

## **Бамбук как объект биомиметического моделирования**

Направление «Инженерные исследования»

**Выполнили:**

учащаяся ОГБОУ «Лицей № 9»

Перекрестова Вера

**Руководители:**

к.т.н., доцент, доцент кафедры

СМИиК БГТУ им. В.Г. Шухова

Елистраткин М.Ю.

к.т.н., учитель физики

ОГБОУ «Лицей № 9»

Поленова Ю.Е

## Введение

Биомиметика, наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы, привлекает сегодня большое количество исследователей.

Сегодня существует большая потребность в новых конструкционных материалах, которые имеют малый вес, но обеспечивают исключительное сочетание жесткости, прочности и ударной вязкости. В классической задаче проектирования прочность и ударная вязкость, скорее всего, будут взаимоисключающими, т. е. прочные материалы хрупкие, а жесткие материалы слабые. Однако природные материалы со сложными и иерархическими градиентами материалов, которые варьируются от нано - до макромасштабов, одновременно прочны и упруги. Поэтому перспективным потенциалом обладают биомиметические материалы, которые воспроизводят и имитируют такие природные системы.

Кость, перламутр, зубная эмаль и бамбук являются отличными примерами материалов, устойчивых к повреждениям. Для получения материалов с костной структурой и перламутроподобных материалов сегодня уже предложено множество методов обработки. Информации о моделировании структуры бамбукового стебля нам найти не удалось.

Именно поэтому целью нашего проекта стала разработка биомиметической модели бамбука и исследование ее механических свойств.

Для достижения поставленной цели в ходе работы над проектом были поставлены следующие задачи:

1. Изучить механические свойства бамбука и его структуру.
2. Подобрать материал и технологию изготовления модельных образцов.
3. Разработать биомиметическую модель бамбука, провести симуляцию исследования ее механических свойств.
4. Получить образцы с использованием аддитивных 3-D технологии, исследовать их основные механические свойства и оценить перспективы применения биомиметической модели бамбука.

## **Механические свойства бамбука и его структура**

Ствол бамбука полый, состоит из нескольких десятков замкнутых цилиндрических отсеков, которые разграничены межузловыми диафрагмами, расположенными в местах наружных утолщений в виде колец – «суставов» (прил.1, рис. 1). Толщина стенок ствола пропорциональна наружному диаметру и составляет в среднем 0,1 от внешнего диаметра. Размеры стволов бамбука колеблются по диаметру от 8 см до 20 см и по длине 6 – 7 метров.

Макроструктура бамбука имеет три части: внешний слой бамбука, основные ткани и внутренний слой. Строение бамбука имеет вид, показанный на рис.2, прил.1.

Внешний слой бамбука можно охарактеризовать такими свойствами, как плотность, твердость, прочность и высокий модуль упругости, т.е. его механические свойства схожи со стеклопластиком. Бамбуковый внутренний слой имеет небольшое количество сосудистых пучков, более тонкостенные клетки. За исключением небольшого количества сосудистых пучков они обеспечивают более высокую прочность, другие же свойства бамбука похожи на дерево. Механические характеристики бамбука, полученные американскими исследователями в результате испытаний, в 2005 году приведены в таблице 1, прил.1. На диаграмме (прил.1, рис.3) приведена сравнительная характеристика бамбука, стали и древесины.

Установлено, что древесина бамбука сравнима со сталью в испытаниях на прочность и прочнее дерева или бетона. Что касается жесткости, цельный бамбук опять же может быть прочнее бетона, стали или дерева в несколько раз. Так же у бамбука поверхностная прочность на растяжение, в межузловых сечениях прочнее стали (582 МПа против 350 МПа).

К достоинствам бамбукового стебля можно также отнести тот факт, что он обладает сравнительно высокой вязкостью разрушения (прил.1 рис. 4). А значит, оптимально сочетает такие свойства как прочность и эластичность.

## Подбор материала и технологии изготовления модельных образцов

Построение биомиметической модели полностью повторяющей микроструктуру бамбука является сложной технической задачей. Микроструктура среза бамбукового стебля, состоящая из множества ячеек разных форм и размеров, представлена на рис. 5, прил. 1.

Модель, реализованная в нашем проекте, построена со значительными пренебрежениями. Упрощенная структура бамбукового стебля, выбранная для моделирования представлена на рис. 1.

