

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПИРАЛЬНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ С ДИСЛОКАЦИЕЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ОТ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА*Н.С. БЕРДНИКОВ, Д.А. ШКИТОВ*

Томский политехнический университет

E-mail: nsb20@tpu.ru

Введение. Исследования последних 30 лет показали, что излучение с винтовым волновым фронтом (иногда называемое «закрученным» [1]) открывает новые возможности и инструменты для изучения свойств материи и передачи информации. На базе микротрона ТПУ ведется подготовка к исследованиям по генерации «закрученного» излучения в ГГц диапазоне частот [2, 3]. Одним из этапов подготовки является проектирование и изготовление спиральной мишени [4], которая послужит источником «закрученного» излучения.

Проектирование мишени. Первым этапом проектирования спиральной мишени стало создание трёхмерной (3Д) модели данной спирали. С этой целью на базе системы компьютерной математики Wolfram Mathematica был написан код (первоначальная версия скрипта дана в [5]), позволяющий создавать 3Д модель спиральной мишени с задаваемыми параметрами: внутренний и внешний радиусы спирали, толщина спирали, шаг спирали, направление закрутки спирали и количество витков спирали, рисунок 1 а (см. для примера). Также данный код позволяет конвертировать созданную 3Д модель в формат STL, широко применяемый в аддитивных технологиях. В основе кода лежит внутренняя функция ParametricPlot3D, позволяющая создавать объекты по параметрическим уравнениям кривой. Для создания спиральной мишени применяется система параметрических уравнений винтовой поверхности геликоида [6]. В дальнейшем, после создания тестовых образцов спиральных мишеней, в 3Д модель были внесены изменения – в программе Blender [7] к модели были добавлены элементы прямоугольного сечения, рисунок 1 б, исполняющие роль поддержек для устранения возможных аксиальных искажений (вдоль центральной оси спирали) геометрии спиральной мишени.

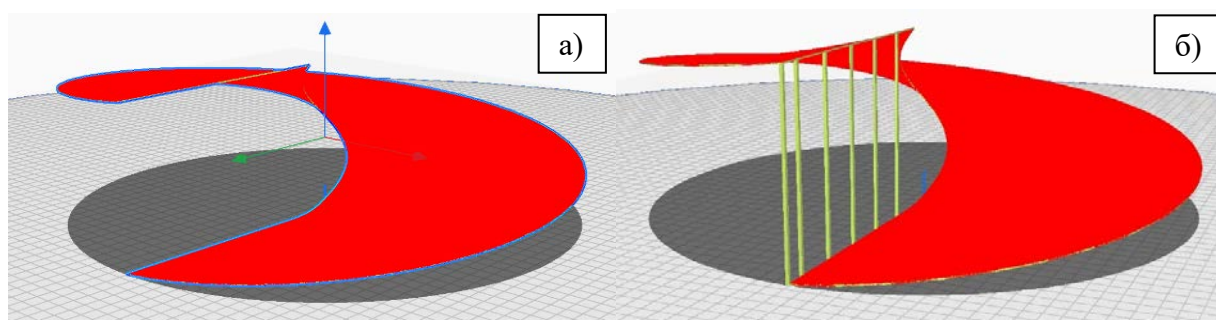


Рисунок 1 – Модель спиральной мишени с отсутствующими (а) и присутствующими (б) аксиальными поддержками

Изготовление мишени. Важным критерием изготовления спиральной мишени является соблюдение строгой аналитической поверхности, в особенности аксиальных параметров поверхности, нарушения в которых может существенно исказить ожидаемые параметры генерируемого излучения. Также важным критерием является шероховатость поверхности – следует исключить любые неровности поверхности для «чистоты» генерируемого излучения. Изготавливать мишень необходимо из хорошо проводящего материала, либо же из материала, на который в последствии будет нанесено металлическое покрытие. Данное требование выдвинуто для генерации «чистого» дифракционного излучения без вклада излучения Вавилова-Черенкова. Для проведения эксперимента на микротроне ТПУ спиральная мишень должна обладать следующими параметрами: внешний диаметр – 300-350 мм, внутренний

диаметр – 20 или 30 мм, шаг спирали – целочисленные доли или кратный 114 мм, толщина спирали – 1 мм (предпочтительно) [8].

