

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬНОТОЧНОГО РАЗРЕЗНОГО МИКРОТРОНА НА ЭНЕРГИЮ 35 МЭВ

Выполнил студент 213м группы

Борисов Максим Антонович

Научный руководитель

д.ф.-м.н. Шведунев Василий Иванович

Постановка задачи

Разрезной микротрон является хорошей альтернативой линейному ускорителю в ситуации, когда необходимо получить пучок с энергией от 10 до 100 МэВ и током до десятков миллиампер. К основным преимуществам можно отнести меньшие габариты и стоимость.

Основные цели работы:

- Моделирование основных частей разрезного микротрона и динамики частиц в процессе ускорения
- Моделирование системы диагностики и возможных способов устранения различных отклонений от расчётного варианта
- Оценка максимального значения импульсного тока ускорителя

Разрезной микротрон

Основная система уравнений:

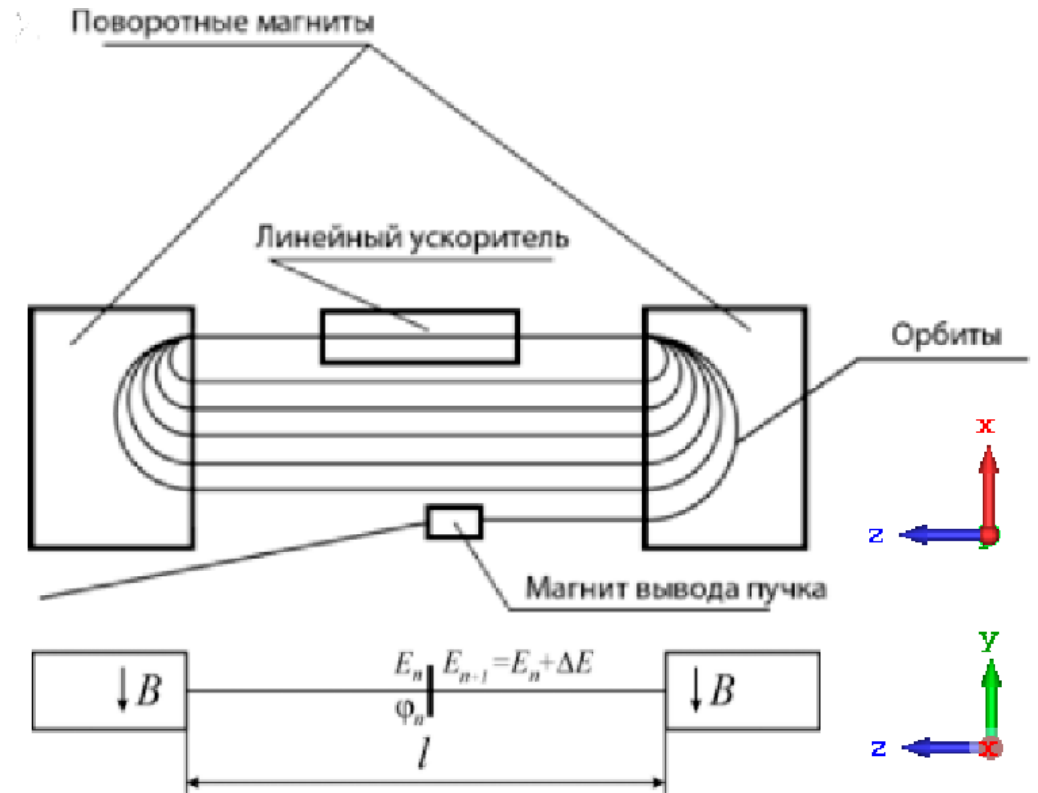
$$\begin{cases} \delta E_{n+1} = \delta E_n + E_{\text{макс}} * \cos(\delta\varphi_n + \varphi_p) - \Delta E_p \\ \delta\varphi_{n+1} = \delta\varphi_n + \frac{4\pi l}{\lambda\beta} + 2\pi\nu \frac{\delta E_{n+1}}{\Delta E_p} \end{cases}$$

Величина магнитного поля находится из условия синхронизма частицы и ускоряющего поля:

$$B = \frac{2\pi\Delta E_p}{ec\lambda}$$

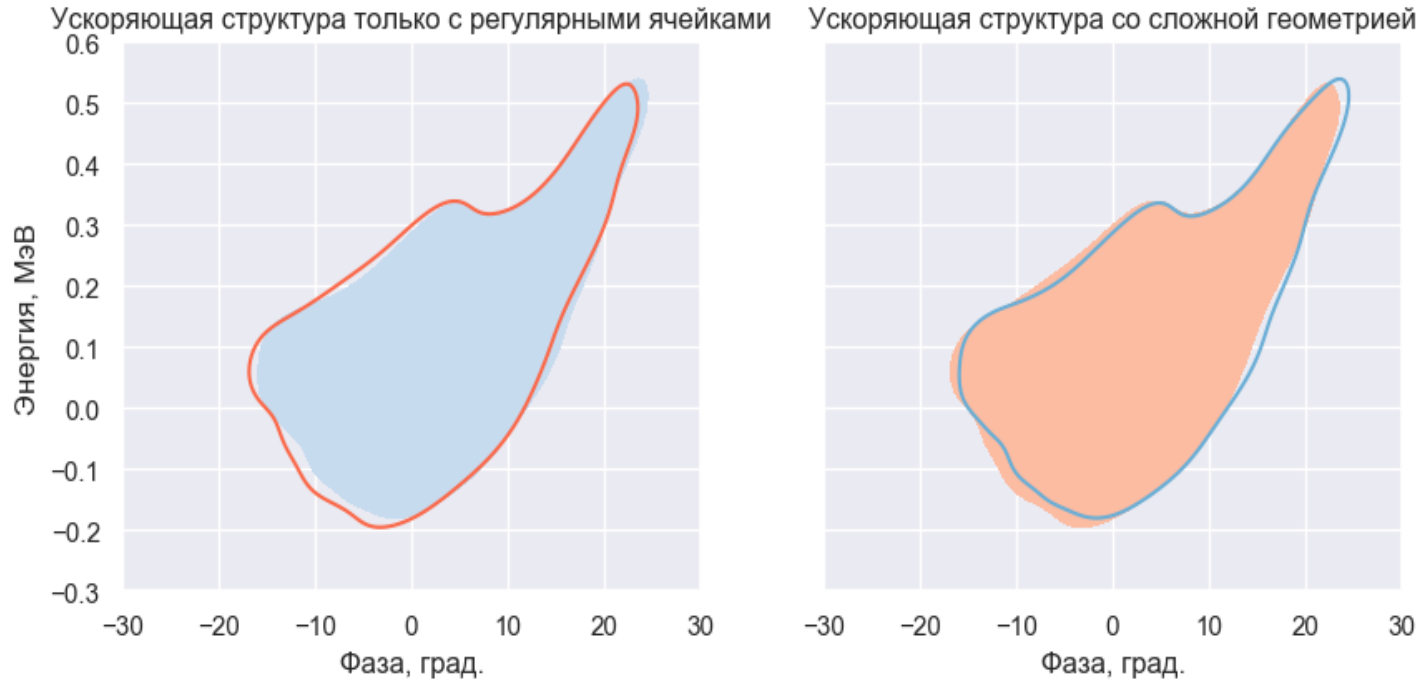
Требования к ускорителю:

1. Частицы с энергией 35 МэВ
2. Средний ток в 100 мкА
3. Большой коэффициент захвата

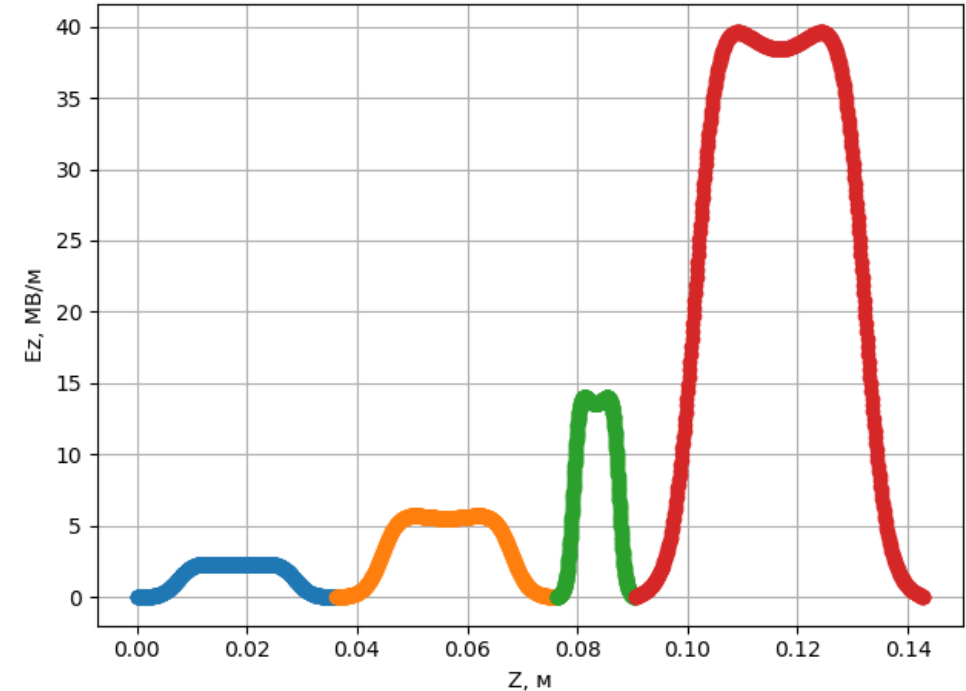


Схематическое изображение разрезного микротрона.

