



Научно-технический семинар ЛЯП: «Ускорители, медицинская физика и радиобиология»

Доклад: «Метод модификации пика Брэгга протонного пучка для радиотерапии»

Мицын Геннадий Валентинович



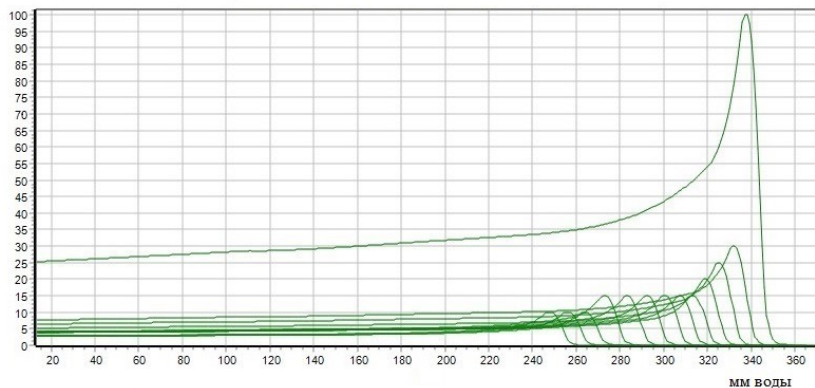
В настоящее время ОИЯИ совместно с НИИЭФА им. Д.В. Ефремова (Санкт-Петербург) реализует проект создания сверхпроводящего изохронного циклотрона MSC230, на котором планируется проведение научных исследований в области радиобиологии, а также работ по развитию методик протонной флэш-терапии. В связи с этим прорабатываются вопросы формирования на новом ускорителе высокоинтенсивного протонного пучка с выбором энергии в диапазоне 120-230 МэВ, мощностью дозы 50-100 Гр/сек. и однородного в сечении диаметром 13-15 см.



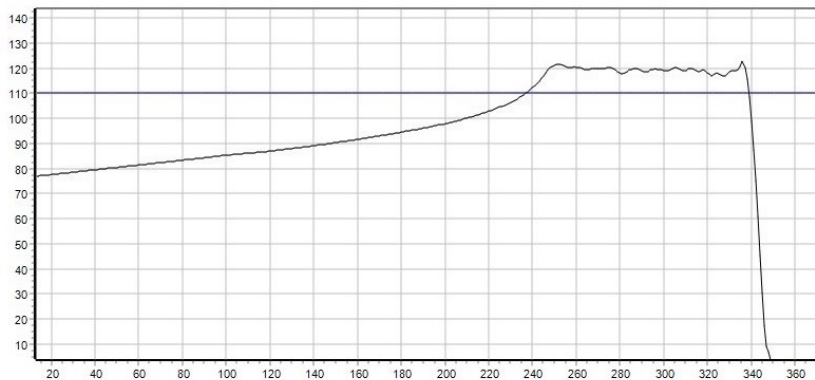
В данной статье приводятся результаты моделирования методом МК и измерений глубинно-дозовых распределений протонного пучка, энергетический спектр которого модифицирован для получения протяженного однородного плато в конце пробега. Это достигается применением так называемых гребенчатых фильтров. Приводится методика расчета и изготовления на 3D принтере гребенчатых фильтров, способных менять протяженность плато в достаточно широком диапазоне значений методом его поворота относительно оси пучка.



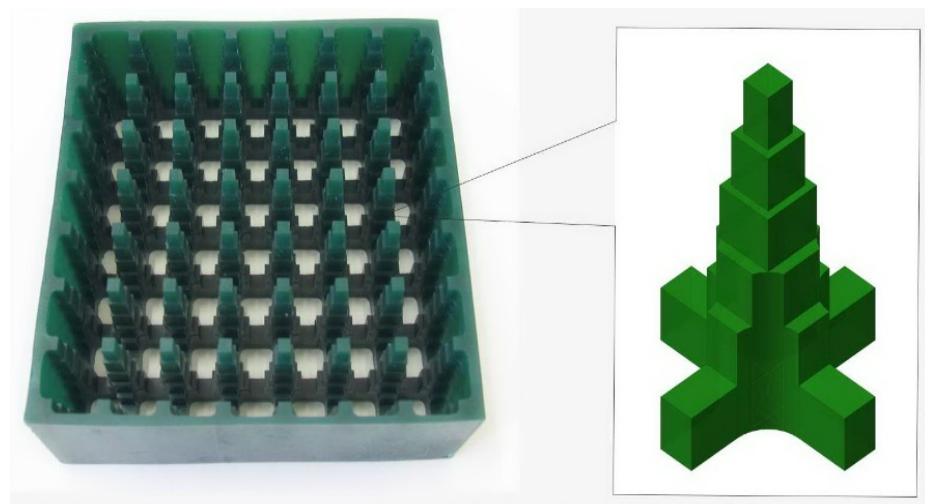
Глубинно-дозовые кривые отдельных энергетических компонент модифицированного пучка



