



# Магнитные расчеты соленооида детектора SPD

Семинар SPD Collaboration

Е. АНТОХИН, Т. ДЕРБЫШЕВА

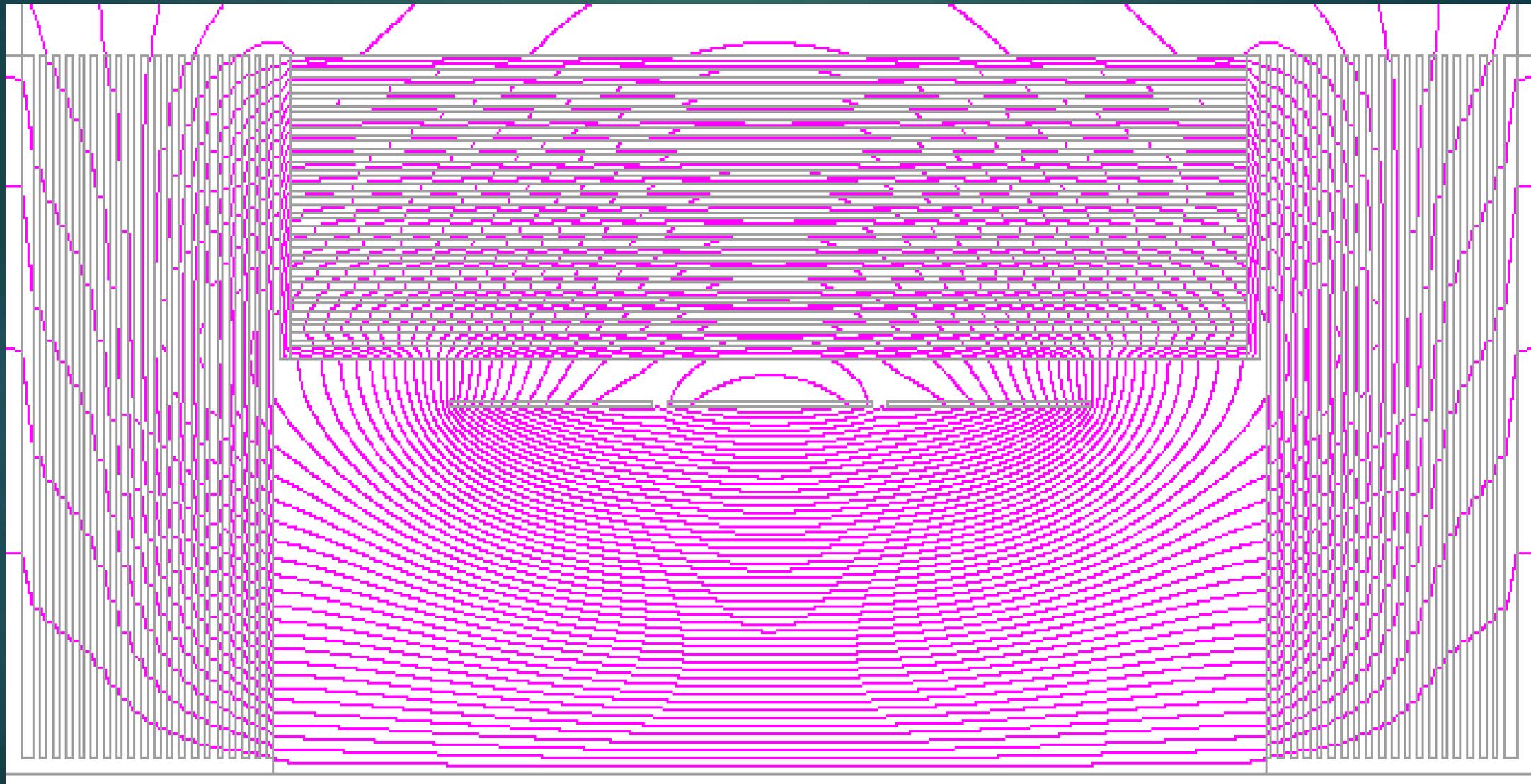
17 Ноября 2023

ОИЯИ, Дубна, Россия.

