

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Абрамова Андрея Александровича
«Процессы и аппараты 3D-печати изделий медицинского назначения»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 2.6.13 «Процессы и аппараты химических
технологий»**

Актуальность исследования состоит в развитии процессов трехмерной печати для расширения области применения аддитивных технологий, одной из таких областей является медицина. Биомедицинские приложения изделий, полученных с помощью аддитивных технологий, не ограничиваются внешними конструкциями, активно развиваются направления по 3D-печати имплантируемых изделий, одним из востребованных способов печати является экструзия материалов. Таким образом, разработка новых технологий и устройств трехмерной печати является приоритетным направлением развития для получения индивидуализированных медицинских изделий.

Работа состоит из введения, 5 глав и заключения.

Абрамовым А.А. рассмотрен процесс получения гибридного имплантата костной ткани на основе каркаса из термопластичного полимера, заполненного высокопористым материалом на основе биополимеров. Произведена оптимизация параметров 3D-печати каркаса на основе полилактида, а также структуры каркаса путем варьирования геометрии внутреннего заполнения. В результате расчета механических свойств в Ansys Mechanical автором установлено, что оптимальной геометрией внутреннего заполнения для обеспечения прочностных свойств каркаса, соответствующих свойствам кости, является гироидная поверхность. На основании результатов КТ автором предложен алгоритм проектирования геометрии твердого каркаса. Были подобраны условия получения высокопористых материалов на основе альгината натрия и желатина, продемонстрировано получение материала с высокой площадью поверхности и отсутствием цитотоксичности. На основе

этих разработок предложена технология получения персонализированных гибридных имплантатов и получен экспериментальный образец. Автором разработаны конструкция установки 3D-печати, программное обеспечение и чернила на основе частично сшитого альгината натрия. Представлена методика получения вязких чернил и проведено исследование их реологических свойств, на основе которых оптимизированы условия процесса печати. Автором разработана математическая модель течения неньютоновской вязкой жидкости в канале сложной геометрии при нестационарном потоке, позволившая предложить подход к проектированию канала с целью устранения застойных зон. Таким образом, была разработана геометрия канала для равномерного движения потока неньютоновской вязкой жидкости и получен персонализированный имплантат сосуда. Автором разработана технология 3D-печати, использующая в качестве среды, в которой формируется изделие, гетерофазной системы на основе желатина. Изучено влияние добавления графена и многослойных углеродных нанотрубок на реологические свойства чернил, осуществлена 3D-печать наполненных чернил в гетерофазную систему. Автором были исследованы условия стерилизации высокопористых материалов на основе биополимеров методом сверхкритической флюидной стерилизации, для осуществления которой была разработана схема и конструкция установки. На основе оценки эффективности стерилизации установлено отсутствие стерилизующего эффекта диоксида углерода, однако показана возможность стерилизации пероксидом водорода не нарушающей внутреннюю структуру изделия. На основе разработанной установки предложена математическая модель процесса сверхкритической стерилизации, представляющая собой систему дифференциальных уравнений, описывающих процессы тепло- и массопереноса. Разработанная модель позволила оценить параметры проведения процесса стерилизации. Положения, выносимые на защиту, и выводы соответствуют поставленным цели и задачам, обоснованы и аргументированы полученными результатами.

В качестве замечаний стоит отметить, что в 2 главе упоминается формирование высокопористых материалов, однако отсутствуют значения пористости и фотографии микроструктуры. В 5 главе отмечается отсутствие стерилизующего эффекта сверхкритического диоксида углерода, однако не установлены причины этого явления. Кроме того, не обосновано использование в качестве стерилизующего агента изопропилового спирта с концентрацией 100%, тогда как это значение не является оптимальной концентрацией для стерилизации.

Заключение. Представленная диссертация «Процессы и аппараты 3D-печати изделий медицинского назначения» соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103ОД. Абрамов А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

К.ф.м.н., Директор Института
Биомедицинской инженерии

Сенатов Ф.С.

«18» 03 2024

НИТУ МИСИС

Ленинский пр.4с.1

Senatov@misis.ru



Подпись _____
заверяю

Сенатова Ф.С.

Зам. начальника
отдела кадров

Кузнецова А.Е.

«18» 03 2024 г.