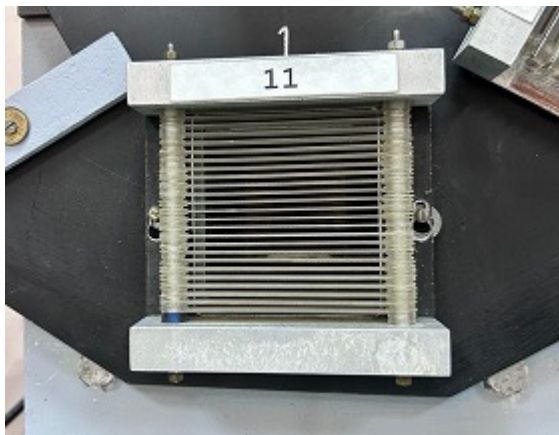
Результирующая кривая, получающаяся при смешивании всех компонент



Пример глубинно-дозового распределения протонного пучка циклотрона фирмы ИВА с энергией 235 МэВ с модифицированным пиком Брэгга



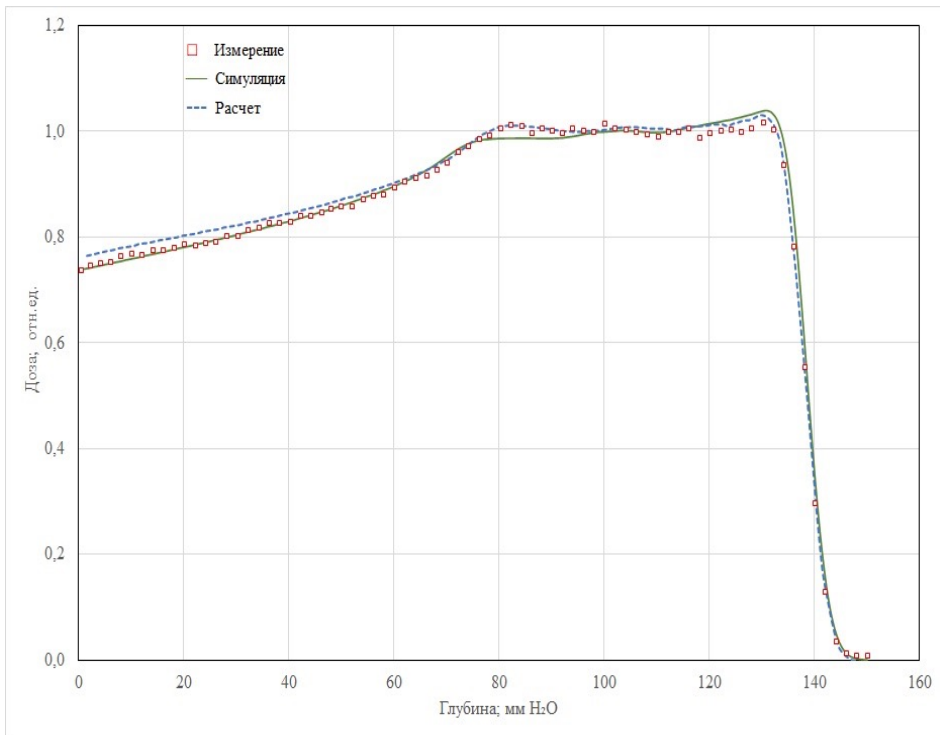
Внешний вид гребенчатого
фильтра, изготовленного из
ювелирного воска с помощью
фрезерного станка с ЧПУ.