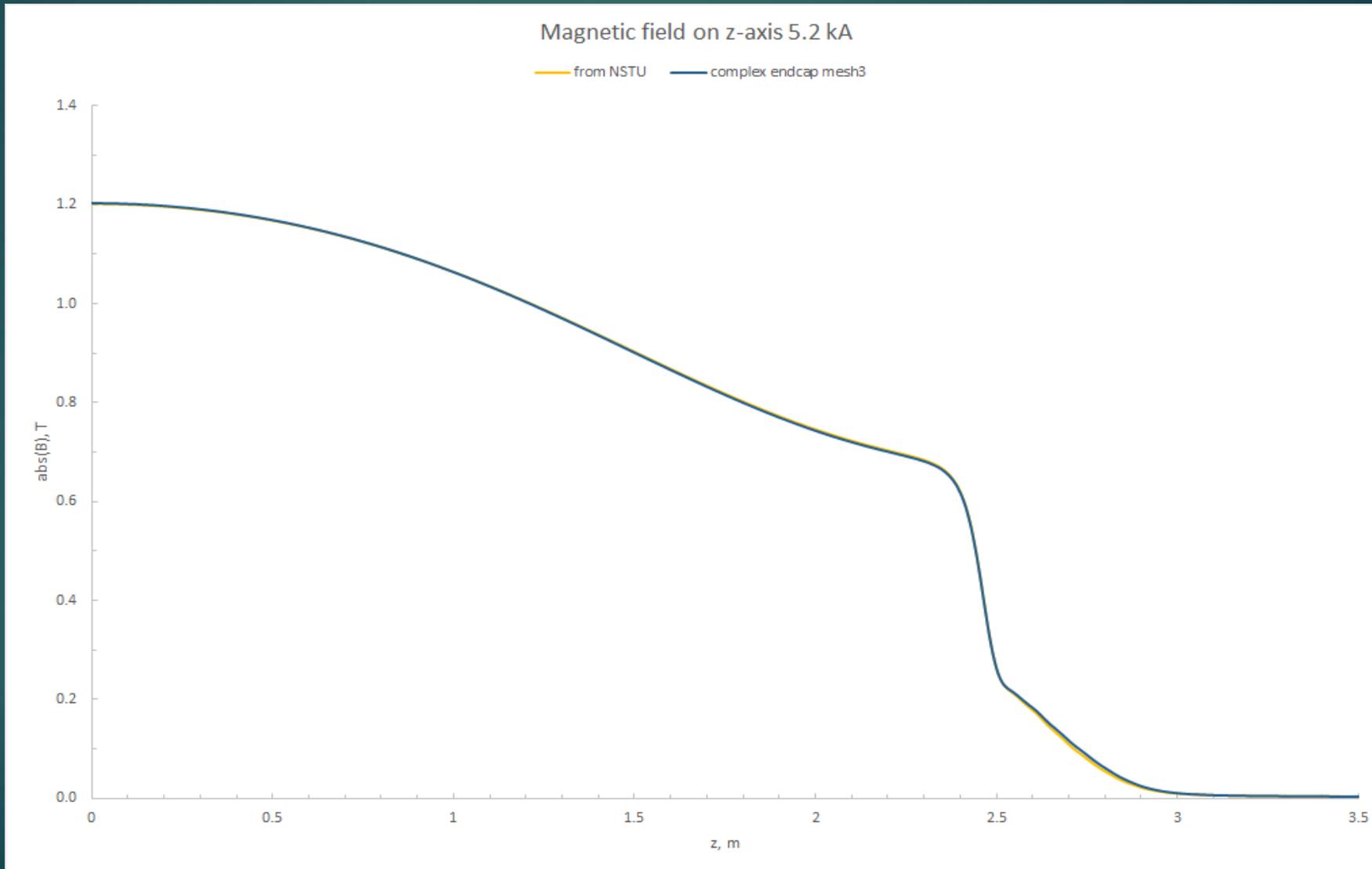
# Основные условия.

- ▶ Программное обеспечение - TELMA
- ▶ Кол-во катушек детектора – 3
- ▶ 150 витков в центральной катушке и 300 витков в боковых (+30 в последней версии)
- ▶ Материал магнитопровода – Сталь 3
- ▶ Ток 5200 А