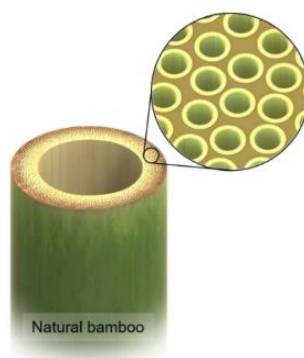


Рис. 1. Модель структуры среза бамбука

Воспроизвести структуру, подобную изображенной на рис.1 возможно, используя технологию 3D – печати.

Существующие сегодня технологии аддитивного производства довольно разнообразны и применимы для работы с различными материалами. Мы остановили свой выбор на FDM-печати, подразумевающей поочередное наплавление слоев термопластичного PETG пластика. Полиэтилентерефталат-гликоль (PETG) считается хорошим компромиссом между ABS и PLA, двумя наиболее часто используемыми пластиками для 3D принтеров. Их сравнительная характеристика приведена в таблице 2 (приложение 1).

Несмотря на высокий уровень прочности и ударной вязкости PETG, достаточно эластичен и гибок, имеет низкую усадку, не имеет запаха во время печати, устойчив к воздействию солнца.

Полиэтиленфталат (ПЭТ) является наиболее часто используемым пластиком в мире (материал для бутылок для воды), что позволяет рассмотреть возможность использования вторичного сырья для производства материалов с исследуемой структурой.

## **Симуляция исследования механических свойств биомиметической модели бамбука**

Первым этапом изготовления экспериментальных образцов стало их моделирование в программе Fusion 360. Autodesk Fusion 360 – это средство 3D-проектирования и разработки изделий на основе облачных технологий, в котором сочетаются возможности совместной работы, цифрового проектирования и механической обработки в одном пакете. В результате были разработаны образцы 2-ух типов. Один, воспроизводящий упрощенную структуру бамбука, другой контрольный, в виде толстостенной трубы. Образцы предполагают одинаковый расход материала, имеют одинаковую длину и площадь поперечного сечения, как показано на рис. 2.

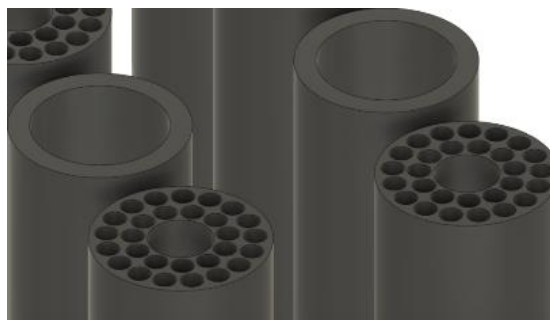


Рис. 2. Разработанные модели образцов с трубчатой структурой и целой

Размеры моделей рассчитывались с учетом возможностей 3D принтера и оборудования, для измерения механической прочности, которые были использованы для проведения реального эксперимента.

На следующем этапе исследования, мы сравнили механические свойства биомиметической модели и контрольного образца, проведя ряд симуляций. Были измерены деформации моделей под боковой нагрузкой (испытание на

излом) 100000 Н и нормальной (пресс) - 10000 Н. Результаты испытаний представлены на рис. 6-9, прил.1.

Анализ результатов симуляции не выявил значительных отличий в деформациях образцов различной структуры. Величина деформации под действием боковой нагрузки составила 35,59 мм и 35,39 мм у структурированной модели и контрольного образца соответственно. Деформация обоих образцов под действием нормальной нагрузки также оказалась примерно одинаковой и равной 1,7 мм.

### **Исследование механической прочности образцов**

Для исследования механических свойств разработанной модели были напечатаны образцы из PETG пластика в виде трубок диаметром 3 см и длиной 10 см, а так же контрольные образцы той же массы и размера в виде толстостенных трубок (прил.1, рис 10.).

Измерение предела прочности образцов при сжатии и изгибе производилось с использованием испытательной машины с максимальной нагрузкой до 16 тонн, в лаборатории кафедры СМИК БГТУ им. В.Г. Шухова (рис.3).



Рис. 3 Измерения на испытательной машине

Полученные результаты представлены в таблице 1 и 2 соответственно.

Таблица 1.

Разрушающая нагрузка (пресс сверху), кН		
Вид образца № образца	Образец со структурой бамбука	Контрольный образец
1	13,7	13,4
2	14	14,3
3	13,5	14,2
4	13,8	13,5
Среднее	13,8	13,8

Таблица 2.

