

МАТЕРИАЛЫ В УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ: ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Шкитов Д.А.¹, Волков М.И.²

¹НИ ТПУ, ИШФВП, к.ф.-м.н., научный сотрудник

e-mail: shkitovda@tpu.ru

²НИ ТПУ, ИШФВП, гр. АЗ-05, аспирант

e-mail: miv5@tpu.ru

Понятие «ускорительная техника» включает в себя комплекс научно-технических проблем [1], связанных с теорией, расчётом, проектированием, изготовлением и эксплуатацией всех типов ускорителей заряженных частиц. Ускорители – это электрофизические устройства, которые разгоняют частицы до определённого уровня энергии. Они являются источниками пучков, как первичных ускоренных заряженных частиц (электронов, протонов, ионов), так и вторичных частиц (мезонов, нейтронов, фотонов, атомов и др.), получаемых при взаимодействии первичных частиц с мишенью. Любая ускорительная установка включает 3 основных структурных элемента [2]: источник частиц с системой формирования пучка, собственно ускоритель – устройства, увеличивающие энергию частиц, и устройства, осуществляющие вывод и транспортировку пучка на мишень, взаимодействие пучка с внутренней мишенью или соударение встречных пучков в ускорителе.

Ускорители заряженных частиц одни из основных инструментов современной ядерной физики и физики элементарных частиц [3, 4]. Многие учёные указывают на большую роль ускорителей в современном мире, см. [1]. Ускорители находят применение в разных областях, например: в биологии для изучения структуры молекул и ферментов; в медицине изотопы, изготовленные на ускорителях, используются для лечения и диагностики; в микроэлектронике для облучения чипов ускоренными ионами определённых видов; в космической технике для тестирования электронных приборов на устойчивость к космическому излучению; в сельском хозяйстве электронные ускорители облучают зерно, очищая его от микропатогенов.

Современные ускорители требуют использования множества различных материалов, и применения почти всего спектра развитых к настоящему времени современных производственных технологий. Это наглядно можно продемонстрировать на примере установки СКИФ (Кольцово, Новосибирская область) [5], находящейся сейчас на финальной стадии реализации. На рис. 1 представлено оборудование части линейного ускорителя установки СКИФ.



Рис. 1. Сборка оборудования линейного ускорителя установки СКИФ [6]

Необходимы следующие основные материалы: изолированные медные провода, листовые стали и сплавы, железо и композиты различных типов (для магнитных элементов), медные сплавы, микроволновая керамика, сегнетоэлектрические материалы (для ускоряющих структур), стекло, кварц, сапфир, различные стали (для вакуумных камер). Безусловно, разнообразие, используемых материалов при изготовлении ускорителей, этим списком не ограничивается, приведены только некоторые и только для ряда основных систем. Для размещения основных систем используются опорные конструкции (синие подставки на рис. 1) и различного типа профилированные изделия (серые конструкционные профили на рис. 1). Они же применяются для различных систем диагностики параметров пучков ускорителей. Например, на рис. 2, *а* изображена модель станции диагностики с опорными конструкциями, оптическим столом и различными оптомеханическими компонентами. На рис. 2, *б* показана фотография монитора, видны используемые конструкционные профили, оптические столы, оправа для оптических зеркал, поворотные механизмы и т. д. В рамках проекта по разработке станций диагностики параметров пучков электронов различных энергий на основе синхротронного и переходного излучений в данной работе произведён краткий обзор и подбор конструкционных профилей, которые могут быть применены при разработке таких станций диагностики.

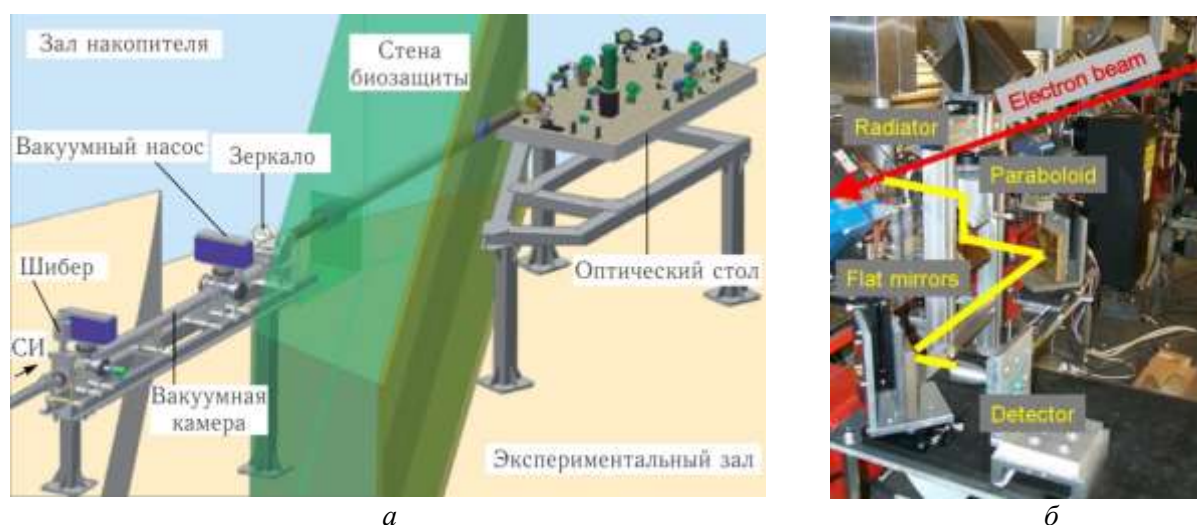


Рис. 2. Станция оптической диагностики [7] (*а*); монитор когерентного излучения [8] (*б*)