После создания 3Д моделей были предприняты попытки создания тестовых образцов спиральных мишеней различных диаметров (350 и 100 мм) из металла методом селективного лазерного плавления (SLM) [9] с привлечением сторонних исполнителей, однако из-за малой толщины и сложной геометрии мишени они отказались от изготовления данных изделий. После этого было решено изготовить тестовые образцы мишеней из пластика методом послойного наплавления (FDM) [10], поскольку данный метод широко распространен в сфере аддитивных технологий. На базе ТПУ было напечатано два тестовых образца: 1-ый образец толщиной 2 мм, с диаметрами 100 мм/20 мм и шагом спирали 57 мм из PETG пластика на принтере Flashforge Creator 3 [11] в горизонтальном положении, рисунок 2 а, при 100 % заполнении, 2-ой образец тех же размеров из PLA пластика на принтере 3DQ Prism Pro [12] в вертикальном положении, рисунок 2 б, при 50 % заполнении. При печати мишени горизонтально автоматически были созданы поддержки, удаление которых привело к образованию неровностей и шероховатостей на поверхности мишени с нижней стороны. При вертикальной печати было создано меньше поддержек, что упростило их удаление, и гладкость образца была выше. В дальнейшем на заказ был напечатан 3-ий тестовый образец мишени толщиной 1 мм и диаметрами 100 мм/30 мм методом стереолитографии (SLA) [13] из фотополимерной смолы ABS-Like, по своим характеристикам схожей с ABS пластиком, на принтере Anycubic Photon Mono 4 [14], рисунок 2 в. Шероховатость образца получилась наименьшей, но без дополнительных поддержек образец выгнуло и шаг спирали стал ~36 мм. На основании данных трёх попыток создания тестовых образцов были сделаны выводы, что 3Д модель мишени требует создания специальных поддерживающих элементов, рисунок 1 б, не сгенерированных программой принтера, для устранения искажений в геометрии мишени.

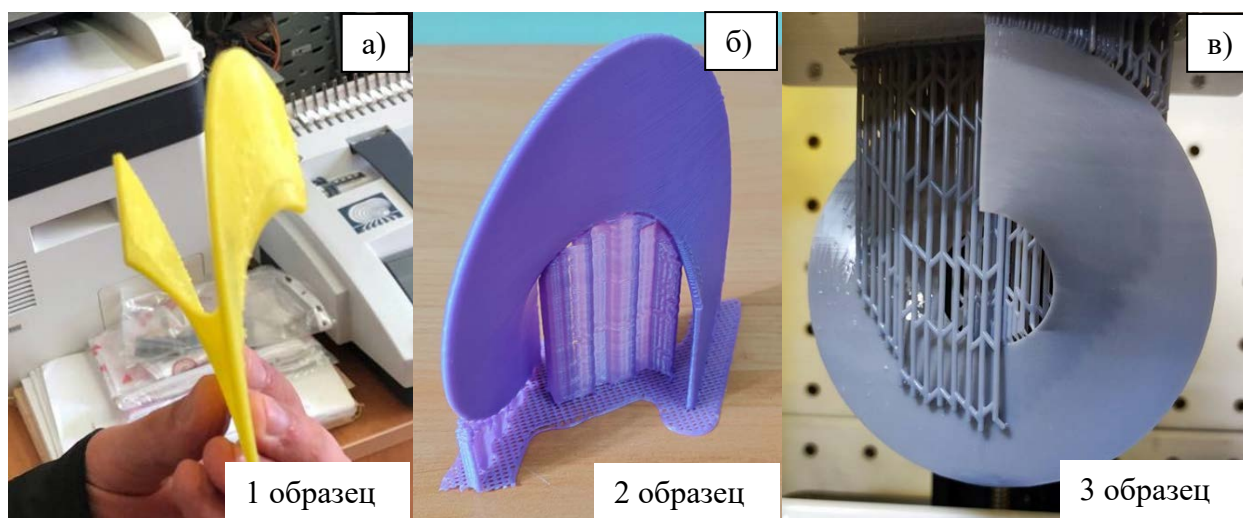


Рисунок 2 – Тестовые образцы мишеней, изготовленные методом FDM (а, б) и SLA (в)

