

УДК 621.373.826

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ В ПЛАНИРОВАНИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ МЕДИЦИНСКИХ ОПЕРАЦИЙ.

Ольга Алексеевна Крючина

*Студент 5 курса*

*кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Е. Малов*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Ключевые слова: лазерная стереолитография (laser stereolithography), медицина (medicine), планирование и прогнозирование операций (planning and forecasting operations).

Аннотация: В настоящее время актуальной является проблема планирования и прогнозирования медицинских операций с использованием индивидуальных пластиковых прототипов. Для изготовления медицинских прототипов наиболее подходящей является технология лазерной стереолитографии, которая обеспечивает высокую степень детализации, качество поверхности и точность построения модели. Но применение существующих стереолитографических установок в медицинских центрах ограничено, поскольку они имеют высокую стоимость. Решить данную проблему можно путём создания компактного, узконаправленного и дешёвого стереолитографического оборудования.

Важным аспектом для здоровья человека является качество медицинского обслуживания. Одной из основных частей медицины является проведение хирургических операций в различных направлениях: от стоматологии до нейрохирургии. Уровень современной техники позволяет применить индивидуальный подход к каждому пациенту, в том числе благодаря лазерным технологиям.

Для успешного проведения операции и для получения предсказуемых косметических и функциональных результатов проводят планирование и прогнозирование операций, которое стало эффективным, благодаря применению индивидуальных медицинских прототипов, изготовленных с помощью лазерных аддитивных технологий. Использование прототипа позволяет снизить время операции и уровень оперативного вмешательства, а так же время восстановительного периода после операции и риск возникновения осложнений у пациента в будущем.

Наиболее популярной и широко используемой в медицине технологией является лазерная стереолитография, которая позволяет добиться низкой шероховатости поверхности, высокого уровня детализации и наивысшей точности построения модели. Таким образом, с помощью лазерной стереолитографии возможно получение пластиковых копий костных структур пациента: как, например, целого черепа, так и отдельных костей.

Стереолитографические модели используются в диагностических целях для уточнения анатомической картины и характера патологии (63,6 %), для изготовления индивидуальных эндопротезов при контурной пластике опорных тканей лица и пластике дефектов нижней челюсти (48,5 %), для планирования и проведения симуляции операции на модели (36,4 %), для проведения измерений и расчетов на модели (30,3 %), для припасовки индивидуальных конструкций и др. (15,2 %). Таким образом, используя сочетание автоматизированного проектирования (CAD), высоких медицинских навыков и новейших аддитивных технологий, возможно помочь пациентам с врожденными дефектами, с деформациями после лечения злокачественных опухолей или тем, кто страдает от черепно-лицевых травм различных степеней тяжести, а также травм опорно-двигательной системы, воссоздать эстетические и

функциональные свойства их тел. Опрос хирургов показал, что стереолитографические модели были признаны полезными в 93% случаев их использования. [1]

Изготовление индивидуальных пластиковых медицинских прототипов методом лазерной стереолитографии начинается с получения данных о трехмерной структуре объектов с помощью послойной компьютерной томографии необходимого участка тела пациента. На рисунке 1 показаны примеры томограмм. С помощью специального программного обеспечения, по томографическим данным создается трёхмерная компьютерная модель.