Акцептанс разрезного микротрона

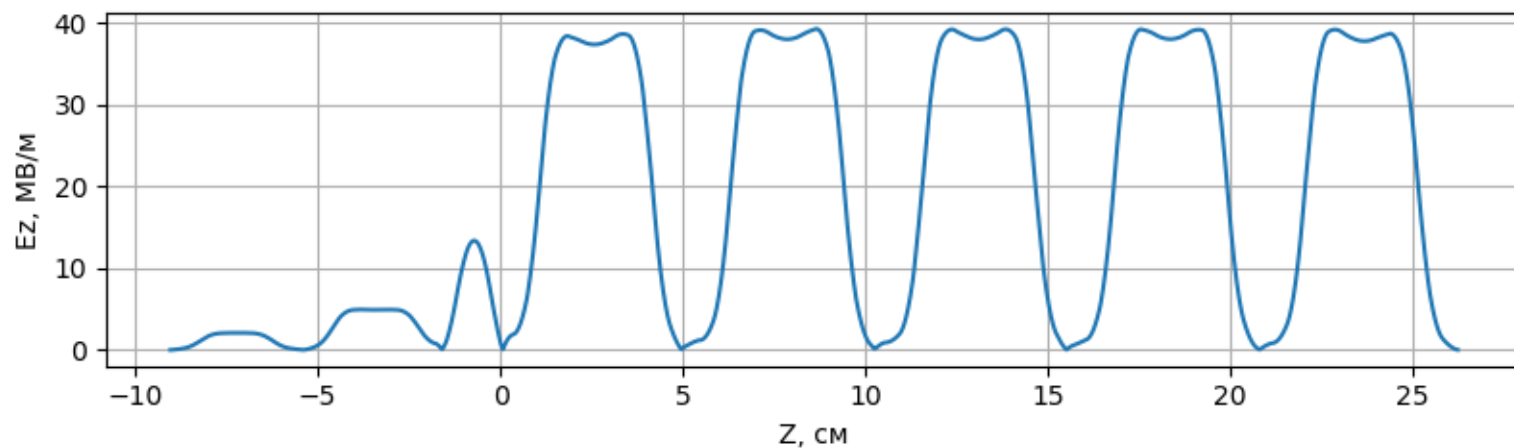
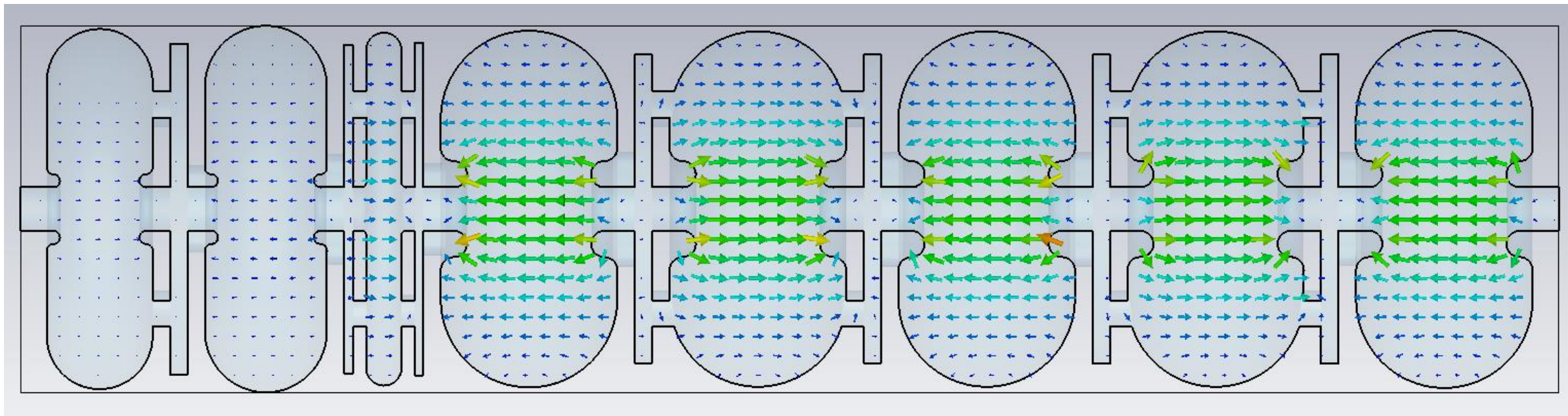


Акцептанс разрезного микротрона для случаев использования ускоряющих структур, состоящих полностью из регулярных ячеек (слева) и несколькими нерегулярными (справа).



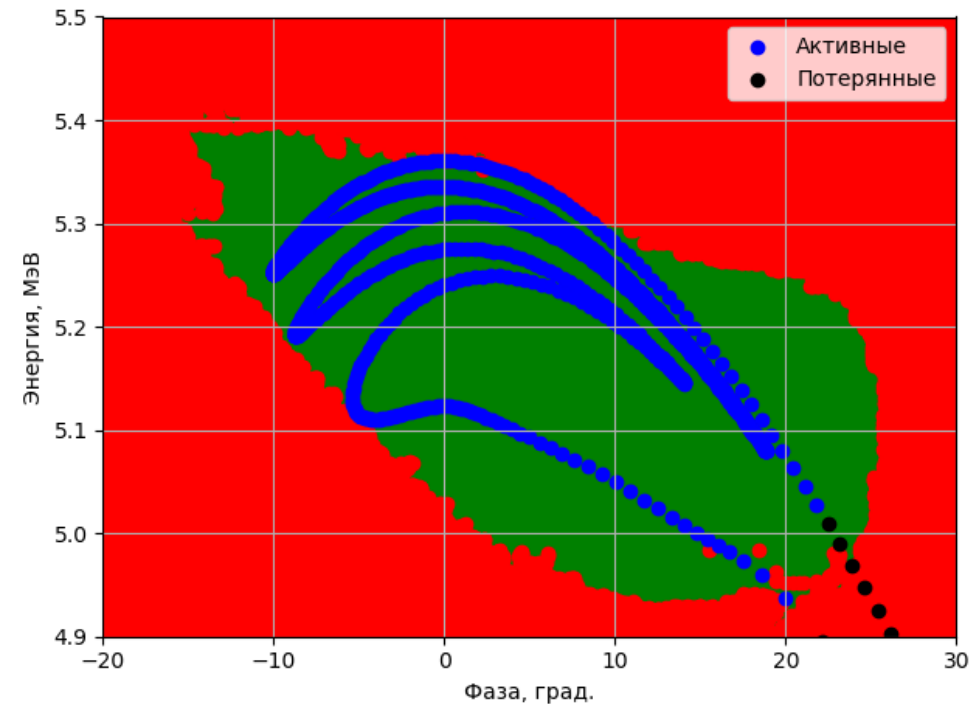
Распределение поля нерегулярной части ускоряющей структуры (синий, оранжевый и зеленый), полученное посредством изменения размеров распределения регулярной ячейки (красный).

Линейный ускоритель

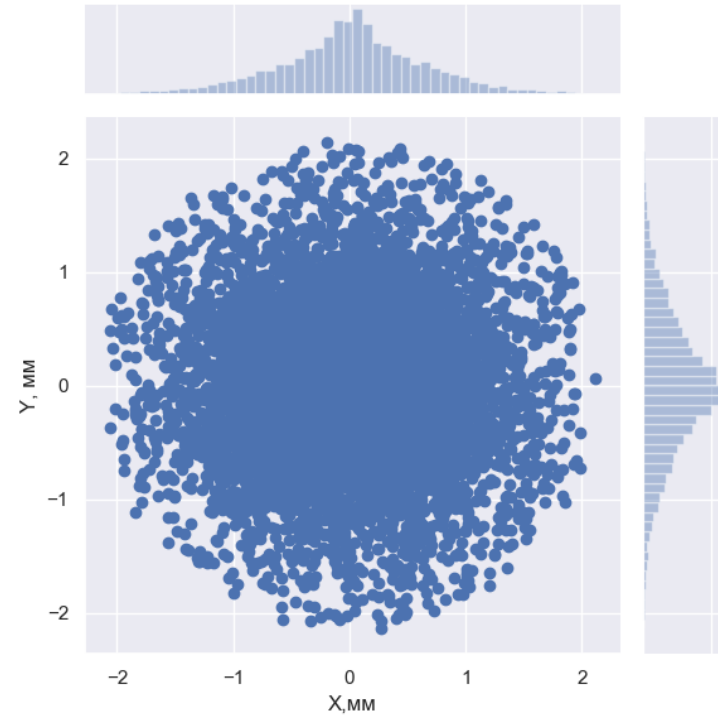


Параметры ускоряющей структуры.		
Электрическая длина структуры	см	35.3
Частота $\pi/2$ колебания	МГц	2856
Коэффициент связи ячеек	%	3.5
Собственная добротность		15133
Мощность СВЧ потерь в стенках	МВт	1.44

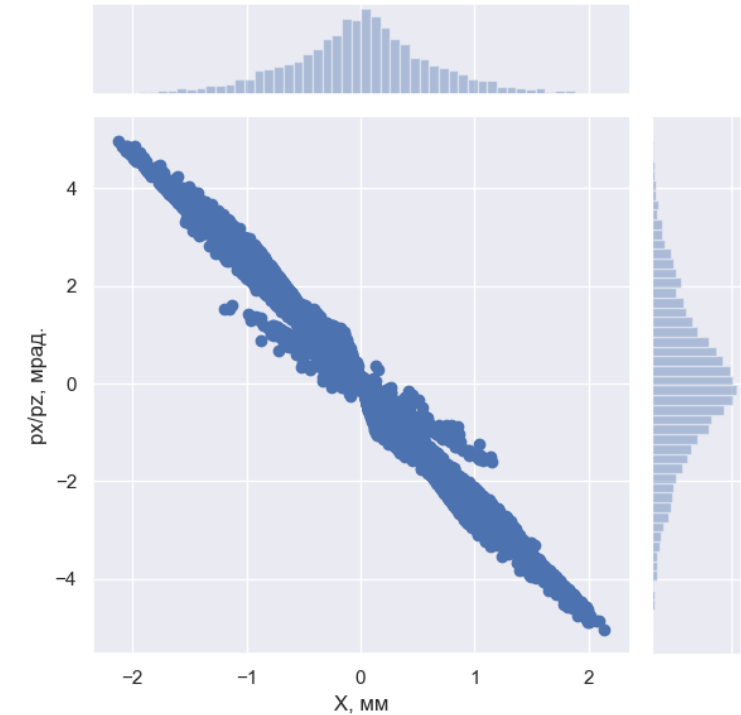
Линейный ускоритель



Фазовый объем частиц после первого ускорения, наложенный на акцептанс разрезного микротрона

