

Моделирование работы двухкристального Лауэ-монокроматора станции 1-5 ЦКП «СКИФ»

П.С. Завьялов^{1,2}, Д.В. Карпов^{1,2}

¹ Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, Новосибирск, ул. Русская, 41, 630058

² Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, 630073

Станция 1-5 «Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне» ЦКП «СКИФ» оснащена двухкристальным монокроматором в геометрии Лауэ (Si(111), асимметричный срез 21,9°). Оптическая схема работает в антидисперсионной конфигурации с фиксированным вертикальным смещением выхода (25 мм). Из-за экстремальных тепловых нагрузок на первый кристалл (поглощаемая мощность около 700 Вт) [1] и отсутствия прямого доступа к оптическим элементам в вакуумном хатче во время эксперимента, критически важна точная первичная юстировка и понимание того, как механические ошибки позиционирования влияют на параметры выходного пучка.

Для определения бюджетов ошибок и допусков на юстировку выполнено численное трассирование лучей (30 кэВ) в среде XRayTracer (xrt) [2]. Проводилось сканирование пяти степеней свободы второго кристалла относительно первого. Критериями оценки служили интегральный фотонный поток, размеры и смещение пучка на финальном диагностическом экране на 115 метрах (Рисунок 1).

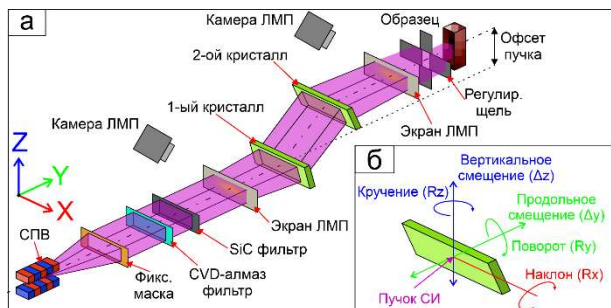


Рис. 1. Схематическое изображение оптической схемы станции 1-5 (а). Отклонения второго кристалла монокроматора, исследуемые при моделировании (б).

Моделирование выявило выраженную анизотропию чувствительности системы к механическим смещениям. Угловые отклонения в плоскости дифракции критичны для сохранения интенсивности (Рисунок 2), в то время как повороты вокруг оси пучка приводят к масштабным линейным дрейфам положения пучка при относительно слабом влиянии на пропускную способность.

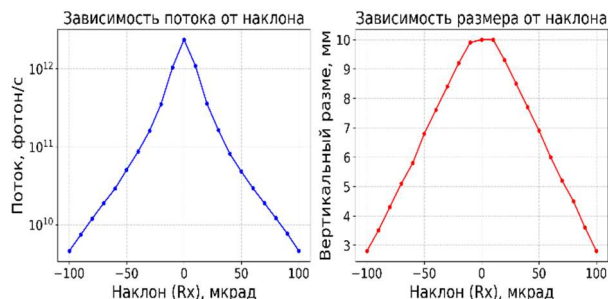


Рис. 2. Результаты моделирования наклона второго кристалла монокроматора в плоскости дифракции

Наиболее критичным параметром является наклон второго кристалла (Рис. 2): отклонение всего на ± 100 мкрад (~ 20 угл. сек.) приводит к падению интенсивности более, чем на два порядка. При этом вертикальный размер пучка линейно уменьшается при увеличении отклонения, в то время как горизонтальный профиль остается стабильным. Физически это обусловлено нарушением условия Брэгга и изменением направления пучка на выходе из второго кристалла. Продольное смещение второго кристалла имеет широкие допуски (до ± 70 мм), что обусловлено большой длиной (до 1530 мм) базы монокроматора [3]. Этот вид расстройки приводит к смещению пучка в вертикальном направлении, уменьшению интегрального потока и сдвигу центральной энергии.

Полученные количественные зависимости между вектором расстройки кристалла и откликом пучка устанавливают строгие физические допуски для механических узлов монокроматора. Полученные данные определяют стратегию использования люминесцентных мониторов положения пучка (ЛМП) как основного инструмента бесконтактной диагностики при вводе станции в эксплуатацию, позволяя по картине на экране однозначно идентифицировать тип механической ошибки и компенсировать её.

1. Купер К. Э. и др. Концептуальный проект Станции 1-5 «Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне» // Технологическая инфраструктура сибирского кольцевого источника фотонов "СКИФ". Новосибирск: Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. Т. 1. С. 168–226.
2. Klementiev K., Chernikov R. Powerful scriptable ray tracing package xrt // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. SPIE, 2014. Т. 9209. С. 60–75. DOI: 10.1117/12.2061400.
3. Довженко Г. Двухкристальный Лауэ-монокроматор с меридиональным изгибом для медицинской радиографии на синхротроне СКИФ. НГТУ, 2023.