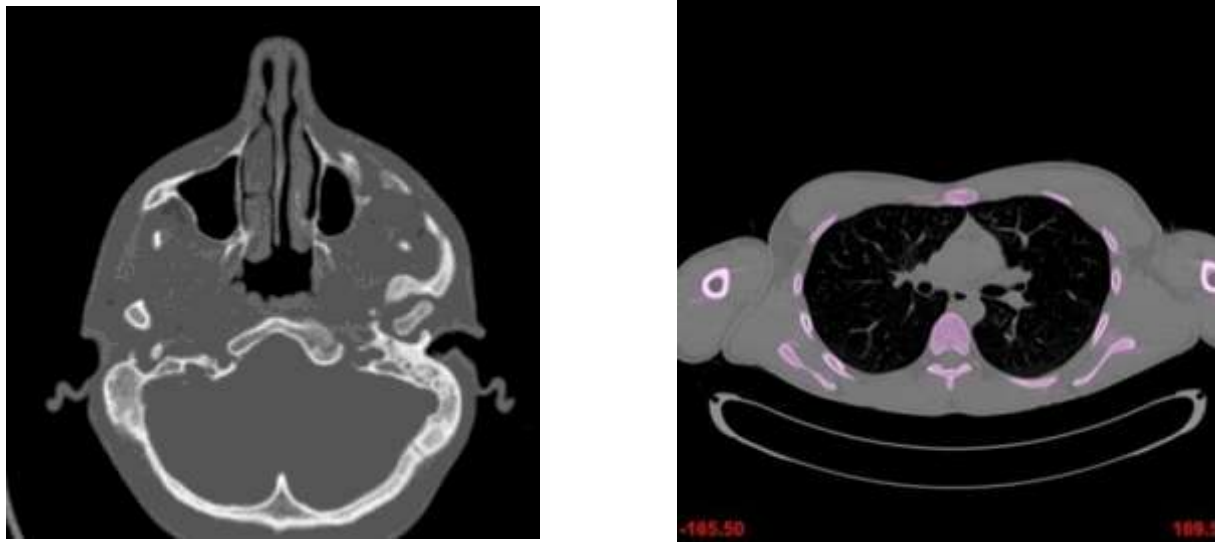


Рис. 1. Примеры томограмм, полученных на компьютерном рентгеновском спиральном томографе в формате DICOM.

Так как для планирования проведения оперативного вмешательства достаточна только необходимая область, то изготовление полной модели нерентабельно, поэтому модель подвергается дополнительной обработке, в ходе которой выделяется и сохраняется нужный фрагмент. Примеры фрагментов компьютерных моделей показаны на рисунке 2.

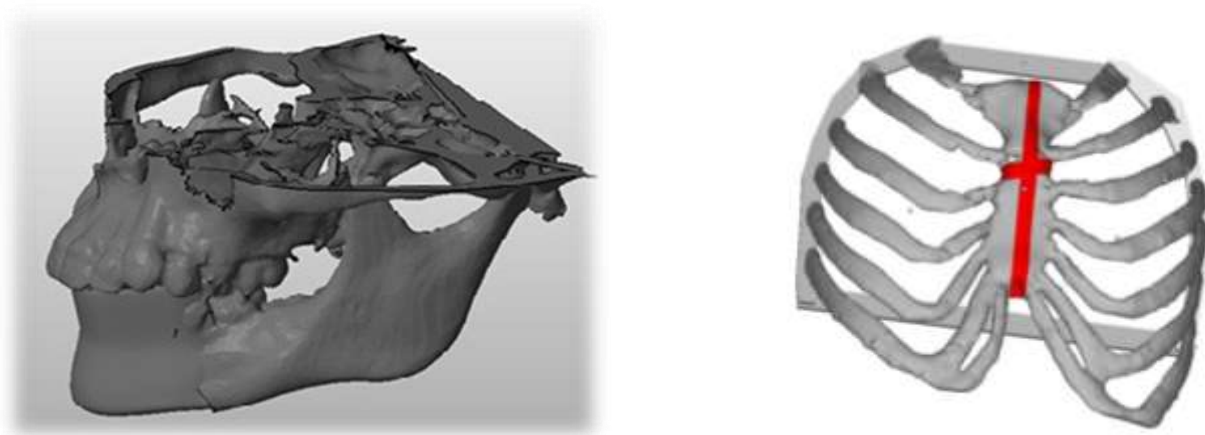


Рис. 2. Фрагменты компьютерных моделей.

Исходной информацией, используемой в установке лазерной стереолитографии, является компьютерная модель трёхмерного объекта в STL-формате, которая представляет собой совокупность ориентированных в пространстве треугольников, без разрывов покрывающих поверхность объекта. Для подготовки компьютерной модели к выращиванию используются специальные программные приложения, например, Magic's (фирмы Materialise).

Обработка модели включает в себя следующие этапы: перевод трёхмерной компьютерной модели в STL-формат, проверка и корректировка STL-файла; размещение модели на рабочей площади платформы; генерация подпорок с автоматическим определением провисающих зон; сечение модели с заданным шагом; просмотр и модификация отдельных сечений. В завершении обработки, построенная трехмерная модель в STL-формате подвергается процедуре сглаживания и производится её позиционирование в рабочей области. [2], [3]

Информация о трёхмерной компьютерной модели передаётся с компьютера предварительной подготовки на компьютер, с помощью которого осуществляется управление работой стереолитографической установки, задаются требуемые технологические параметры, и запускается процесс выращивания, который от начала до конца протекает в автоматическом режиме.