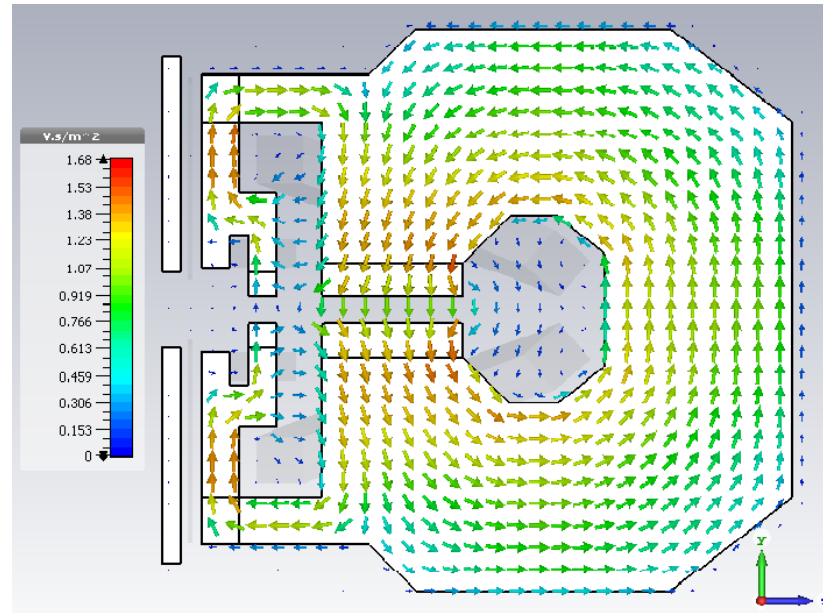
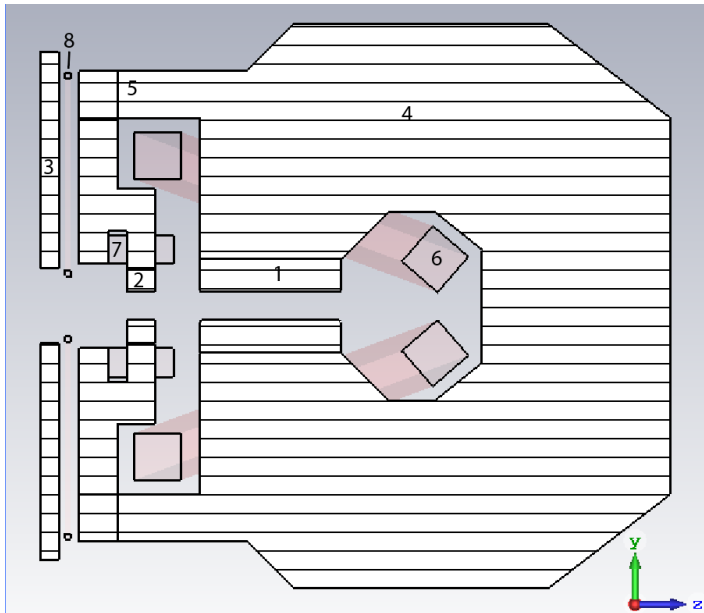


Поперечные размеры пучка после первого ускорения



Поперечный фазовый портрет пучка после первого ускорения

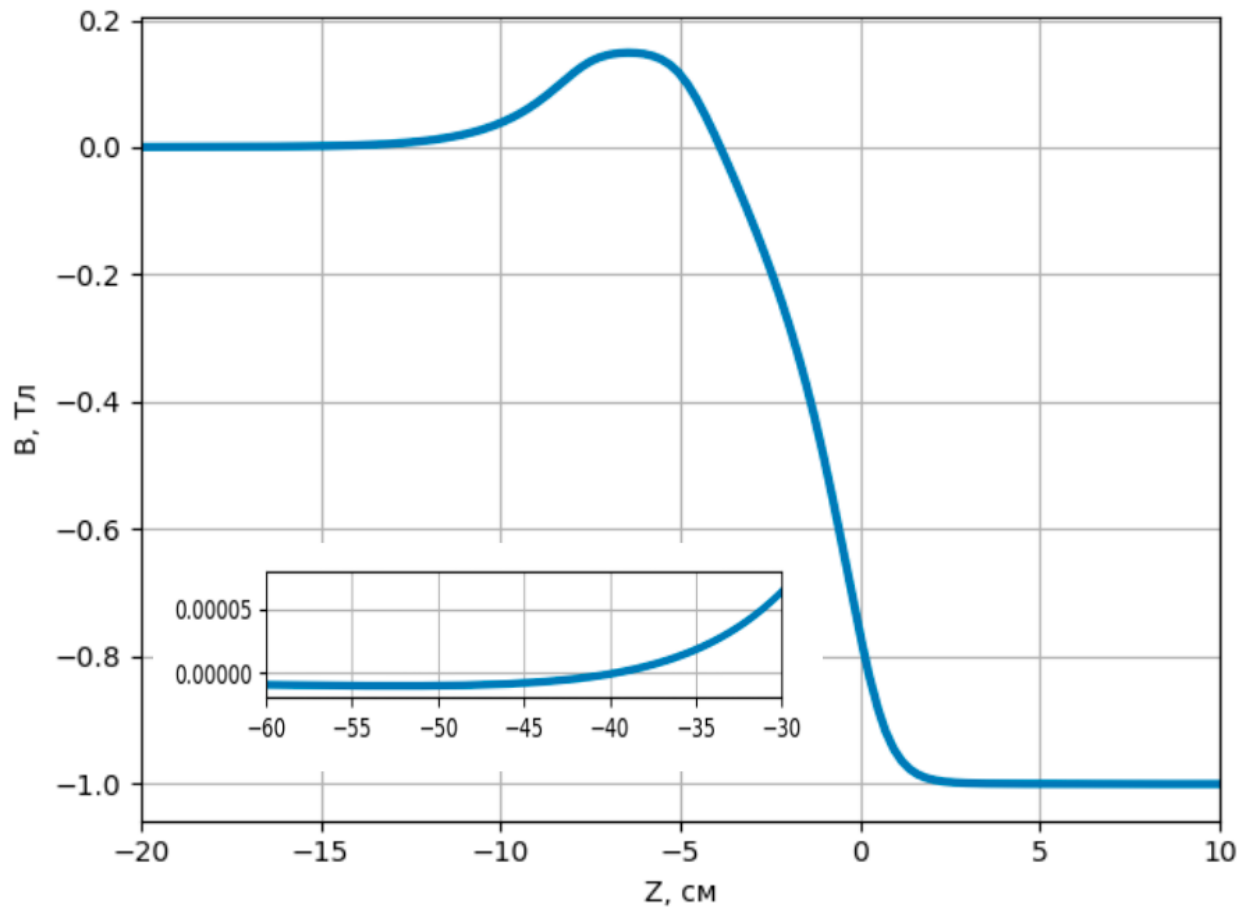
Поворотный магнит



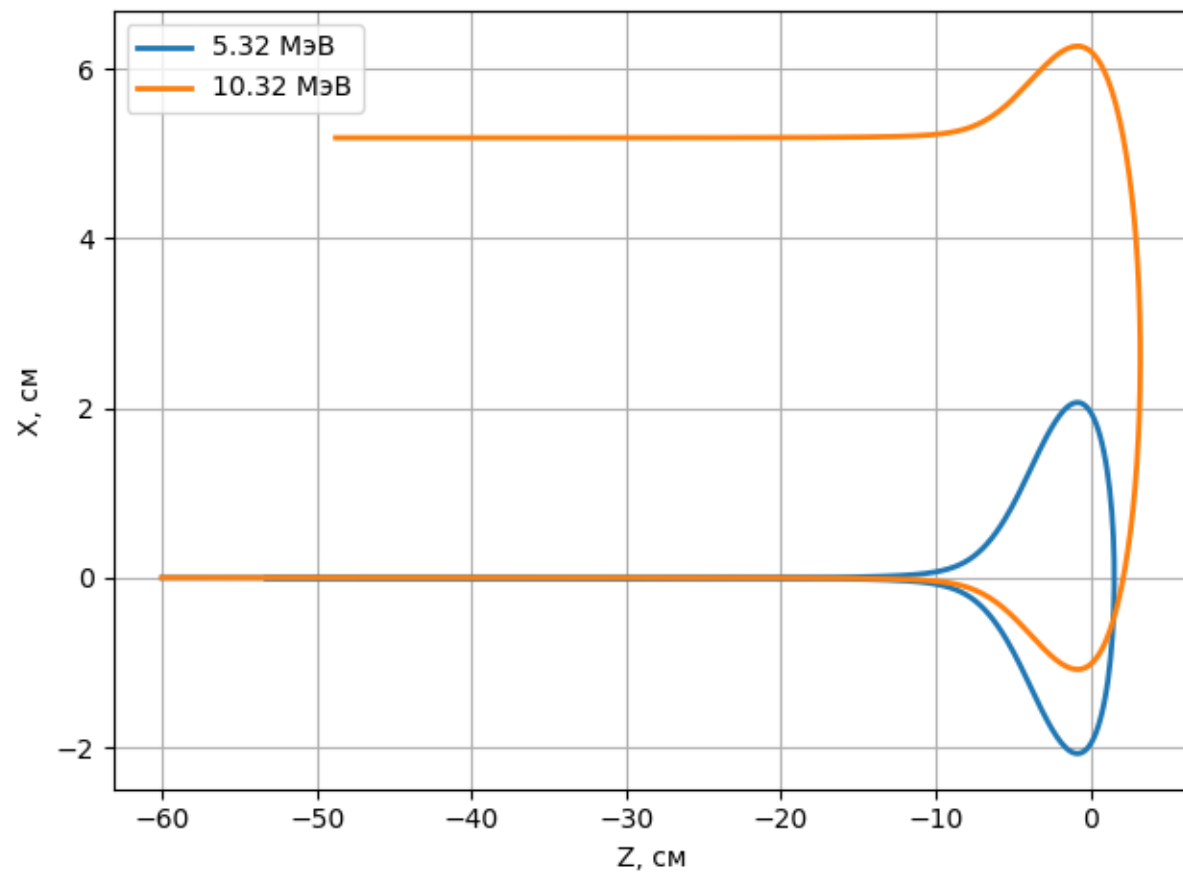
Параметры поворотного магнита		
Индукция основного магнитного поля	Тл	1
Индукция вспомогательного магнитного поля	Тл	-0.15
Высота межполюсных зазоров	мм	30
Размеры основного полюса Д×Ш	мм	150×360
Ток основных обмоток	А	27.6 * 400
Ток вспомогательных обмоток	А	8.4 * 200
Масса	кг	835