# ОБЩИЙ ВИД МАГНИТА С СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ.



# Продольная компонента поля на оси.

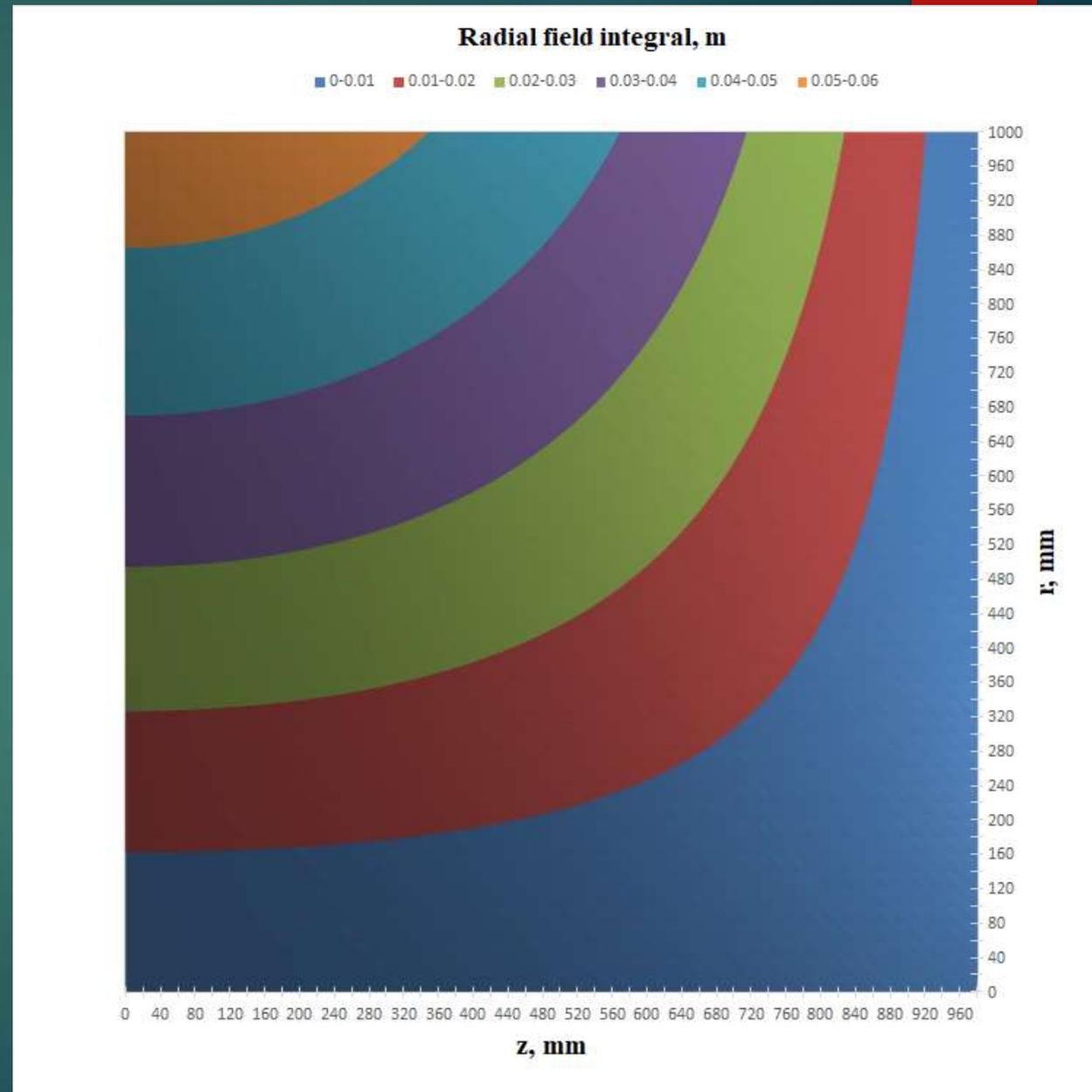


# Радиальный интеграл.

Витки катушек  
300-150-300

Интеграл рассчитываем по формуле от текущего Z до 100 см на разных радиусах r.

$$Int = \left\{ \left| \int_z^{100} \frac{Br(r, z)}{Bz(r, z)} dz \right| \right\}$$



# Улучшение однородности с помощью корректирующих катушек.

## Цель работы:

Нахождение конфигурации дополнительных корректирующих катушек на краю основной СП катушки для улучшения однородности продольной компоненты поля  $B_z$  на оси и радиусе 1 м соленоида. Необходимо обеспечить однородность  $B_z$  не хуже 7-8% в области  $Z=0-140$  см и  $R=0-100$  см.

## Граничные условия:

- Дополнительные СП корректирующие катушки должны иметь два слоя.
- Корректирующие катушки не могут располагаться в области между основными СП катушками и замыкающим вертикальным магнитопроводом и выходить за габариты основных катушек.
- Необходимо минимизировать кол-во слоев по радиусу для упрощения конструкции криостата.
- Ток в основных катушках равен току в корректирующих катушках.

