изготовлению заушных слуховых аппаратов 3D-MID-технологии, позволяющей объединить в одно целое печатный узел и шасси аппаратной части слухового аппарата, то есть преодолеть традиционно плоскую форму печатного узла и, тем самым, преодолеть вышеперечисленные ограничения, сделать возможным индивидуальное проектирование и изготовление слуховых аппаратов.

В этом случае печатный узел (рис. 3, б [4]) аппаратной части (рис. 3, а [4]) приобретает пространственную форму и функцию шасси устройства.

Так, в примере, проиллюстрированном рис. 3 [4], печатный узел имеет пространственную (изогнутую) форму, является двуслойным (двусторонним) с межслойными соединениями, проходящими через отверстия в монтажном основании. На печатном узле с высокой точностью позиционирования монтируются три направленных микрофона, от точности расположения которых зависит способность носителя аппарата идентифицировать направление звука.

Форма монтажного основания может корректироваться в зависимости от требуемых обводов корпуса аппаратной части, соответствующих анатомическим особенностям каждого пользователя. Процесс изготовления каждого заушного слухового аппарата в этом случае должен начинаться с корректировки обводов корпуса и формы шасси слухового аппарата применительно к анатомическим особенностям пользователя.

Эта техническая процедура может осуществляться оцифровкой слепка заушной области

пациента и копированием поверхностей цифрового слепка на прилегающие поверхности 3D-модели слухового аппарата.

В целом процесс проектирования и изготовления аппаратной части заушного слухового аппарата с применением 3D-MID-технологии можно представить в виде следующей последовательности конструкторских и технологических этапов:

1. Формулировка технических требований и ограничений, выбор материалов

Этап включает в себя определение требований к геометрии и функциональности (расположение и ориентация микрофона, расположение телефона), учет эргономики формы, жесткости и прочности конструкции. Здесь необходимо учесть возможности формирования токоведущих слоев, размещение внутренних металлических проводников или диэлектрических слоев. Производится выбор полимерного материала монтажного основания и металлического материала токоведущих слоев.

Материал монтажного основания следует выбирать из полимеров-диэлектриков, способных к аддитивному формообразованию тем или иным способом, например, фотополимеризацией или способом струйного (инжекционного) нанесения. Материалом, принятым в частности изготовителем печатного узла аппарата на рис. 3 [4], является жидкокристаллический полимер синдиотактический полистирол (sPS).

Материалом токоведущих частей обычно выбирается металл с высокой электропроводностью: медь, никель, серебро, золото. Однако применение 3D-MID-технологии позволяет расширить этот выбор до специальных токопроводящих полимеров – высоконаполненных углеродом, медью или иными проводящими наполнителями термопластов, способ нанесения которых на основание также является аддитивным.

Материалом токоведущих слоев для печатного узла аппарата на рис. 3 [4] принята медь.

2. Создание 3D-модели

Этап заключается в создании электронной 3D-модели изделия: заушного слухового аппарата, включая печатный узел – шасси аппаратной части. 3D-модель здесь является пространственным геометрическим и физическим представлением и способом визуализации изделия, определяющим состав, материал составных частей изделия и предоставляющим возможность виртуального тестирования изделия. Соз-

дание 3D-модели изделия сопровождается виртуальным тестированием с целью минимизировать корректировку проекта и доработку изделия после его изготовления и натурного тести-

рования. Подготовка электронной 3D-модели изделия осуществляется в одной из CAD-систем, таких как КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks и пр.