Синтез полимерного изделия заключается в послойном выращивании трехмерного объекта из жидкой фотополимеризующей композиции (ФПК), затвердевающей под действием лазерного луча. Упрощённая схема данного процесса представлена на рисунке 3.

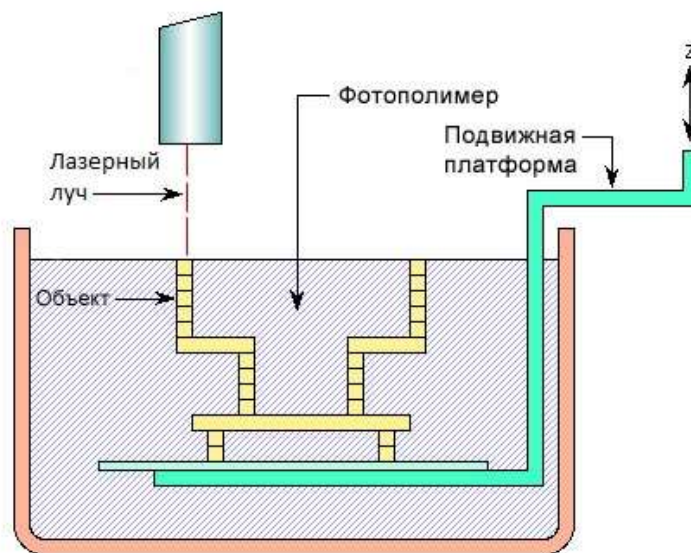


Рис. 3. Схема синтеза полимерного изделия на установке лазерной стереолитографии.

Жидкость заливается в бак, после чего платформа, на которой будет выращиваться модель, переводится в начальное положение, соответствующее поверхности ФПК. Затем лазерный луч последовательно обходит выбранные точки на поверхности материала. Энергия луча лазера приводит к локальной полимеризации и таким образом образует фрагменты будущего изделия. После формирования слоя деталь опускается в бак, и процесс повторяется, пока все слои не будут отработаны. Получившееся пластиковое изделие снимается с платформы выращивания, проходит очистку, в том числе удаление подпорок, высушивается и некоторое время проходит процедуру дополимеризации в специальной камере. Таким образом, получается прототип, готовый к эксплуатации. На рисунке 4 показаны выращенные медицинские прототипы. [2], [4]

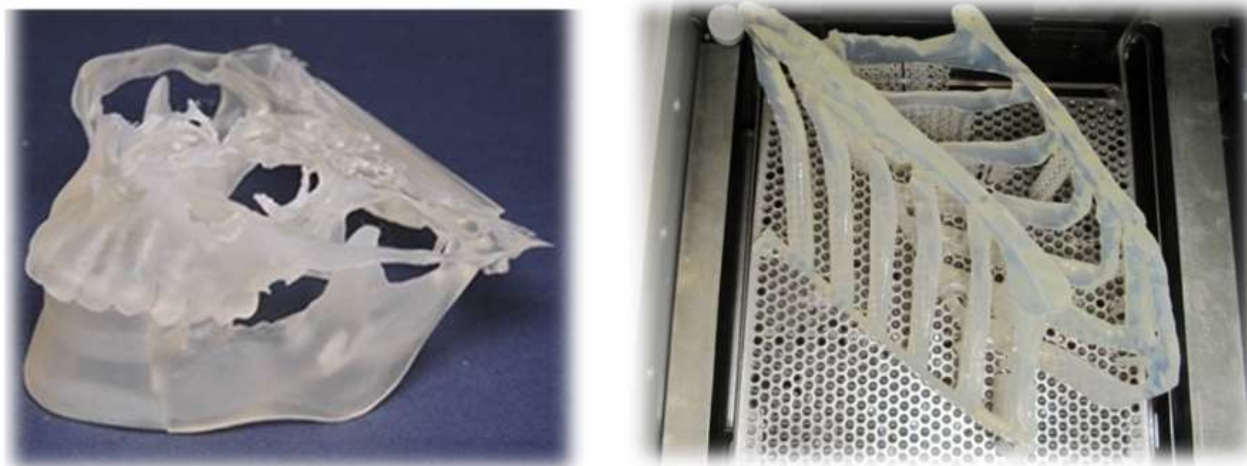


Рис. 4. Пластиковые медицинские прототипы, выращенные на установке лазерной стереолитографии.