Сечение поворотного магнита (слева) и распределение полей в нем (справа).

Поворотный магнит

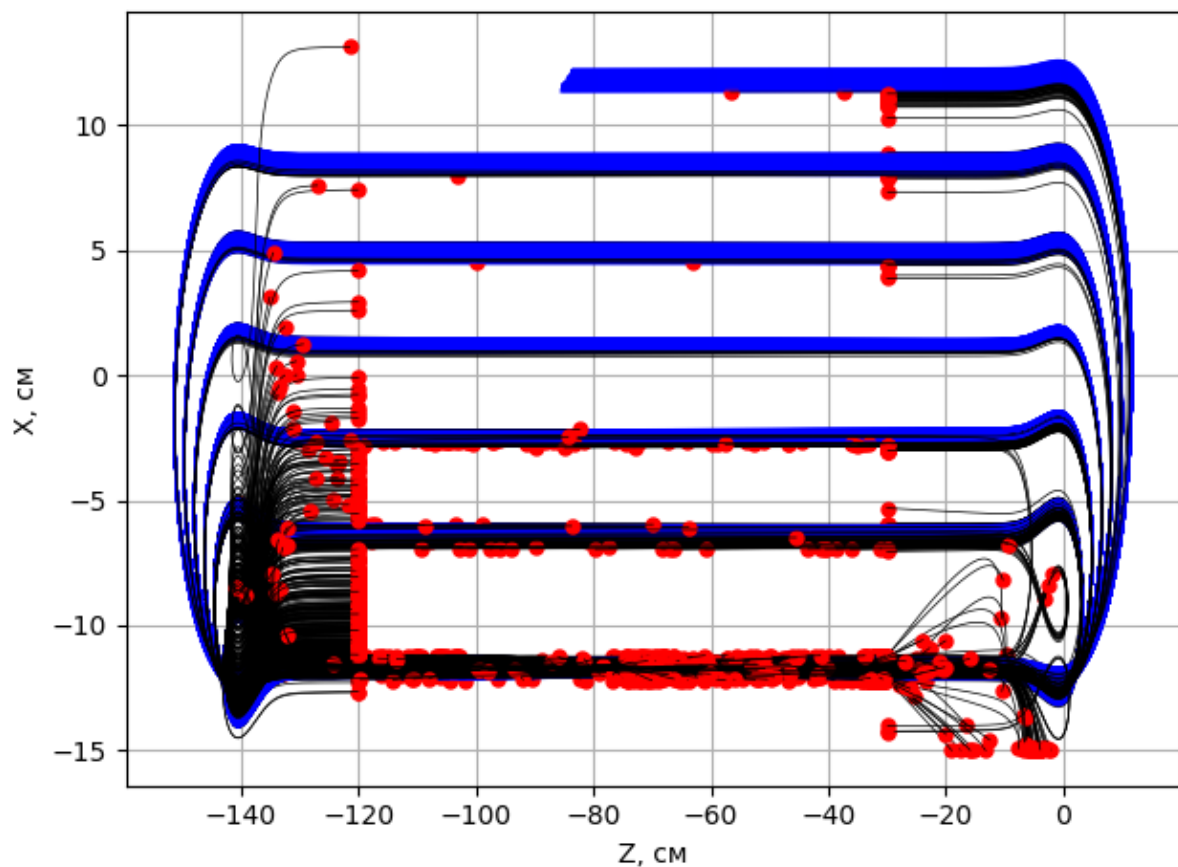


Распределение магнитного поля в медианной плоскости в центре магнита вдоль оси Z .