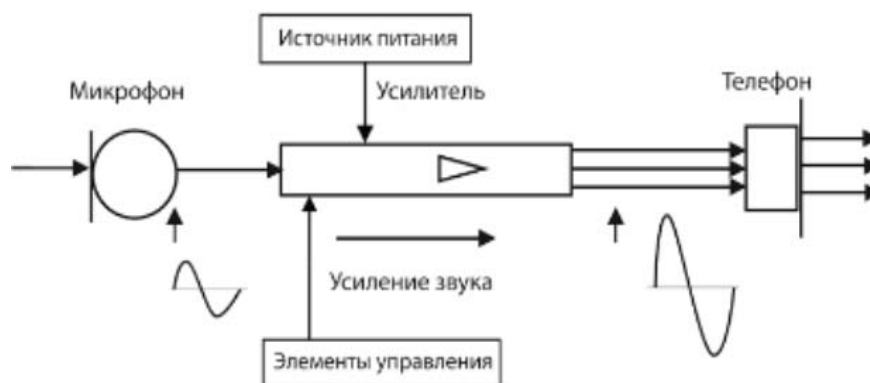


Рис. 1. Функциональная схема слухового аппарата

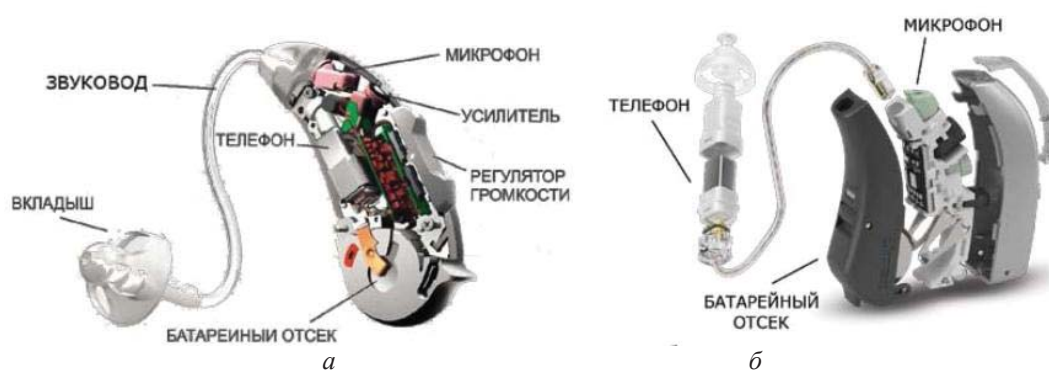


Рис. 2. Заушные слуховые аппараты:
а – традиционный; б – с выносным ресивером



Рис. 3. Составные части заушного слухового аппарата:
а – заушная (аппаратная) часть; б – монтажное основание
(1 – формообразование литьем под давлением, 2 – лазерное структурирование, 3 – металлизация)

3. Формообразование (структурирование) монтажного основания

Этап состоит в изготовлении монтажного основания – печатного узла и одновременно шасси устройства. Вариантами формообразования (в терминах 3D-MID-технологий – структурирования) монтажного основания могут быть простое литье под давлением, двухшаговое (двухстадийное) литье, литье со вставкой и специальные (защищенные на данный момент правообладателями) процессы. Каждый вид структурирования имеет несколько разновидностей (обзор процессов структурирования – см. [4]).

В качестве способа формообразования монтажного основания, приведенного на рис. 3, б [4], изготовителем принято литье под давлением. Степень миниатюризации аппарата можно представить по габаритным размерам основания: $16 \times 4 \times 2$ мм.

В зависимости от процесса и разновидности формообразования монтажного основания этап включает в себя или завершается подготовкой поверхностей под металлизацию. В рассматриваемом примере металлизации предшествует прямое лазерное структурирование, заключающееся в удалении (абляции) путем испарения с поверхности $1 \dots 2$ мкм материала и одновременной активации специальной добавки в пластике, способствующей скреплению пластика с металлическим слоем (подробнее – см. [4]).

4. Металлизация

Этап состоит в формировании на подготовленных поверхностях монтажного основания металлических или в общем случае токопроводящих слоев. Формирование металлических токопроводящих слоев возможно химическим, электролитическим и гальваническим осаждением, механическим нанесением (напылением), а также специальными (защищенными на данный момент правообладателями) способами. Выбор процессов металлизации согласуется с процессом структурирования и становится частью общего производственного процесса аддитивного, полуаддитивного или субстративного структурирования (подробнее – см. [4]).

В рассматриваемом примере металлизация состоит в химическом осаждении меди с нанесением финишного слоя [4].

Этап играет ключевую роль в создании печатного узла, поскольку должен обеспечить ка-

чественное и надежное соединение металлических слоев с полимером.

5. Сборка

Этап представляет собой сборку слухового аппарата на базе печатного узла – шасси, соединение (пайку) токопроводящих слоев печатного узла разных уровней между собой (для многослойного печатного узла) и с проводниками составных частей. Этап может быть выполнен вручную или на автоматической сборочной линии в зависимости от объема и технологической оснащенности производства.

6. Тестирование

Этап состоит из технического контроля правильности сборки и тестирования правильности работы слухового аппарата. В частности на соответствие техническим требованиям проверяются чувствительность, частотный диапазон выходного акустического сигнала, уровень звука, уровень шума и пр. В случае индивидуального изготовления производится анатомическая примерка слухового аппарата.

Сравнение по ряду эргономических критериев заушных слуховых аппаратов, изготовленных существующими способами, с аналогичными аппаратами, созданными с использованием 3D-MID-технологий, позволяет сделать следующие выводы:

1. Качество звука: поскольку применение 3D-MID-технологий позволяет выполнить кратчайшими токопроводящими путями, минимизировав тем самым наведенные помехи, то изготовленные таким способом слуховые аппараты передают звук с максимальной четкостью и минимальным уровнем шума в более широком диапазоне частот, что означает более высокое качество звука.

2. Удобство использования: компактность, миниатюризация за счет совмещения функций печатного узла и шасси в одном монтажном основании, учет индивидуальных анатомических особенностей пользователя в форме корпуса – все это обеспечивает более комфортное ношение и надежное крепление слухового аппарата.

3. Функциональность: снижение энергопотребления за счет сокращения длин проводников, возможность интеграции дополнительных функций (датчиков, светодиодов) повышает функциональность устройства.

4. Дизайн: возможность создания индивидуального и стильного дизайна устройства делает устройство более привлекательным и современным.

Все перечисленные критерии являются аспектами эргономического обеспечения этапов жизненного цикла слухового аппарата: от его проектирования до эксплуатации, и, в конечном счете, обеспечивают улучшение качества жизни человека с нарушением слуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, И. Технология 3D-MID. Новые возможности прототипирования изделий / И. Волков // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2013. – № 3. – С. 170–175.
2. Кондрашин, А. А. Современные технологии изготовления трехмерных электронных устройств / А. А. Кондрашин, А. Н. Лямин, В. В. Слепцов. – М. : Техносфера, 2019. – 210 с.
3. Томас, Х. 3D-MID для защиты кассовых терминалов / Х. Томас // Технологии в электронной промышленности. – 2021. – № 5. – С. 36–37.
4. Franke, J. Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID). Materials, Manufacturing, Assembly, and Applications for Injection Molded Circuit Carriers. – Munich: Carl Hanser Verlag, 2013. 356 p.