

УДК 004.94

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ В CST STUDIO SUITE ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**М.А. Лаппо, Н.С. Бердников, Д.А. Шкитов

Научный руководитель: к.ф.–м.н. М.В. Шевелёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mal19@tpu.ru](mailto:mal19@tpu.ru)**THE MODELS DEVELOPMENT IN CST STUDIO SUITE FOR POLARIZATION RADIATION  
SIMULATION**M.A. Lappo, N.S. Berdnikov, D.A. Shkitov

Scientific Supervisor: PhD M.V. Shevelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [mal19@tpu.ru](mailto:mal19@tpu.ru)

***Abstract.** Development of the target models in CST for “twisted” polarization radiation simulation is performed. The spectral range of radiation for TPU microtron conditions is evaluated for developed targets.*

**Введение.** Поляризационное излучение (ПИ) возникает в результате динамической поляризации атомов вещества кулоновским полем заряженной частицы [1]. На практике различные виды ПИ чаще всего используются для диагностики параметров пучков заряженных частиц, и реже, в качестве источника электромагнитного излучения. Недавно было предложено использовать ПИ от сгустка со спиральным распределением частиц для дальнейшей регистрации «закрученного» излучения [2]. Мы же предлагаем использовать спиральную мишень для генерации «закрученного» излучения [3]. Более подробно о «закрученности» – об этой новой степени свободы излучения, можно прочитать в обзоре [4]. Проведение эксперимента планируется на микротроне ТПУ [5]. Целью данной работы является разработка модели спиральных мишеней для проведения моделирования процесса генерации ПИ в CST, и оценить спектральные характеристики излучения для параметров микротрона ТПУ.

**Методы исследования.** Моделирование является одним из основных инструментов в науке. Для проведения исследований по генерации ПИ электронным пучком на микротроне ТПУ необходимо специализированное программное обеспечение (ПО). Мы остановили свой выбор на CST Studio Suite [6]. Пакет CST это комплекс вычислителей, предназначенный для трёхмерного электромагнитного моделирования объектов разнообразной формы, который ранее уже использовался для моделирования ПИ [7–9]. В процессе проектирования устройств с помощью CST, конструкции в трехмерном представлении создаются с помощью черчения простейших геометрических форм и выполнения логических операций над ними. Данное ПО позволяет провести моделирование взаимодействия заряженных частиц с мишенями различной геометрии и различными свойствами. Для процесса моделирования потребуется ряд вычислителей: метод частиц в ячейках (Particle-in-cell) – необходим для моделирования задач распространения заряженных частиц во временной области; вычислитель

наведених полів (Wakefield) – призначений для отримання та подальшого аналізу кильватерних полів; вичислювач трекінга (Particle Tracking) – виконує моделювання траєкторії заряджених частинок; вичислювач у часовій області (Time domain) – моделює розповсюдження електромагнітного поля в часі та просторі.

**Результати.** Для проведення моделювання реальних серед потрібно врахувати властивості матеріалів. Попередньо моделювані мішені будуть виготовлені з міді. В бібліотеці матеріалів CST запропоновано вибір з двох видів міді: отожженої (annealed) та чистої (pure), які незначительно відрізняються значенням електричної удільної провідності ( $5.8 \cdot 10^7$  1/Ом·м та  $5.96 \cdot 10^7$  1/Ом·м, відповідно). Відносна магнітна проникність дорівнює 1, інші параметри у них однакові. Оцінка товщини скин-шару для двох видів міді дорівнює  $\sim 0.65$  мкм для 10 ГГц. Таким чином, вибрана товщина мішеней  $\Delta h = 1$  мм заздалегідь більше товщини скин-шару. Це вимагається при проведенні моделювання, що враховує проникнення електромагнітного поля в метал (тип матеріалу в CST: метал з урахуванням втрат – lossy metal).

На рис. 1(а) зображено схему експерименту, за допомогою якої планується зареєструвати закрученне випромінювання та визначити ступінь «закрученості». На даному етапі роботи були створені геометричні моделі металевих мішеней (див. рис. 2) з заданими властивостями з метою реалізації запропонованої схеми експерименту та оцінки діапазону спектра випромінювання (див. рис. 1(б)) для енергій електронів мікротрона 2,5...5,7 МэВ.

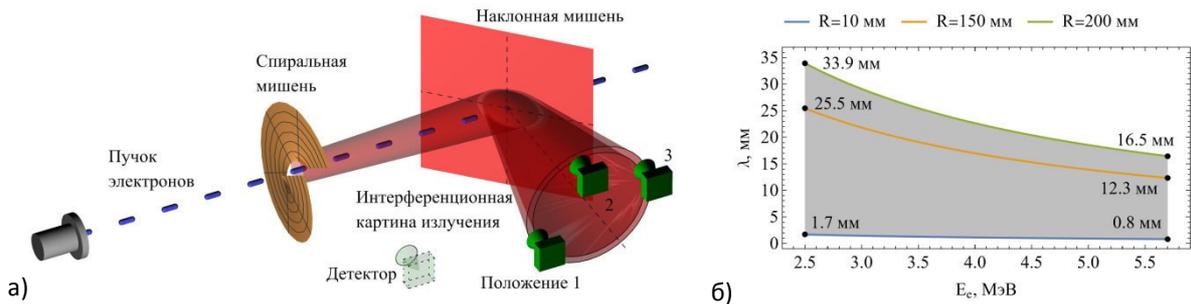


Рис. 1. Схема реєстрації випромінювання (а), оцінка діапазону спектра випромінювання від кільця (б)