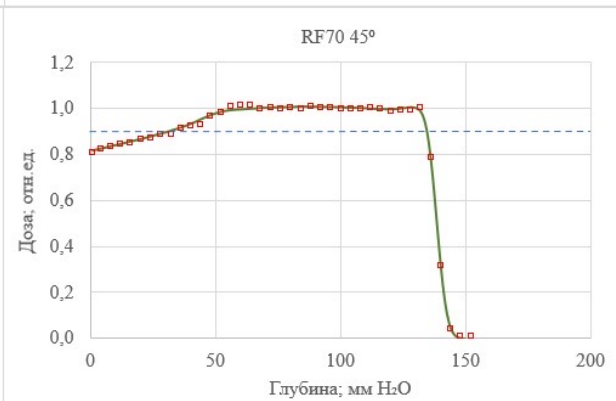
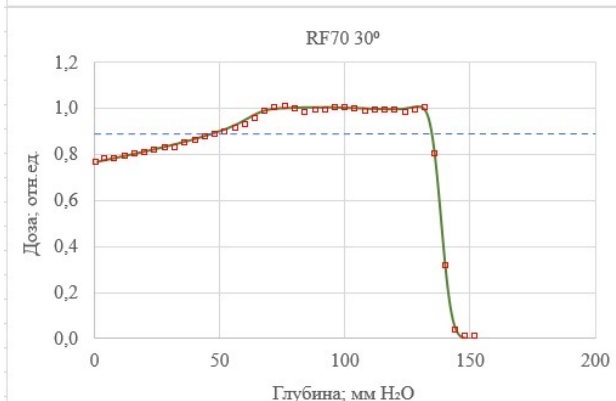
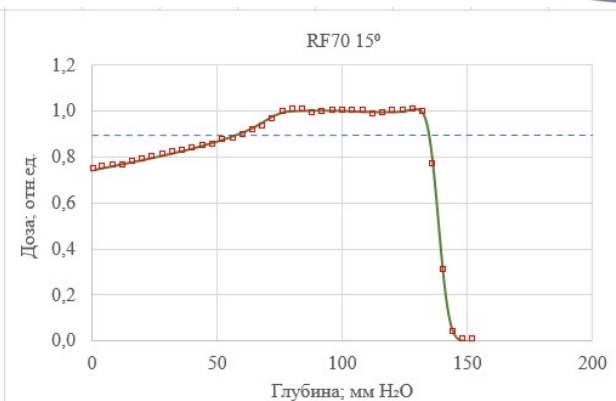
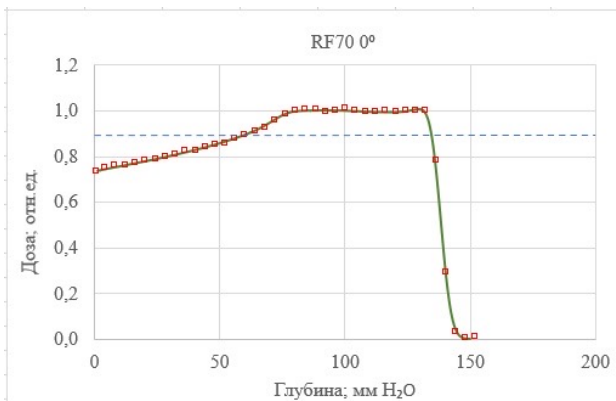
Еще в прошлом веке Ломановым М.Ф. была высказана до настоящего времени не проверенная идея о возможности поворота ГФ, выполненного в виде набора полосок замедлителей различной толщины, на некоторый угол относительно оси пучка в плоскости полосок. За счет этого поворота толщина вещества, проходимая протонами, увеличится и логично предположить, что протяженность плато на глубинно-дозовой кривой также будет возрастать. Таким образом, появится возможность подстраивать модуляцию пучка точно в соответствии с размером мишени с каждого угла облучения.