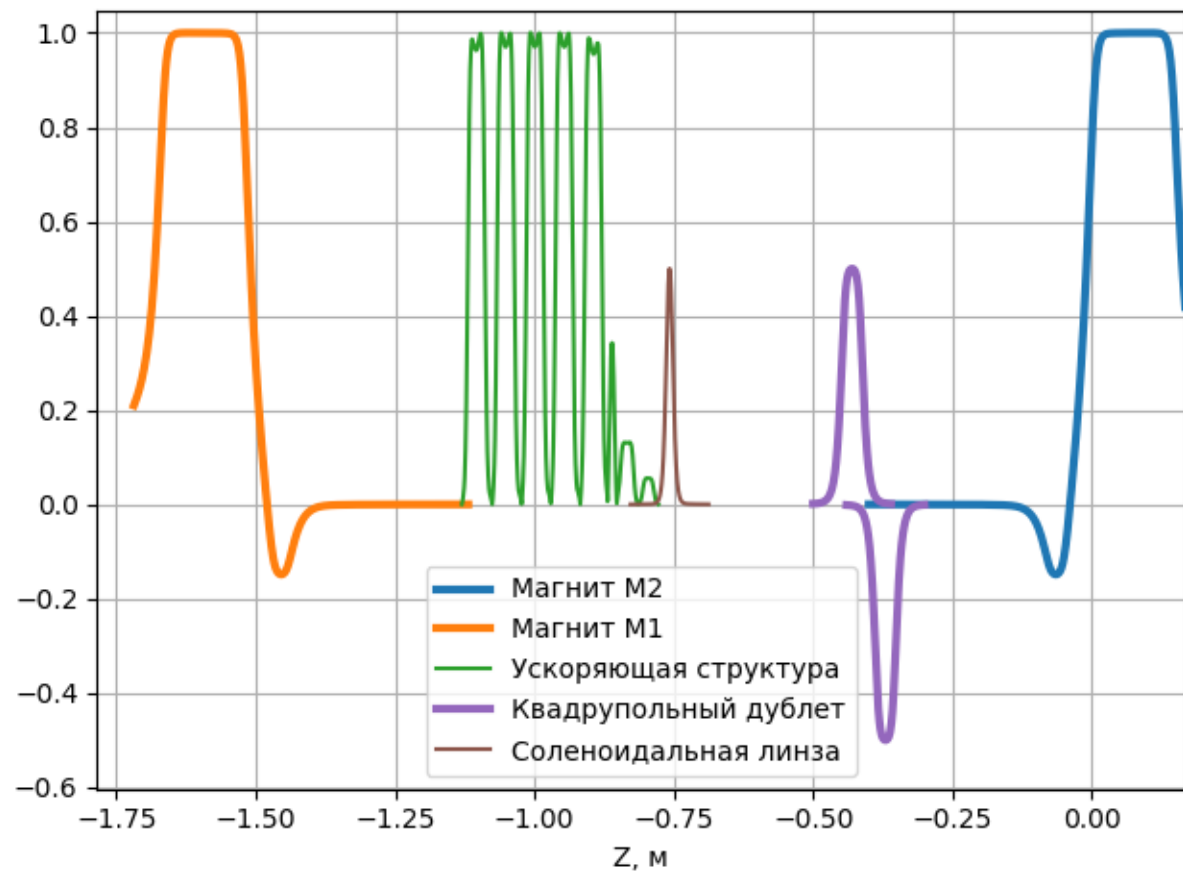


Траектория движения частицы в поворотном магните в плоскости $X - Z$

Движение частиц в разрезном микротроне

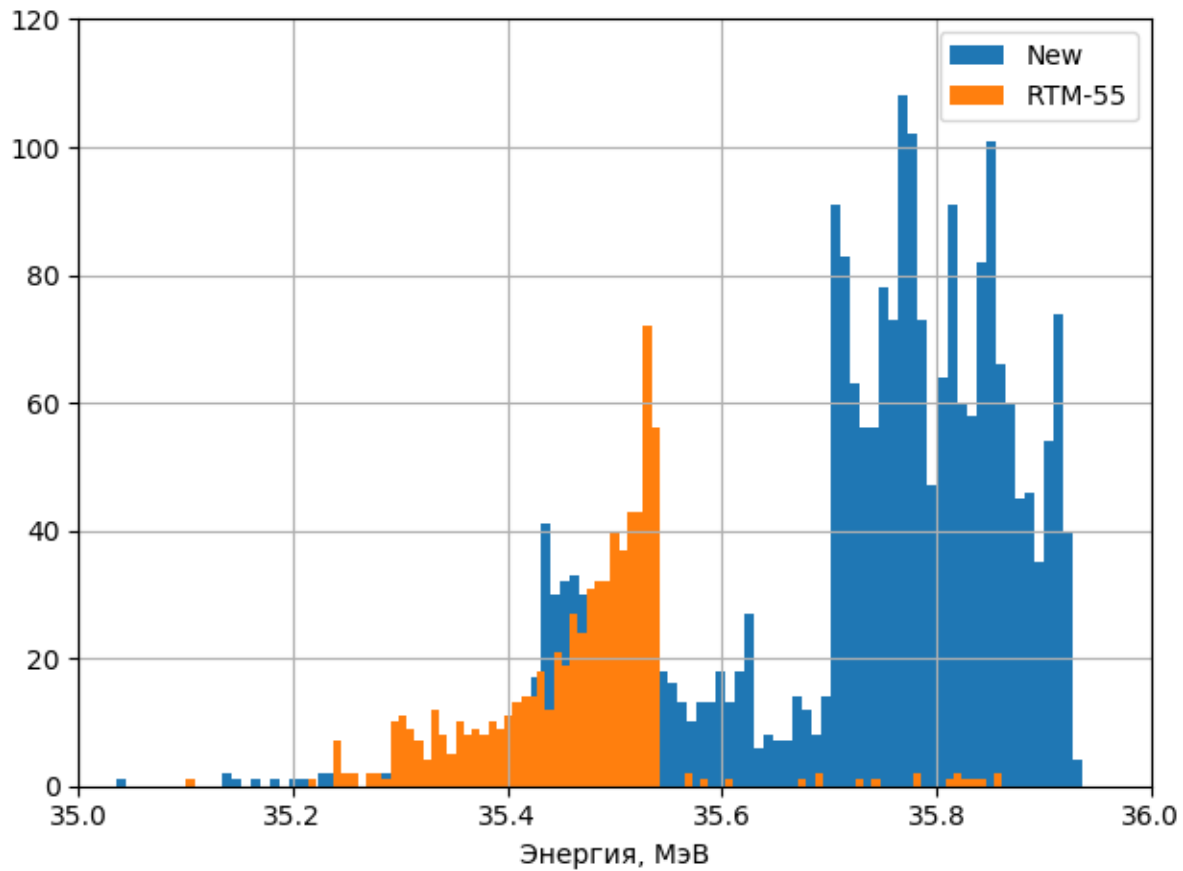


Траектории движения частиц и точки их потери

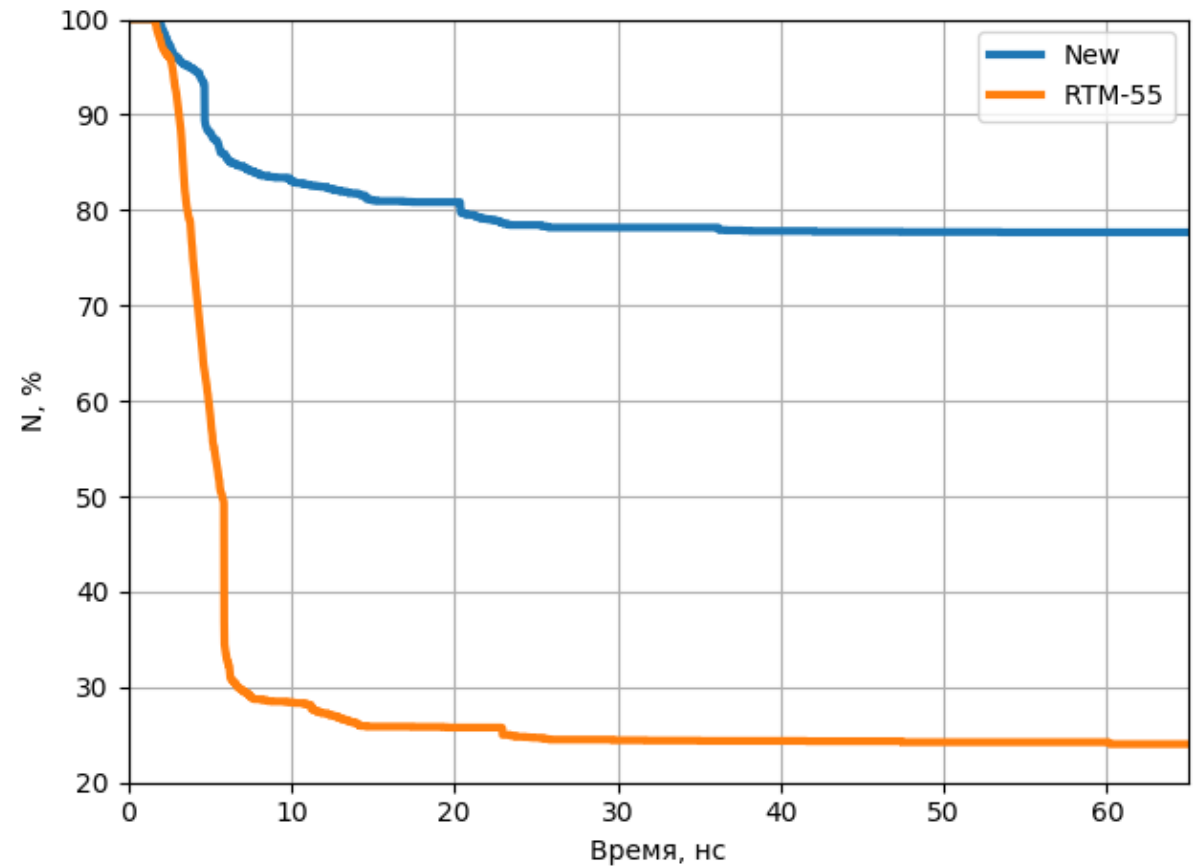


Схематическое распределение электромагнитных полей

Сравнение с RTM-55

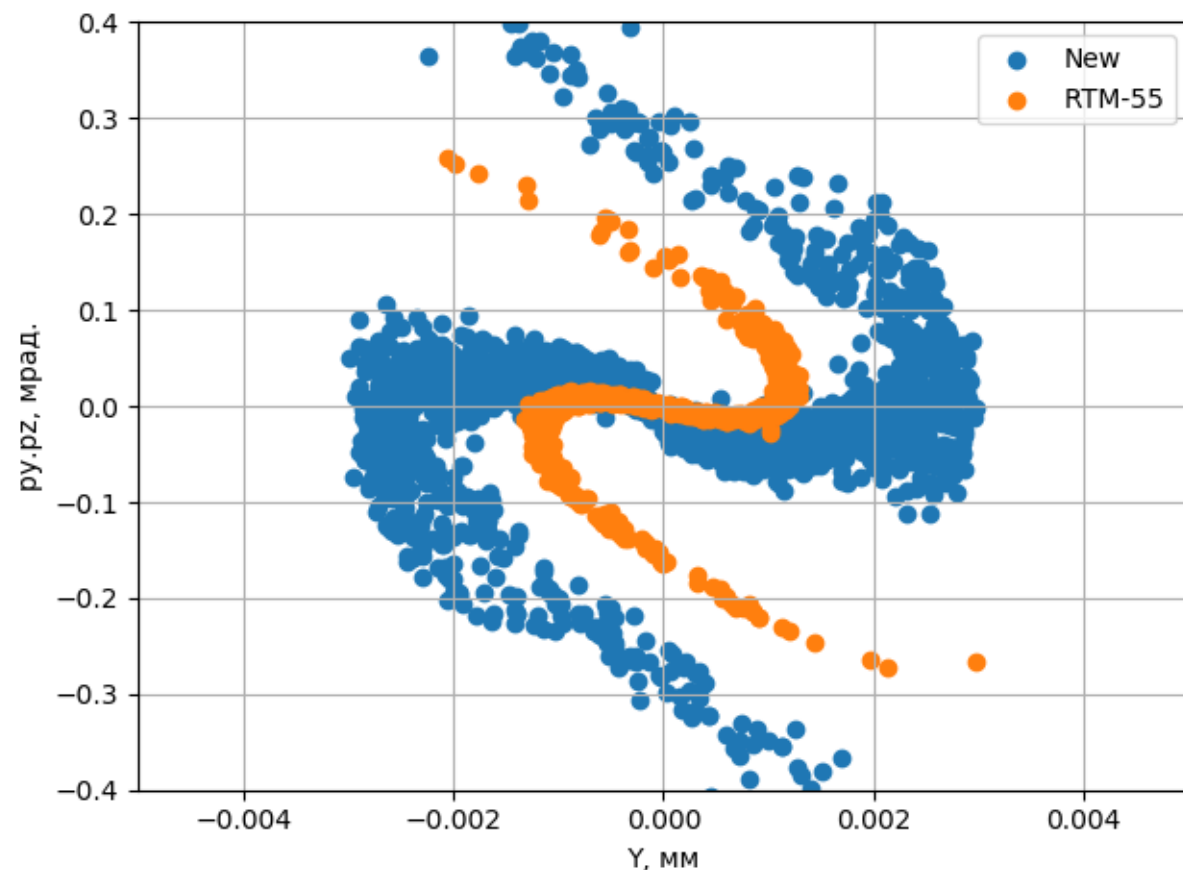
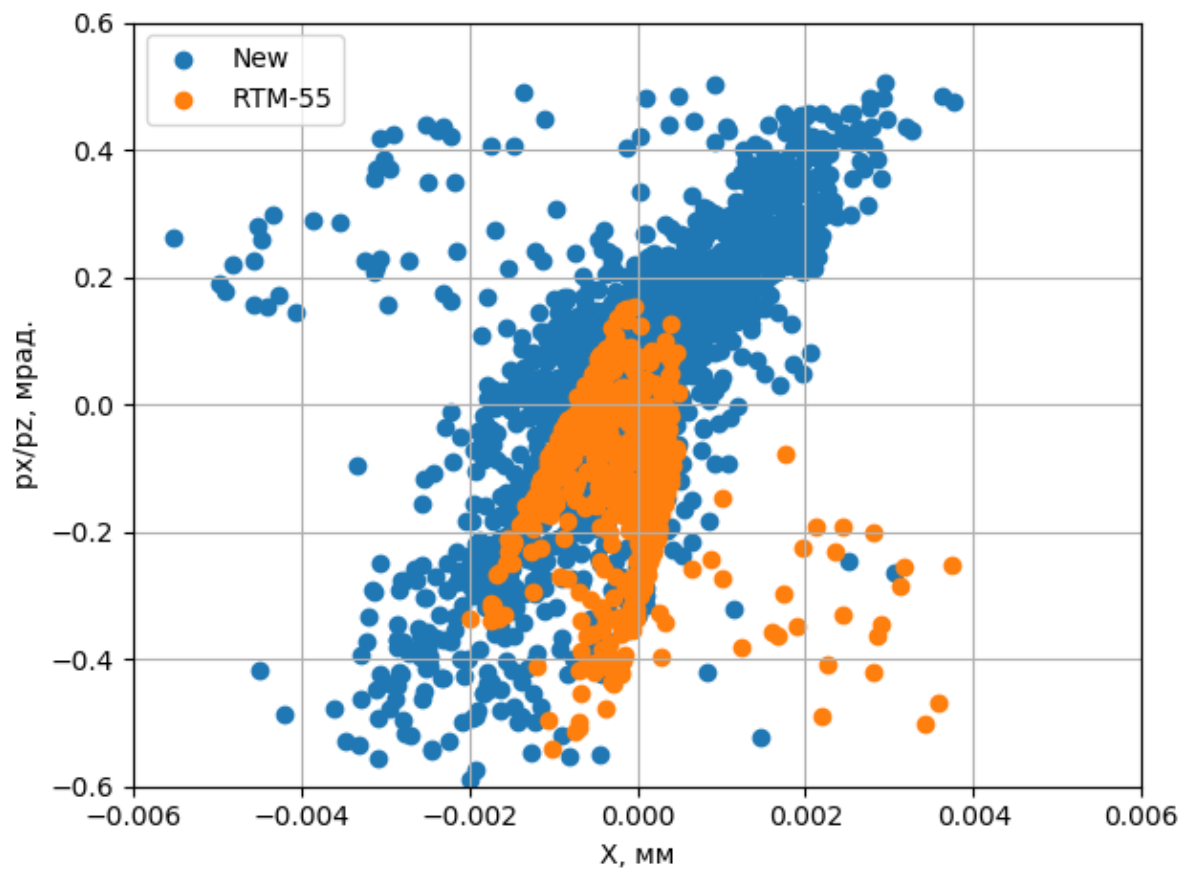


