

## **ОТЗЫВ**

**на автореферат диссертации Львова Владислава Александровича  
«Структура и физико-механические свойства биомедицинских  
метаматериалов с отрицательным коэффициентом Пуассона»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-  
математических наук по специальности: 1.3.8. «Физика  
конденсированного состояния»**

Актуальность исследования следует из необходимости разработки межтеловых спинальных кейджей для возмещения дефектов позвоночного столба. Острая необходимость в возмещении дефектов объясняется развитием опухолевых процессов и межпозвоночных дисков вследствие травмы или возрастных изменений, которые могут привести к дегенерации межпозвоночных дисков и как следствие к инвалидности. Рассматривая межтеловые кейджи, как наиболее распространённый метод реконструкции межпозвоночных дисков, то согласно клиническим исследованиям: в 12% случаев отмечалась миграция кейджа и в 5% полное разрушение кейджа, которое вызвано эффектом «экранирования напряжений». Для решения выявленных проблем в области биомедицины и разработки медицинских изделий выделяются ауксетические метаматериалы, формируемые методами 3D-печати и лежащие в их основе сотовые структуры, обладающие возможностью оптимизации биомеханических характеристик и потенциальным использованием в межтеловых кейджах. Оптимизация механических характеристик ауксетиков может достигаться за счет корректировки геометрии элементарной ячейки ауксетика. Геометрия образующая ауксетические метаматериалы может сыграть важную роль в варьировании механических свойств спинальных межтеловых кейджей, потенциально снижая эффект экранирования напряжений и увеличения срока службы изделия. В своей работе автор ставит целью исследование связи между механическими и параметрическими характеристиками ячеек ауксетического метаматериала и сотовой структуры для увеличения функциональности спинальных межтеловых кейджей, полученных методом 3D-печати.

Работа, состоит из введения, 7 глав, включая аналитический обзор литературы, исследований и выводов.

Львовым В.А. были приведены основные типы ауксетических метаматериалов. Рассматриваются модели упругой деформации и влияние геометрических параметров на свойства сотовой структуры и ауксетика. Приводится обзор роли ауксетиков в создании различного рода медицинских изделий. Сформулированы принципы проектирования изделия медицинского назначения на основе ауксетического метаматериала с использованием компьютерного, твердотельного параметрического моделирования и 3D-печати. В ходе исследований была разработана расчетная модель для определения смещений в трехмерных, а также проведены исследования механических характеристик

ауксетического метаматериала и сотовой структуры на основе фотополимерной смолы, ТПУ (термопластичный полиуретан), АБС и AlCu11Mn. По результатам исследований было установлено, что ауксетические метаматериалы имеют повышенные механические характеристики (прочностные и усталостные характеристики), по сравнению с сотовой структурой. В заключительной, 7 главе автором представлены результаты механических испытаний прототипов кейджей на основе ячеек ауксетика и сотовой структуры в сравнении с упрощенным кейджем коробчатого типа. Образцы со структурой типа сот, полученные по технологии 3D-печати методом SLM из сплава Ti-6Al-4V, продемонстрировали худшие прочностные характеристики по сравнению с другими типами образцов. В то же время, в образцах на основе ауксетика и в упрощенном коробчатом кейдже не наблюдалось видимых разрушений. Результаты малоцикловых усталостных испытаний показали, что кейдж со структурой ауксетика не разрушился после 3500 циклов, достигнув нагрузки 14 кН (как и кейдж коробчатого типа). Автореферат полностью отражает суть и объем диссертационной работы. Положения, выносимые на защиту и выводы соответствуют поставленным цели и задачам, обоснованы и аргументированы полученными результатами в ходе исследования.

В качестве замечания стоит отметить, что описание и анализ механических и усталостных свойств, спроектированных на основе ауксетического метаматериала и сотовой структуры кейджей, приводится без учета реальной пористости материалов, которая вносит существенный вклад в механическое поведение.

**Заключение.** Представленная диссертация «Структура и физико-механические свойства биомедицинских метаматериалов с отрицательным коэффициентом Пуассона» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС", а ее автору, Львову Владиславу Александровичу может быть присвоена ученая степень кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

Ведущий научный сотрудник, доцент,

Каф. Обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС»,

Кандидат технических наук

Шереметьев Вадим Алексеевич



Подпись: Шереметьев В.А.  
М.п. на отдел кадров НИТУ «МИСиС»  
Масленникова И.В.  
« 33 » 12 2022г.