Конструкционные профили, как правило, из алюминия – это стержневые системы различного сечения и несущей способности. Для производства профилей наиболее распространённым сплавом является алюминиевый материал марки АД31. Из алюминиевого профиля собирают каркасные системы различного назначения, в том числе лабораторные и испытательные установки. Несомненные преимущества таких профилей, важные для решения задач проекта, это: быстрота сборки без необходимости выполнения сварочных работ и применения специальных навыков; простота механической обработки; стойкость к коррозии и деформации; возможность модернизировать конструкцию. В настоящее время на производстве изготавливают различные серии профилей, стандартно, по размеру от 20-й до 60-й серии [9], и на рынке представлена продукция самых разных производителей. Для разработки станций диагностики была выбрана «серия 40» квадратного и прямоугольного сечения, которая является одной из самых популярных благодаря своей универсальности. Эта серия применяется для создания различных каркасов, обеспечивая прочность и устойчивость даже при значительных нагрузках. Эта серия профилей с расстоянием между центрами пазов 40 мм и шириной паза 10 мм (см. рис. 3). Форма паза выбрана Т-образной, которая широко используется для сборки различных конструкций и систем, где требуется гибкость и возможность быстрой настройки. Согласно ГОСТ 22233-2018 длина конструкционного профиля серии 40 может составлять 6020 мм. Необходимая длина отрезается в зависимости и согласно проекту конкретной станции диагностики.



Рис. 3. Изображение профиля 40×40 (слева), чертеж профиля 40×40 (справа)

Существуют профили с покрытием и без него. Профиль с покрытием более прочный, надёжный и долговечный, он защищает от последствий окисления и ультрафиолетовых лучей, сохраняет привлекательный вид материала длительное время, и служит 30–50 лет (срок службы профиля без покрытия в 2 раза меньше). Было бы лучшим выбором в пользу профиля с покрытием, т. к. условия эксплуатации предполагают наличие ионизирующего излучения, однако можно использовать профиль и без покрытия, поскольку высокие требования к эстетичности конструкции в нашем случае не предъявляются. Профили одной серии и одного размера могут иметь разную площадь сечения, что определяет массу и прочностные характеристики профиля. Минимальная и максимальная массы профиля 40-й серии размером 40×40 мм составляет от ~1 кг до ~2 кг на погонный метр. Номенклатура для сборки конструкций, поставляемых в минимальных наборах, состоит из следующих элементов: профили, угловые соединители, Г-образные соединители, винты, Т-гайки, шайбы

Таким образом, можно сделать вывод, что современная промышленность производит большое разнообразие конструкционных профилей, и под решение каждой конкретной задачи можно подобрать подходящие профили и требуемые комплектующие. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (программа «Наука» № FSWW-2023-0003).

Список литературы

1. Лагутин А.Е., Лагутина Ж.П. Ускорительная техника: проблемы и пути развития // Материалы 9-ой Межд. конф. «Взаимодействие излучений с твердым телом», Минск, Беларусь. – С. 417. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/28091/1/Лагутин.pdf>.
2. Ускорители заряженных частиц // БРЭ. – 2023. – URL: <https://bigenc.ru/c/uskoriteli-zariazhennykh-chastits-1d2f47>.
3. Ускорители в нашей жизни // Газета «Встреча». – 2013. – URL: <https://www.dubnapress.ru/science/3657-2013-03-14-08-25-15>.
4. Ускорители заряженных частиц: от опытов Резерфорда к Большому адронному коллайдеру // Платформа ПостНаука. – 2020. – URL: <https://postnauka.org/longreads/156125>.
5. Технологическая инфраструктура Сибирского кольцевого источника фотонов «СКИФ» // эл. сб. статей под общей редакцией К.И. Шефер. – 2022. – Т. 2.
6. Установлена половина оборудования линейного ускорителя СКИФ // Telegram. – 2024. – URL: <https://t.me/srfskif/709>.
7. Дорохов В.Л., Мешков О.И., Стирин А.И., Смыгачева А.С. Развитие интерферометрического метода измерения поперечных размеров пучка частиц в циклических ускорителях // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2023. – Т. 20, № 5 (250). – С. 1181–1192.
8. Grimm O. Coherent Radiation Diagnostics for Short Bunches // Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA. – 2007. – P. 2653.
9. Разновидности конструкционных профилей // ООО «Промышленный Конструктор»: сайт. – 2024. – URL: <https://promprof.ru/company/articles/60011/>.