Энергетическое распределение частиц после семи циклов ускорения



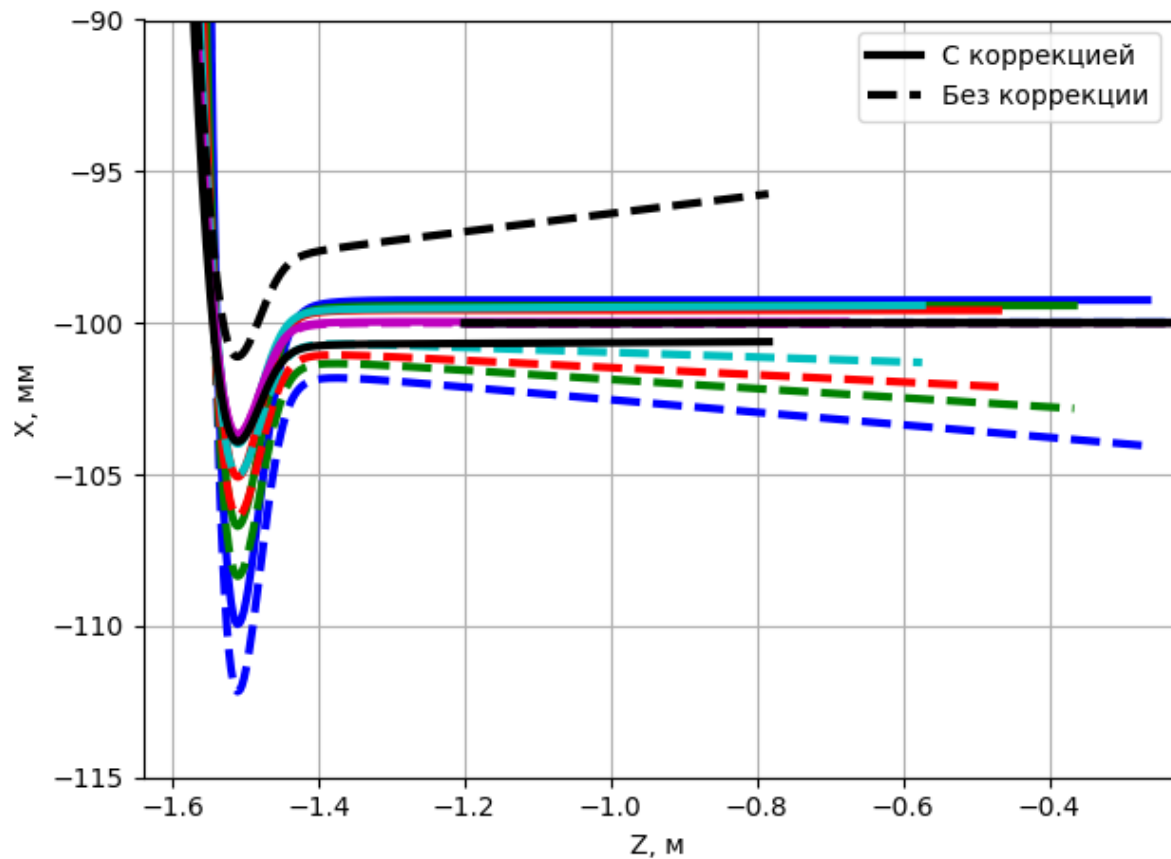
Зависимость количества частиц от времени в процессе ускорения