# Улучшение однородности с помощью корректирующих катушек.

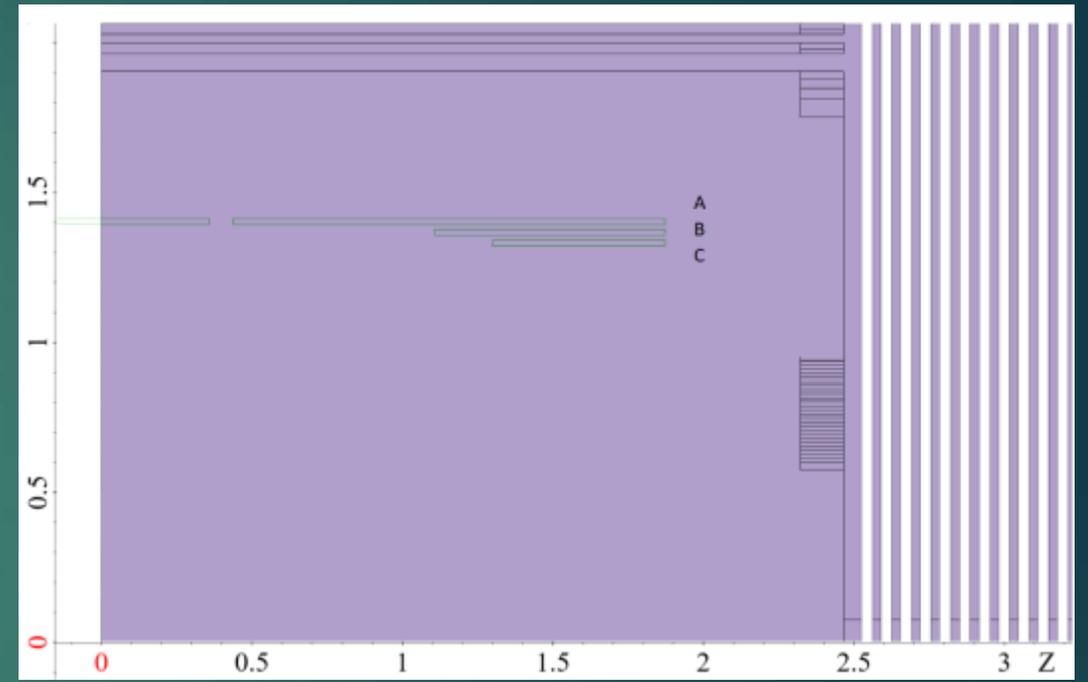
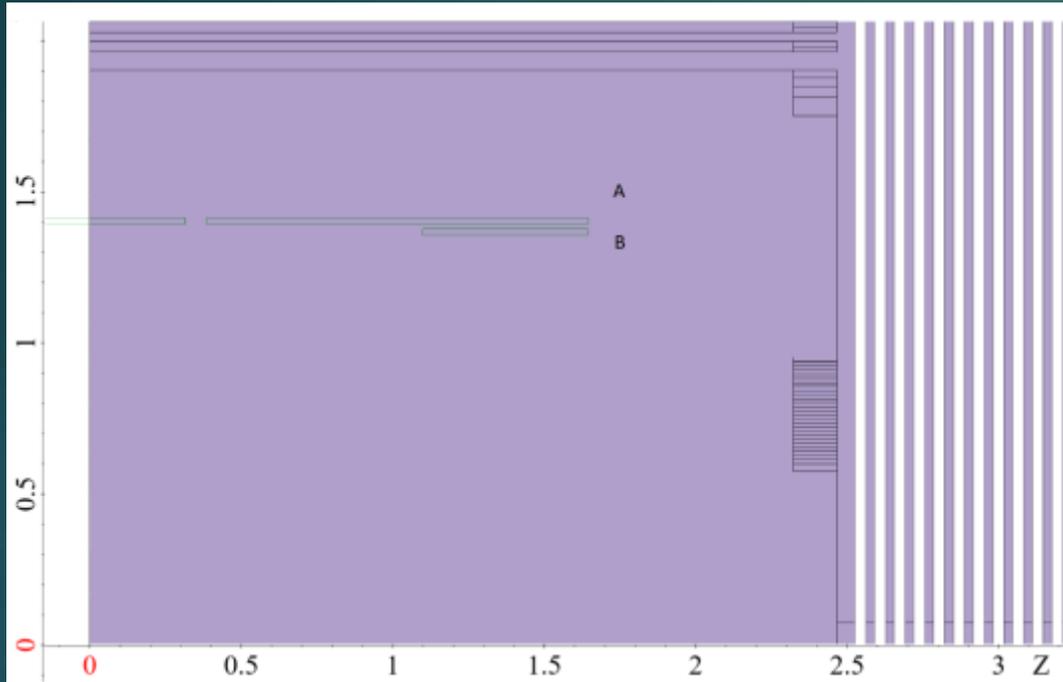