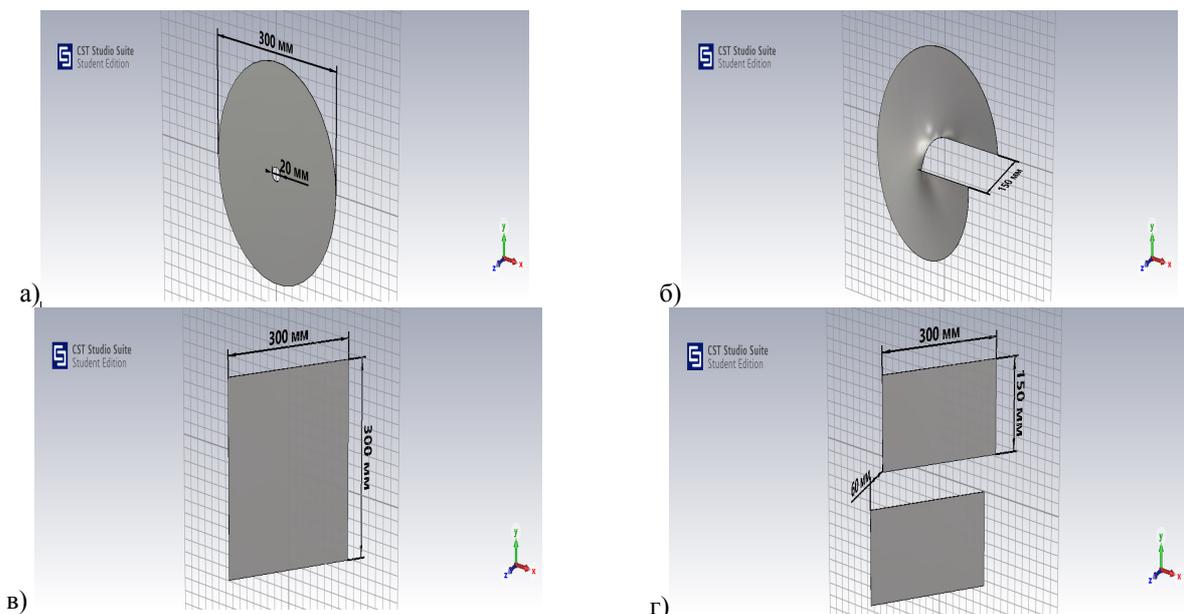


Рис. 2. Моделі мішеней: кільця (а), гелікоїд (б), екран (в), подвійна щелева мішень (г)

Модели мишеней были разработаны с учётом их параметризации: размеров, углов наклона мишени и расположение её относительно траектории пучка. В пакете CST были построены следующие модели мишеней (см. рис. 2): кольцо  $r = 10$  мм,  $R = 150$  мм,  $\Delta h = 1$  мм; геликоид с параметрами, как у кольца и шагом спирали  $T = 150$  мм; экран переходного излучения с размерами  $a = b = 300$  мм,  $\Delta h = 1$  мм,  $\alpha = 45^\circ$  (угол наклона к пучку); двойная щелевая мишень дифракционного излучения с размерами  $a = 300$  мм,  $c = 150$  мм,  $h = 40$  мм (ширина щели),  $\Delta h = 1$  мм,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d = 60$  мм (сдвиг пластины).

**Заключение.** Таким образом, создание моделей мишеней и оценка спектрального диапазона излучения позволяет нам перейти далее к моделированию поляризационного излучения. Моделирование планируется выполнить на кластере ТПУ. Работа поддержана в ТПУ в рамках программы развития № Приоритет–2030–НИП/ИЗ–005–0000–2022.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karlovets D.V., Potylitsyn A.P. Universal description for different types of polarization radiation // Accelerator Physics. – 2010.
2. Bogdanov O.V., Kazinski P.O., Lazarenko G.Y. Proposal for experimental observation of the twisted photons in transition and Vavilov–Cherenkov radiations // Journal of Instrumentation. – 2020. – V. 15., № 04. – P. C04052.
3. Дышеков А.А. Моделирование свойств «закрученного» излучения, генерируемого электронами от спиральной мишени // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XVII Междунар. научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2020. – С. 35–36.
4. Князев Б.А., Сербо В.Г. Пучки фотонов с ненулевой проекцией орбитального момента импульса: новые результаты // УФН. – 2018. – Т. 188., № 5. – С. 508–539.
5. Науменко Г.А., Потылицын А.П., Каратаев П.В. и др. Спектр когерентного переходного излучения, генерируемого модулированным электронным пучком // Письма в ЖЭТФ. – 2017. – Т. 15., № 2. – С. 115–118.
6. CST – Computer Simulation Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cst.com>. (дата обращения: 13.03.2022)
7. Lekomtsev K.V., Aryshev A.S., Karataev P.V. et al. Simulations of transition radiation from a flat target using CST particle studio // Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – V. 517. – P. 012016.
8. Lekomtsev K.V., Karataev P.V., Tishchenko A.A. et al. CST simulations of THz Smith–Purcell radiation from a lamellar grating with vacuum gaps // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2015. – V. 355. – P. 164–169.
9. Galyamin S.N., Tyukhtin A.V., Vorobev V.V. et al. Cherenkov radiation of a charge exiting open–ended waveguide with dielectric filling // Physical Review Accelerators and Beams. – 2019. – V. 22., № 1. – P. 012801.