

## РАЗРАБОТКА ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МИКРОТРОНА ТПУ

Поломошнова Д.А.<sup>1</sup>, Шкитов Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, студент гр. 0А93, e-mail: [dap63@tpu.ru](mailto:dap63@tpu.ru)

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, к.ф.-м.н., научный сотрудник, e-mail: [shkitovda@tpu.ru](mailto:shkitovda@tpu.ru)

### Введение

На данный момент, в инженерной деятельности, в том числе при проектировании и эксплуатации различных энергетических установок, широко используются современные средства компьютерной графики. Хорошим примером, иллюстрирующим внедрение различных средств современной компьютерной графики, является «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» (Росатом) – ведущий производитель в сфере проектно-конструкторского производства электрофизических установок и комплексов в области атомной и ядерной физики, а также физики элементарных частиц [1].

В ТПУ в настоящее время эксплуатируется один микротрон. Принцип действия микротрона был предложен еще в 1944 году советским ученым В.И. Векслером, в данных ускорителях электроны, подобно протонам в циклотроне, многократно ускоряются высокочастотным электрическим полем в постоянном однородном магнитном поле [2]. Несмотря на то, что идея микротрона была предложена очень давно, подобные установки до сих пор сохраняют свою актуальность. Так, высокие качества пучка микротрона делают его перспективным инжектором для ускорителей высоких энергий, таких как синхротрон [3]. Точно определенная энергия и высокая интенсивность микротрона создают новые возможности в ядерной физике, в частности в изучении фотоядерных реакций [4]. В связи с данными факторами, применение микротрона в науке все ещё находит отклик в научной и инженерной деятельности.

Отметим, что в 2020 году из двух микротронов, находившихся в эксплуатации в ТПУ и до 2010 года принадлежавшие НИИ ЯФ при ТПУ, остался только один. Первый микротрон на 6,1 МэВ, являвшийся инжектором синхротрона «Сириус» и находившемся в 004 зале 11 корпуса, был разобран и сейчас законсервирован. Второй микротрон на энергию электронов от 1,5 до 5,7 МэВ был перенесён из 13 лаборатории в 114 зал 11 корпуса. Соответственно, единственный сейчас микротрон был заново собран, но актуальной его 3D-модели или чертежа ранее не было.

Было решено начать разработку такой модели микротрона ТПУ для наглядной демонстрации всех компонентов, входящих в установку. В дальнейшем, это позволит быстрее и качественнее проводить модернизацию микротрона. Также разработанная модель будет являться наглядным пособием для планирования будущих исследований. Таким образом, целью данной работы является дополнение, созданной ранее модели [5] вакуумной камеры первого (линейного) выводного тракта ускорителя и окружающей его оснастки, основным оборудованием линейного тракта и непосредственно самого микротрона.

### Оборудование и методы

Объектом моделирования является обновлённый микротрон ТПУ, который схематично представлен на рис. 1.

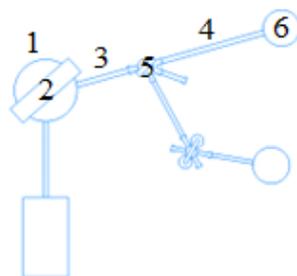


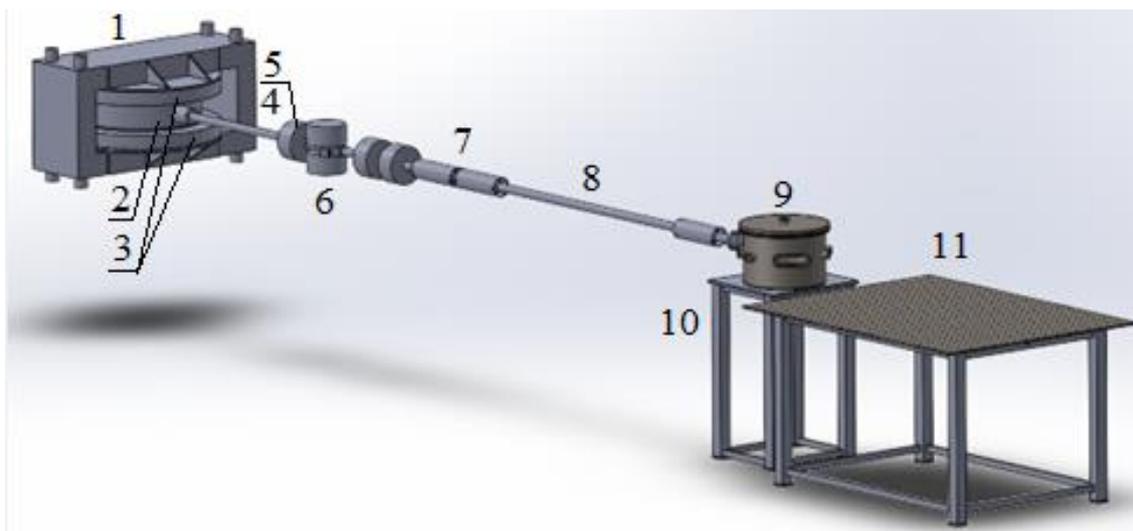
Рис. 1. Схематичное изображение микротрона ТПУ:

1 – камера микротрона; 2 – электромагнит микротрона; 3, 4 – линейный вакуумный тракт; 5 – поворотный магнит; 6 – вакуумная камера линейного выводного тракта

Основными узлами микротрона являются: электромагнит со схемой питания, вакуумная камера, резонатор с высокочастотным трактом, генератор сверхвысокой частоты и система управления.