Разрушающая нагрузка (изгиб), кН		
Вид образца № образца	Образец со структурой бамбука	Контрольный образец
1	2,3	2,7
2	1,8	2,4
3	2,2	2,6
4	1,9	2,4
Среднее	2,1	2,5

Анализ полученных результатов показывает, что образец с трубчатой структурой не демонстрирует преимущества в прочности на сжатие, а предел упругости контрольного образца оказался на 16 % выше предела упругости структурированного.

Наиболее интересными оказались результаты испытаний образцов ударной нагрузкой при помощи копёра свободного падения (рис. 4).



Рис. 4. Испытания на копёре свободного падения

Для проведения испытаний ударной нагрузкой геометрия образцов была изменена (прил.1, рис. 11).

Анализ результатов испытаний показал, что несмотря на то, что значительные дефекты в образцах возникали при ударе примерно одинаковой силы (таблица 3), характер повреждений оказался различным.

Таблица 3

Высота сброса груза, приводящая к возникновению значительных повреждений образцов, см.		
Вид образца № образца	Образец со структурой бамбука	Контрольный образец
1	35	30
2	28	28
3	20	22
4	23	23
Среднее	27	26

Образец со структурой бамбука сохранял целостность, в то время как контрольный образец, полностью разрушался (рис.5).



Рис. 5. Образцы после воздействия ударной нагрузки

## Выводы

Сегодня существует большая потребность в новых конструкционных материалах, легких, но обеспечивающих исключительное сочетание жесткости, прочности и ударной вязкости. Сочетающие такие свойства, природные



материалы существуют. А многослойная 3D-печать может быть использована для имитации сложной природной архитектуры, предоставляя тем самым огромные возможности для исследований.

В ходе работы над проектом, мы исследовали потенциал бамбука, как объекта биомиметического моделирования.

Разработали модель по структуре напоминающую бамбук и провели симуляцию исследования ее механических свойств.

С использованием 3 D - печати получили образцы и исследовали их механические свойства, такие как прочность на сжатие, прочность на изгиб. Оценили устойчивость модели к ударным нагрузкам.

Результаты исследования не выявили преимуществ модели бамбука по прочности на сжатие и изгиб перед контрольным образцом, однако тот факт, что воздействие ударных нагрузок не приводило к полному разрушению структурированного образца, позволяет охарактеризовать биомиметическую модель бамбука, как перспективную для дальнейших исследований.

Материал с подобной структурой мог бы быть использован при изготовлении изделий подвергающихся точечной ударной нагрузке. Например, защитных щитов на ледовых аренах, заграждений вдоль дорог или береговой линии, некоторого спортивного инвентаря.

Важную роль играет и возможность изготовления материалов с предложенной структурой в процессе переработки вторичного сырья (дешевого и доступность пластика).

### **Список используемых источников:**

1. <https://3d-m.ru/petg-что-это-за-пластик/>
2. [https://www.researchgate.net/figure/fig-3-The-SEM-images-showing-the-microstructure-of-the-cross-section-of-woodbamboo-and\\_fig2\\_323110308](https://www.researchgate.net/figure/fig-3-The-SEM-images-showing-the-microstructure-of-the-cross-section-of-woodbamboo-and_fig2_323110308)
3. <https://www.bamcore.com/bamboo-info/>
4. <https://www.sbcmag.info/news/2020/jan/can-structural-bamboo-replace-steel-constructionsoon#:~:text=Yes%2C%20bamboo%20is%20stronger%20than,noticeabl>

[e%20lead%20at%2028%2C000%20pounds.&text=And%20yes%2C%20bamboo%20is%20stronger,packed%20molecular%20structure%20than%20steel](#)

5. Шимкин, Ф.И. Изменение физико-механических свойств древесины бамбука Мосо с целью предотвращения ее растрескивания / Ф. И. Шимкин // диссертация, Воронеж, - 1987
6. Яо, Вэй. Экспериментальные исследования элементов узлового соединения стержневой конструкции из бамбука / Вэй Яо, А. Б. Шмидт // Вестник гражданских инженеров. СПб, - 2013, -№6(47), - С. 77-83.
7. Ма Цзяньфэн Бионический дизайн столбчатой структуры на основании микроскопического строения бамбука / Цзяньфэн Ма, Уи Чэнь, Линь Чжао, Дахай Чжао // Издательство Механическое Проектирование, - Пекин. – 2012., - №12.)