Устройство и принцип работы большинства ныне существующих стереолитографов во многом аналогичны: отверждение ФПК осуществляется ультрафиолетовым (УФ) лазерным лучом, который позиционируется при помощи системы перемещения сканаторного типа.

Консервативность в применении лазеров УФ диапазона в большой степени связана со значительными успехами, достигнутыми в создании жидких ФПК. Таким образом, наряду с серийным выпуском установок, налажен и серийный выпуск нескольких видов композиций, способных полимеризоваться под воздействием УФ излучения.

Установки данного типа являются универсальными и могут быть использованы на крупных предприятиях или в специализированных центрах быстрого прототипирования для создания моделей различных типов и габаритов. Но применение таких систем в медицинских центрах или клиниках нерентабельно, поскольку они являются весьма дорогостоящими. Поэтому существует задача создания компактного, узконаправленного и дешёвого стереолитографического оборудования.

Данная задача может быть решена путём замены в стереолитографической установке УФ-лазера на лазер видимого диапазона. Использование лазера с диодной накачкой работающего в зелёном диапазоне (длина волны  $\lambda = 532$  нм), который имеет низкое энергопотребление, сравнительно низкую стоимость, высокую надёжность в течение всего срока службы, высокое качество излучения, малые габаритные размеры и массу, а также различные режимы генерации излучения, позволяет оптимизировать разработку оборудования, снизить его стоимость и избежать ряд проблем, с которыми сталкиваются пользователи традиционных стереолитографов.

Однако зелёное излучение обладает более низкой энергетикой по сравнению с ультрафиолетовым и не способно полимеризовать традиционные ФПК, поэтому до сих пор оно не использовалось в данной технологии. В связи с этим, была разработана ФПК способная с достаточной (для применения в стереолитографии) эффективностью полимеризоваться под воздействием излучения с длиной волны  $\lambda = 532$  нм. Новая композиция позволила уменьшить глубину полимеризации одиночного слоя в воздушной среде до 15 мкм, что в свою очередь повысило разрешающую способность технологии лазерной стереолитографии. [5]

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование данных технических решений позволяет уменьшить габаритные размеры оборудования и повысить ресурс его работы, улучшить экологические и санитарные условия реализации процесса вследствие замены УФ-лазера на лазер видимого диапазона, упростить требования к помещениям, в которых оборудование эксплуатируется, а так же снизить стоимость изготовления установки и получаемых изделий.

В сочетании с традиционными методами сканирования – компьютерной томографией, технология лазерной стереолитографии может быть использована для лучшей трехмерной визуализации и моделирования сложных процедур, что позволяет детально спланировать ход хирургической операции и изготовить предоперационные модели, для подбора и изготовления индивидуальных экзо- и эндо- имплантатов, а также индивидуального операционного инструмента, что соответствующим образом влияет на качество медицинского обслуживания.

Таким образом, применение технологии лазерной стереолитографии для изготовления индивидуальных прототипов является перспективным направлением в медицине, и есть предпосылки к его развитию в будущем.

## Литература

1. Реабилитация детей со сложными синдромами в черепно-челюстно-лицевой области с использованием новых технологий. Режим доступа: <http://medbe.ru/materials/detskaya-stomatologiya-i-chlkh/reabilitatsiya-detey-co-slozhnymi-sindromami-v-cherepno-chelyustno-litsevoy-oblasti-s-ispolzovaniem/> (дата обращения 10.01.16).
2. Малов И. Е., Шиганов И. Н. Основы послойного синтеза трёхмерных объектов методом лазерной стереолитографии: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 40 с.: ил.
3. Разработка технологии и оперативное изготовление трехмерных моделей реальных биологических объектов и операционных полей для проведения испытаний и отработки применения многофункционального манипулятора для роботоассистенции в высокоточной хирургии. ИПЛИТ РАН. - 42 с.
4. Лазерная стереолитография (SLA). Режим доступа: <http://3dpr.ru/lazernaya-stereolitografiya-sla> (дата обращения 11.01.16).
5. Малов И. Е. Высокоточные технологии быстрого прототипирования [Текст] / И. Е. Малов // Образование и наука в современных условиях : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 09 окт. 2015 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – № 4 (5). – С. 204–208. – ISSN 2412-0537.