Заключение. Таким образом в ходе проведенной работы был описан процесс моделирования спиральной мишени в программах Wolfram Mathematica и Blender, а также описан опыт изготовления тестовых образцов спиральных мишеней при помощи технологий аддитивного производства FDM и SLA. Результаты работы показали, что испытанные технологии позволяют создать физическую модель с соблюдением аналитической поверхности, однако шероховатости поверхности модели и небольшие искажения в геометрии, обусловленные процессом создания, требуют обсуждения и поиска решения по минимизации их вклада в результаты будущего эксперимента. Также в дальнейшем планируется изготовить мишень с присутствующими аксиальными поддержками с

необходимыми для проведения эксперимента параметрами, а также изучить и испытать альтернативные методы аддитивного производства, способные заменить уже опробованные.

Список литературы

1. Сербо В. Закрученные фотоны, электроны и нейтроны как новые инструменты исследований в физике // Ядерная физика в Интернете [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nseminar/сербо.pdf>. – 10.10.2023.
2. Лаппо М.А., Бердников Н.С., Шкитов Д.А. Разработка моделей в CST Studio Suite для моделирования поляризационного излучения // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник трудов XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 7-ми томах, Томск, 26-29 апреля 2022 года. – Томск: НИ ТПУ, 2022. – С. 116-118. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49376841>
3. Бердников Н.С., Шкитов Д.А., Шевелев М.В. Подготовка к эксперименту по исследованию закрученного излучения на микротроне ТПУ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции, г. Томск, 07-09 сентября 2022 г. – Томск: Ветер, 2022. – С. 82-83. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/74547>
4. Бердников Н.С., Григорьева А.А., Шкитов Д.А. Поиск технологий по созданию спиральных мишеней для генерации излучения с винтовым волновым фронтом от электронного пучка // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 7-ми томах, Томск, 25-28 апреля 2023 года. – Томск: НИ ТПУ, 2023. – С. 66-68. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54398363>
5. Tilted Helicoid // Wolfram Demonstrations Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://demonstrations.wolfram.com/TiltedHelicoid/>. – 09.10.2023.
6. Виноградов И.М. Математическая энциклопедия. – 1 изд. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – 1152 с.
7. Blender [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.blender.org/>. – 15.10.2023.
8. Дышеков А.А. Моделирование свойств "закрученного" излучения, генерируемого электронами от спиральной мишени / А. А. Дышеков; науч. рук. Д. А. Шкитов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 17-20 февраля 2020 г., г. Томск. — Томск: Изд-во ТПУ, 2020. — [С. 35-36].
9. Как работают 3D принтеры по металлу // 3DTool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/kak-rabotayut-3d-printery-po-metallu-obzor-slm-i-dmls-tekhnologiy-additivnoe-proizvodstvo-3d-pechat/>. – 23.05.2023.
10. Технологии 3D-печати // Losprinters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://losprinters.ru/articles/tehnologii-3d-pechati/>. – 09.10.2023.
11. Flashforge Creator 3 // Цветной мир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cvetmir3d.ru/3d-printery/domashnie/flashforge/3d-printer-flashforge-creator-3/>. – 15.10.2023.
12. 3DQ Prisma Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lider-3d.ru/catalog/3d_printery/3d_printer_3dq_prism_pro_v2/. – 15.10.2023.
13. Стереолитография (SLA) // 3D Today [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/SLA_print – 09.10.2023.
14. Anycubic Photon Mono 4K // Anycubic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://anycubic3d.ru/mono-4k>. – 19.10.2023.