Для проверки этой идеи для терапевтического пучка 170 МэВ фазотрона ЛЯП ОИЯИ был рассчитан и изготовлен на 3D принтере из ABS пластика ГФ в виде полосок замедлителей с протяженностью плоской вершины около 70 мм по 90 % уровню, получивший условное название RF70. Рассчитанная геометрия фильтра была также загружена в программный пакет FLUKA для симуляции прохождения через него протонного пучка методом Монте-Карло. Был также подобран энергетический спектр терапевтического протонного пучка 170 МэВ, выводимого в процедурную кабину Медико-технического комплекса ЛЯП ОИЯИ.



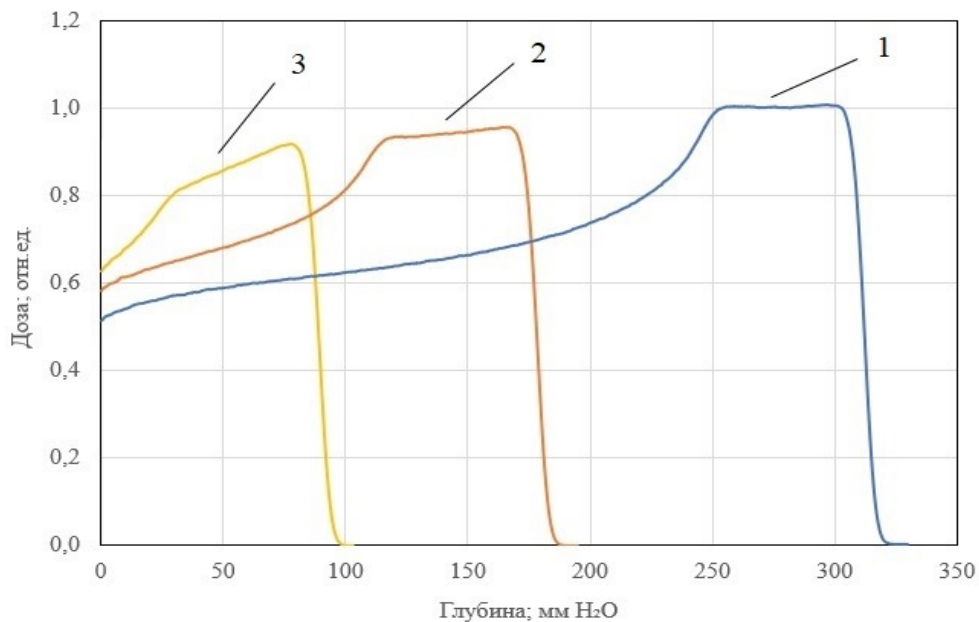
Сравнение рассчитанного, симулированного программой FLUKA глубинно-дозовых распределений для изготовленного ГФ, а также распределения, измеренного с помощью миниатюрного ППД, перемещающегося в водяном фантоме.



Симулированные про-
граммой FLUKA и
измеренные глубин-
но-дозовые распреде-
ления протонного
пучка с гребенчатым
фильтром RF70 под
углами 0°, 15°, 30° и
45°.



Было также проведено симулирование с помощью того же программного пакета FLUKA с целью определения возможности использования одного и того же набора ГФ для всего диапазона выводимых в процедурную кабину энергий пучка (120-230 МэВ). Для расчетов был взят плоскопараллельный пучок со средней энергией 230 МэВ и стандартным отклонением 0,3 %, что примерно соответствует пучку серийного ускорителя фирмы ИВА. Для этого пучка был смоделирован ГФ с протяженностью плоской вершины около 70 мм водозэквивалента (по 90 % уровню).



Сравнение глубинно-дозовых распределений протонного пучка с гребенчатым фильтром, симулированных программой FLUKA: 1 - без замедлителя; 2 - с бериллиевым замедлителем, соответствующим средней энергии пучка 170 МэВ; 3 - с бериллиевым замедлителем, соответствующим средней энергии пучка 120 МэВ.



Выводы:

1. Предложена и реализована методика расчета и изготовления из ABS пластика на 3D принтере модификаторов энергетического спектра протонного пучка – гребенчатых фильтров полоскового типа. Их конструкция позволяет обойтись набором всего из 5-6 фильтров для перекрытия всего необходимого диапазона расширенного пика Брэгга.
2. Проведенное моделирование методом МК позволяет надеяться, что можно будет обойтись только двумя такими наборами фильтров для всех значений выводимых в кабину энергий пучка.