Сравнение с RTM-55

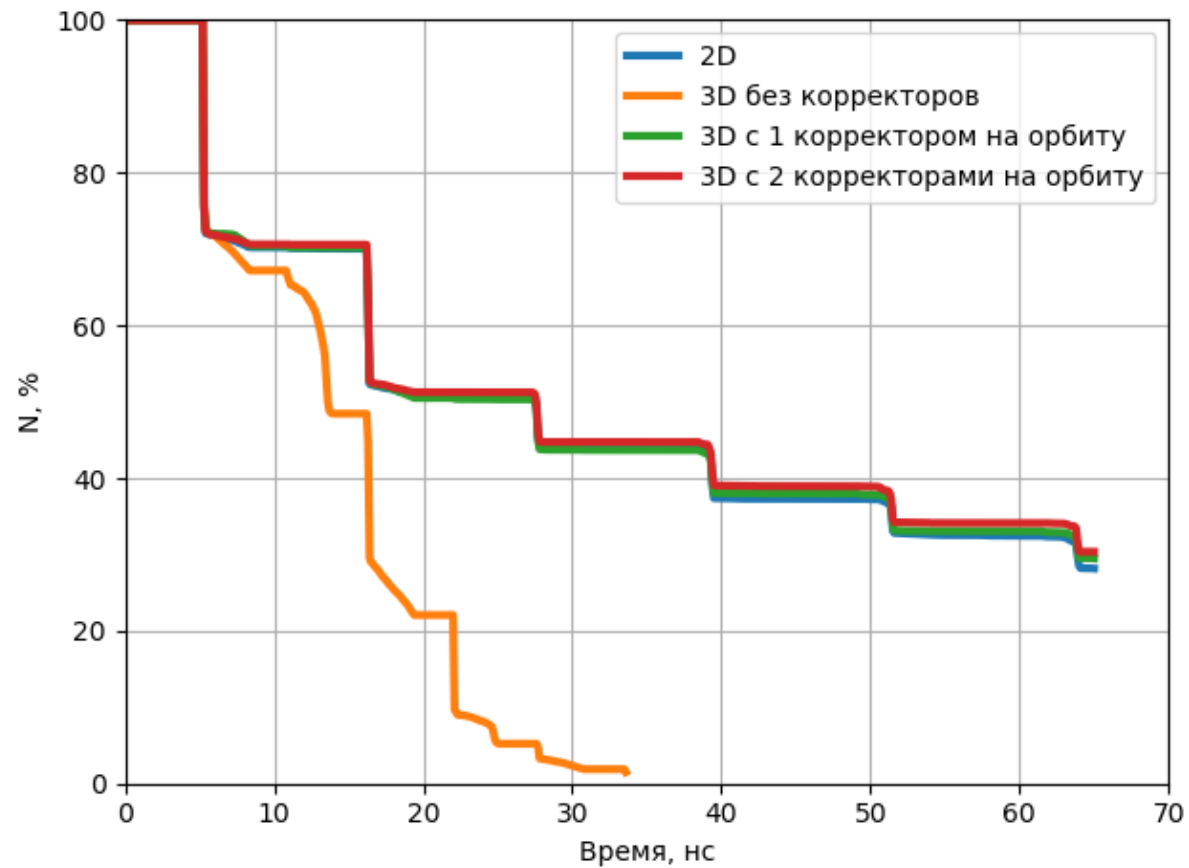


Поперечные фазовые портреты пучка на выходе

Корректоры пучка

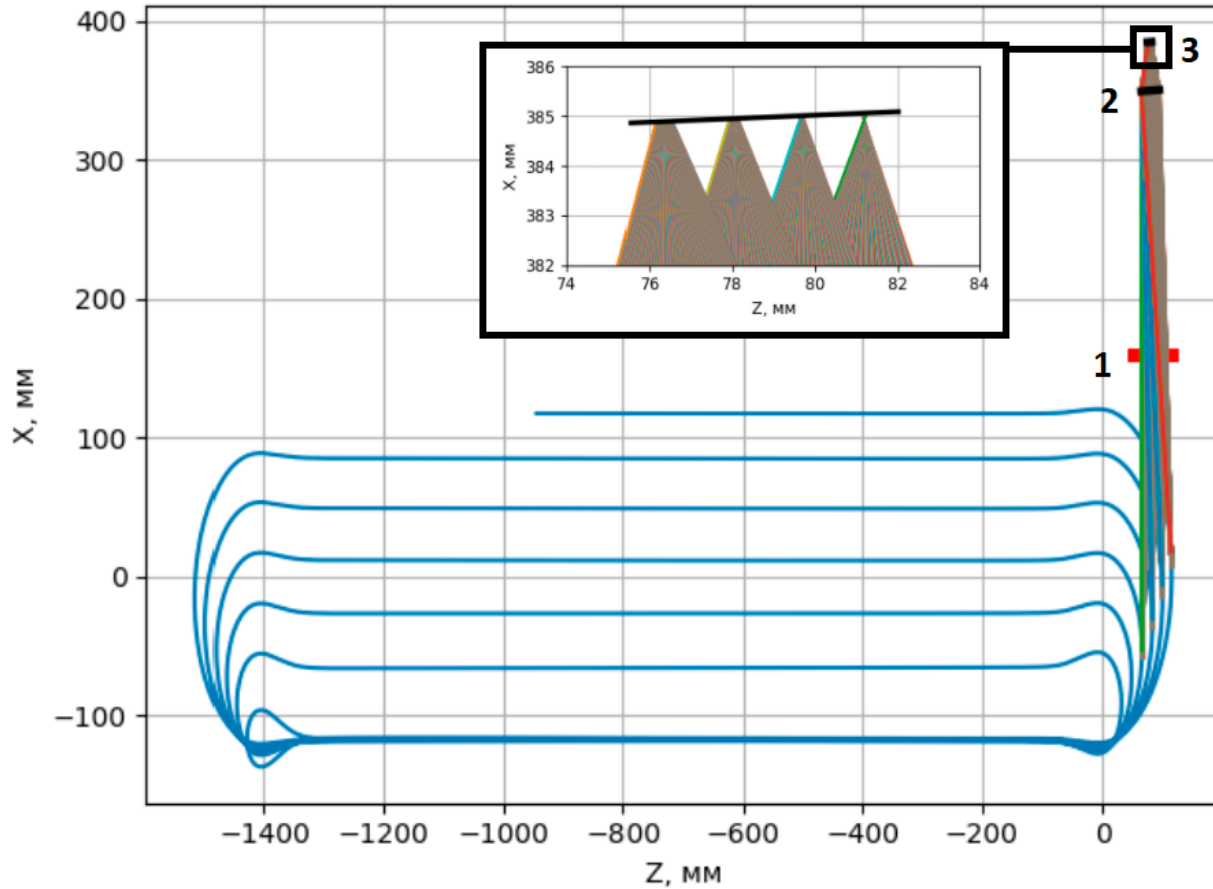


Траектории движения частиц с учетом и без учета корректоров

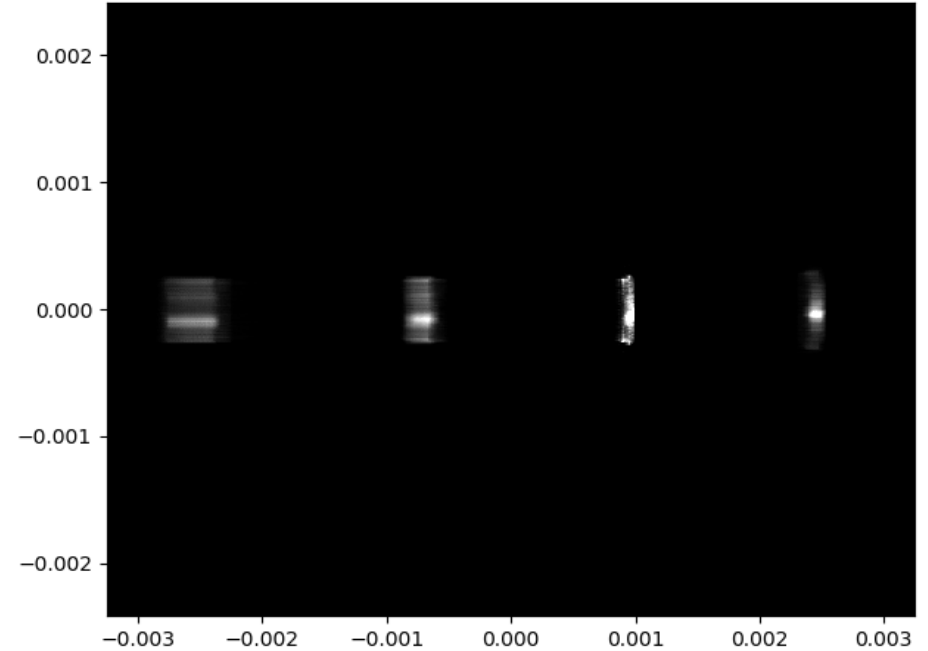


Зависимость количества частиц от времени с учетом корректоров

Синхротронное излучение



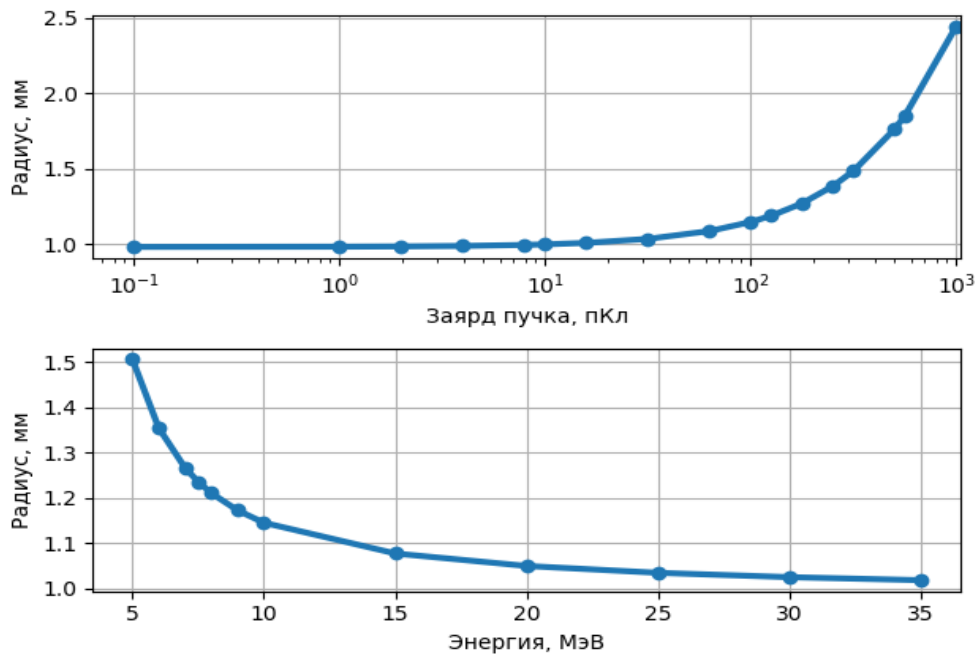
Траектории движения равновесной частицы и формирование изображения от нее



Ошибки восстановления положений поворотных магнитов и амплитуды ускоряющей структуры.

	Медиана	Сигма
Отклонение M1, мм	0.18	0.22
Отклонение M2, мм	0.21	0.25
Отклонение амплитуды ускоряющего поля, %	0.32	0.61