К настоящему времени были разработаны 3D-модель вакуумной камеры первого (линейного) тракта, в которую входят: камера, крышка и дно камеры, и окружающая её оснастка. Были разработаны вакуумный тракт, квадрупольные линзы и поворотные магниты, корректирующие соленоиды, а также стойка для вакуумной камеры. Данная сборка была дополнена оптическим столом, на котором проходит постановка экспериментов, состоящим из стоек, оптической плиты, укосин, ребер, стяжек и втулки, и непосредственно самим микротроном (см. рис. 2). В качестве рабочей системы автоматизированного проектирования (САПР) для реализации данного проекта, в качестве рабочей программы был выбран SOLIDWORKS, обладающий существенными преимуществами перед другими САПР программами [6].

Стоит отметить, что данный программный продукт является одним из ведущих в сфере автоматизированного машиностроительного производства, а также является кроссплатформенной, то есть файлы, разработанные в данной программе, можно открывать и редактировать в других САПР программах, таких как AutoDesk Inventor или КОМПАС 3D.



*Рис. 2. 3D-модель микротрона ТПУ с линейным участком выводного тракта:*

*1 – ядро микротрона; 2 – вакуумная камера микротрона; 3 – катушки электромагнита микротрона; 4, 8 – линейный выводной тракт; 5 – квадрупольные линзы; 6 – поворотный магнит; 7 – корректоры; 9 – вакуумная камера линейного выводного тракта; 10 – стойка вакуумной камеры; 11 – оптический стол*

## **Заключение**

В связи с возникшими при разработке трудностями, при создании 3D-модели были приняты следующие допущения в текущей версии. В модели отсутствуют, например, хомуты типа KF-40 и KF-30, так как проектирование данных компонент значительно бы увеличило время разработки проекта. В открытом доступе готовые модели хомутов этой серии не найдены. Конечно, при создании 3D-модели одной из основных задач было сделать модель как можно более детализированной, но в силу обстоятельств, в том числе таких как труднодоступность измерения всех размеров на собранной установке всех деталей и уникальность некоторых компонентов, которые были изготовлены непосредственно при сборке обновленного микротрона ТПУ, принятые допущения в настоящее время оправданы. Тем не менее модель уже сейчас даёт представление (пока частичное) о входящих в данную установку компонентах.

Применение программы SOLIDWORKS, позволит рассмотреть строение микротрона в учебных и научных целях, к тому же это позволит быстрее и качественнее проводить модернизацию данной энергетической установки, используя для вычислений и экспериментов непосредственно саму модель, это позволит создавать необходимые детали и проводить поиск недостающих, как можно оперативнее. К тому же, разработанная трёхмерная модель будет использоваться в качестве карты для планирования будущих исследований на микротроне ТПУ.

В дальнейшем планируется большая детализация уже созданных элементов и дополнение имеющейся модели микротрона ТПУ другими его частями и нелинейным участком выводного тракта. В рамках текущей работы на микротроне также планируется проведение измерений параметров электронного пучка, таких как ток пучка, поперечные размеры пучка, длительность сгустков и других, в различных частях выводного тракта различными методами (например, с помощью метода основанного

на потемнении стекла, с использованием люминофорных экранов, с помощью датчиков тока и цилиндров Фарадея).

#### **Список использованных источников**

1. Акционерное общество «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.niefa.spb.su/> (дата обращения 15.02.2023).
2. Векслер В.И. Новый метод ускорения релятивистских частиц // Доклады АН СССР. – 1944. – Т. 43, № 8. – С. 346-348.
3. Басков В.А., Львов А.И., Полянский В.В. Пучки синхротрона ФИАН "ПАХРА" для калибровок детекторов NICA // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2021. – Т. 52, №4. – С. 960-964. – Режим доступа: [http://www1.jinr.ru/Рерап/v-52-4/46\\_bashkov.pdf](http://www1.jinr.ru/Рерап/v-52-4/46_bashkov.pdf) (дата обращения 15.02.2023).
4. Ципенюк Ю.М. Фундаментальные и прикладные исследования на микротроне: учебное пособие / Ю.М. Ципенюк. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 424 с.
5. Поломошнова Д.А, Шкитов Д.А. Разработка трёхмерной модели микротрона ТПУ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине. Российский и международный опыт подготовки кадров сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции, г. Томск, 07-09 сентября 2022 г. – Томск: Ветер, 2022. – С. 130. – Режим доступа: <https://ftf.tpu.ru/upload/constructor/e91/fkwzzw9b2m4zxfmvx97al94hpwidlkn1.pdf> (дата обращения 15.02.2023).
6. SOLIDWORKS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/> (дата обращения 20.01.2023).