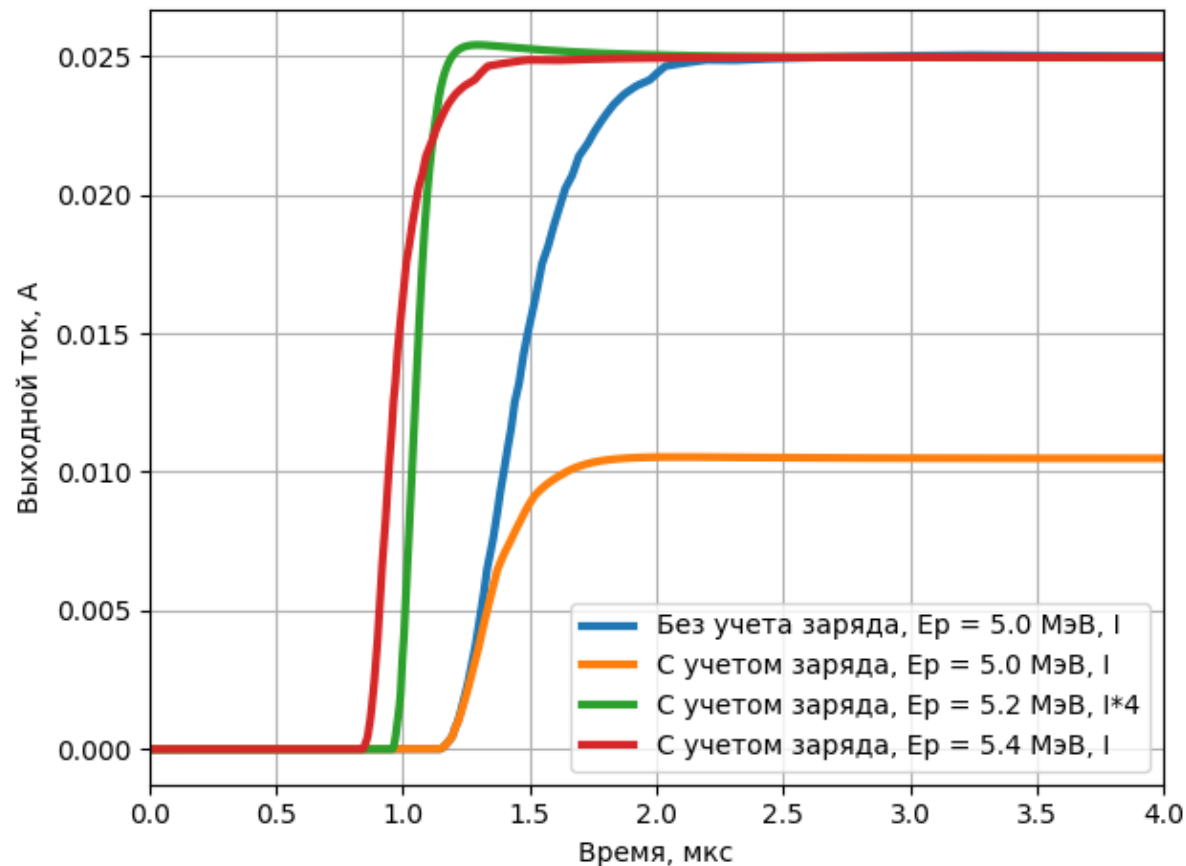
Нагрузка током



Зависимость радиуса пучка от его заряда при прохождении им 1 метра

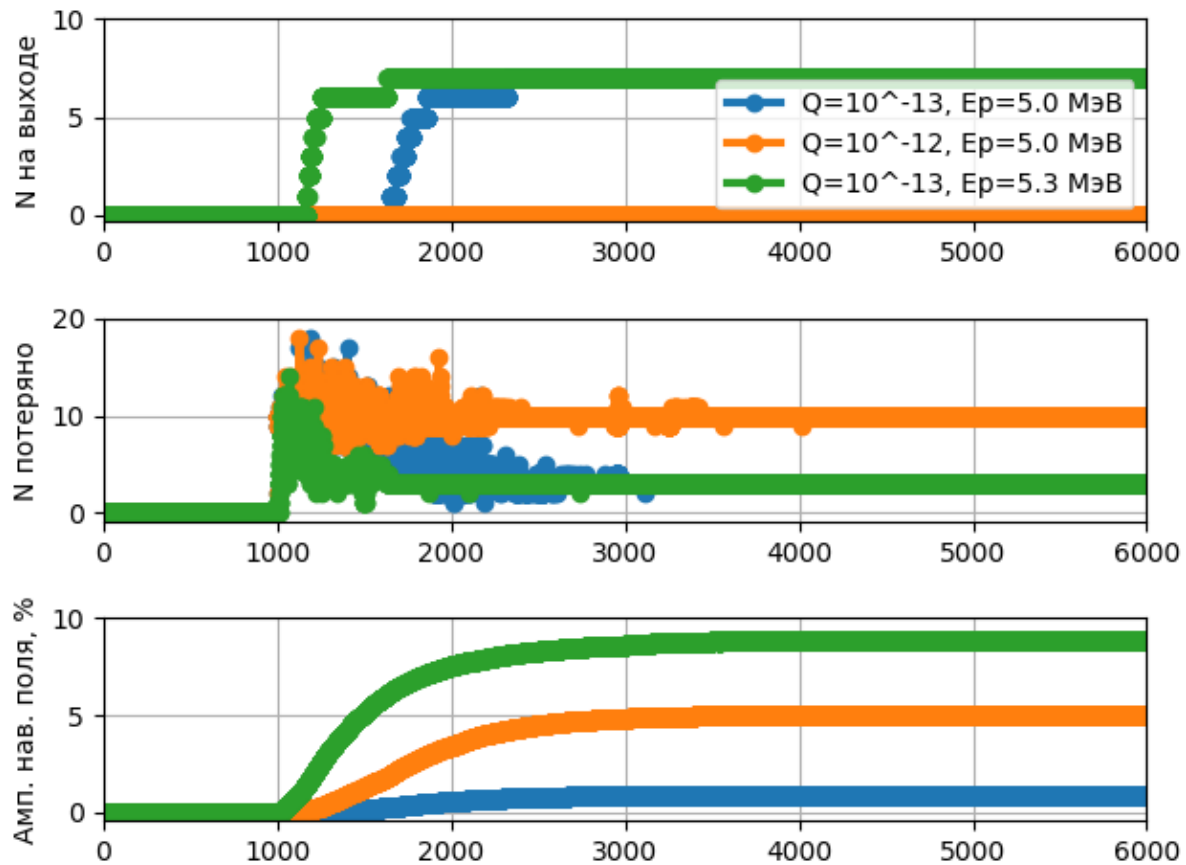
$$V = (1 - e^{-\frac{i_0 * dt}{\tau}}) * A - \sum_i F[i] * \exp\left(-\frac{(i_0 - i) * dt}{\tau}\right)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{4 * Q^2 + 1}}{2\pi f}, Q = \frac{Q_0}{1 + \beta}$$

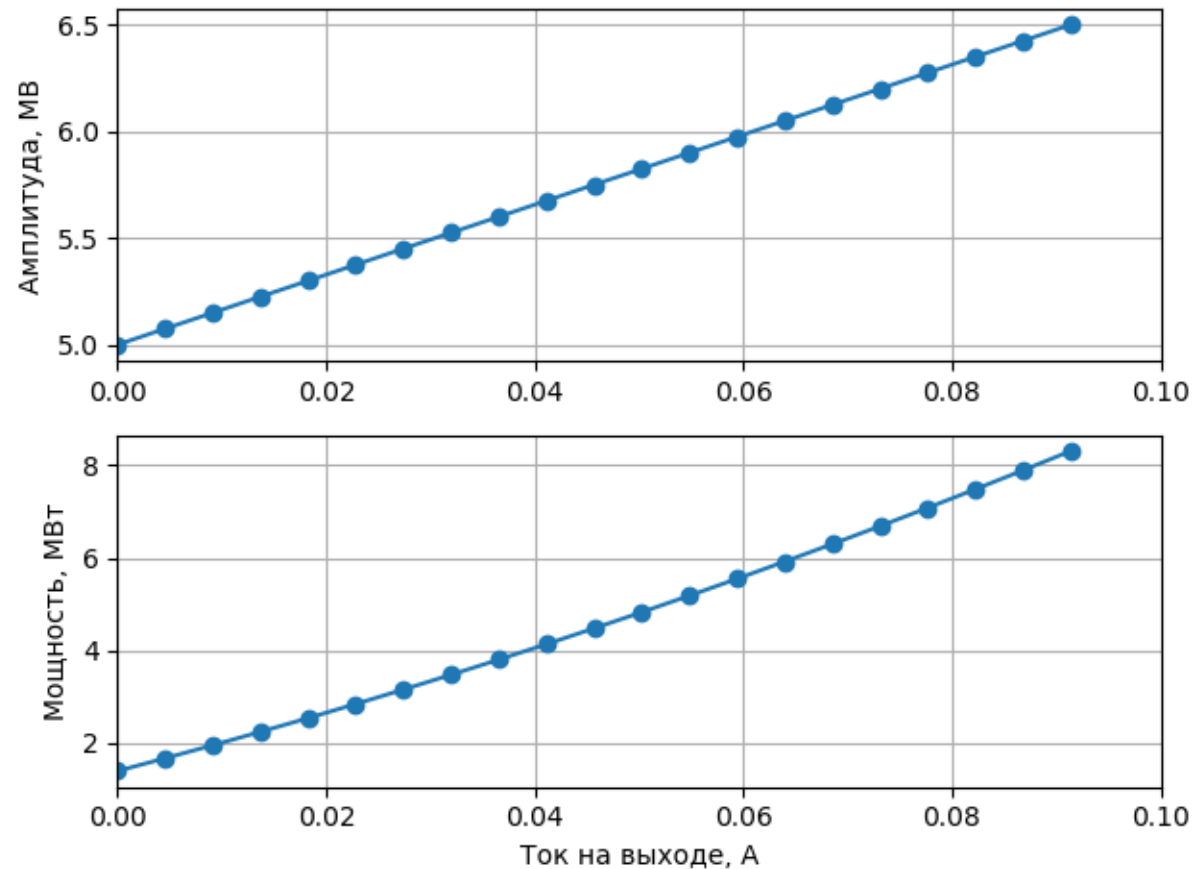


Зависимость величины тока на выходе от времени

Нагрузка током



Зависимость количества частиц от времени



Зависимость амплитуды ускоряющего поля от тока на выходе

Заключение

В данной работе была рассчитана динамика пучка и основные элементы импульсного разрезного микротрона с учетом потерь частиц в процессе ускорения. Используя аксептанс, посредством алгоритмов программы было найдено оптимальное распределение полей в элементах ускорителя. Коэффициент захвата был увеличен по сравнению с RTM-55 с 24 до 76 %. Была изучена система диагностики пучка, позволяющая по изображению синхротронного излучения частиц, оценивать отклонение положений поворотных магнитов и амплитуды ускоряющего поля от своих расчетных значений. Для компенсации неравномерности распределения магнитного поля поворотных магнитов, была промоделирована система коррекции пучка. Для оценки нагрузки током пучка было показано, что посредством увеличения напряженности ускоряющего поля можно добиться максимального выходного тока в 65 мА без учета возможности возбуждения сильноточной неустойчивости.

Спасибо за внимание!