Таблица 1. Варианты задания для случая с двумя корректирующими катушками

	Катушка В	Катушка С
1	2 слоя по 60 витков	2 слоя по 60 витков
2	2 слоя по 20 витков	2 слоя по 50 витков
3	2 слоя по 50 витков	2 слоя по 50 витков
4	2 слоя по 40 витков	2 слоя по 40 витков

# Улучшение однородности с помощью корректирующих катушек.

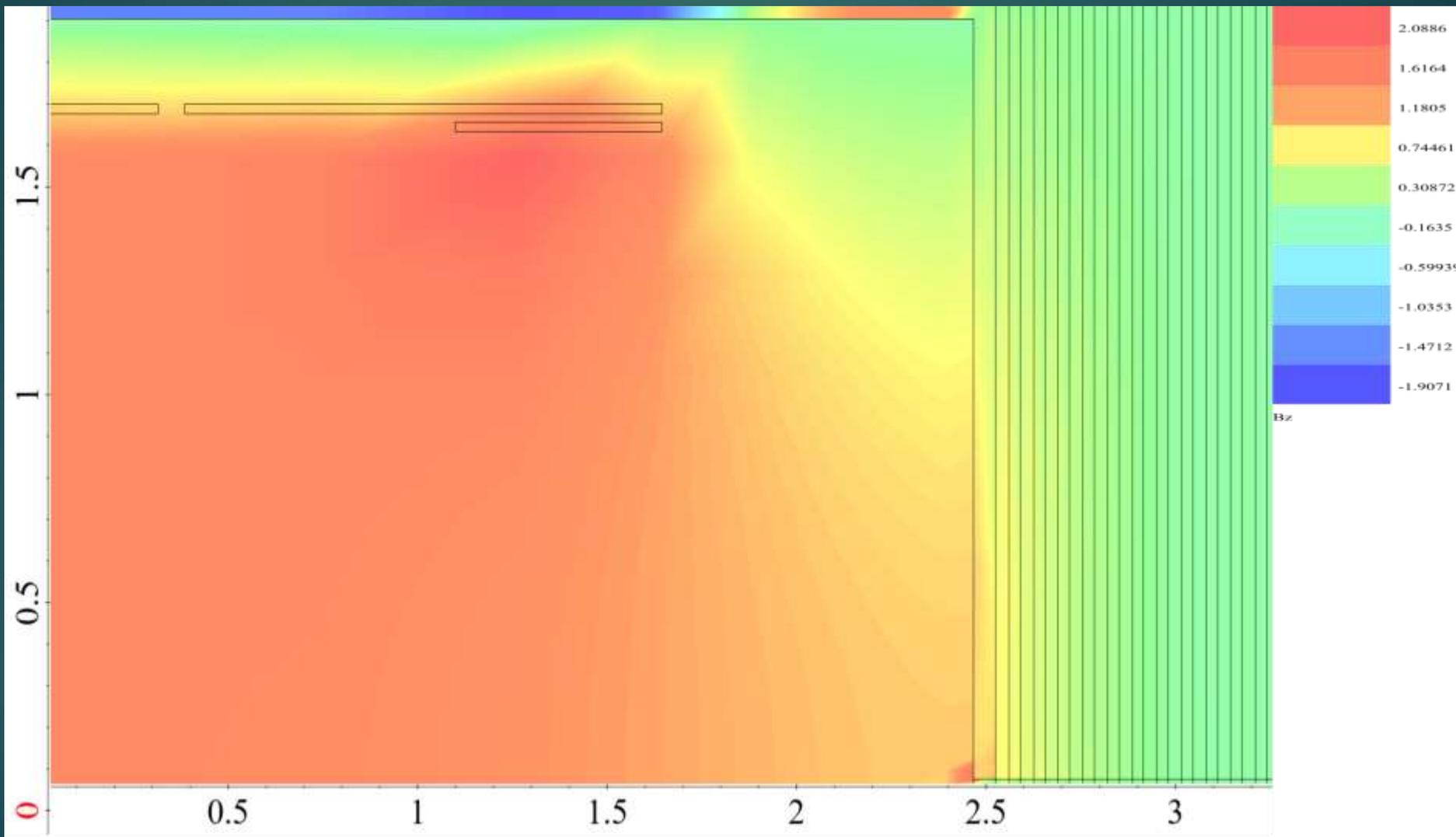


Рисунок 1. Распределение  $B_z$  в сечении  $YZ$  при  $x = 0$  для катушки  $65 \times 2$

# Улучшение однородности с помощью корректирующих катушек.

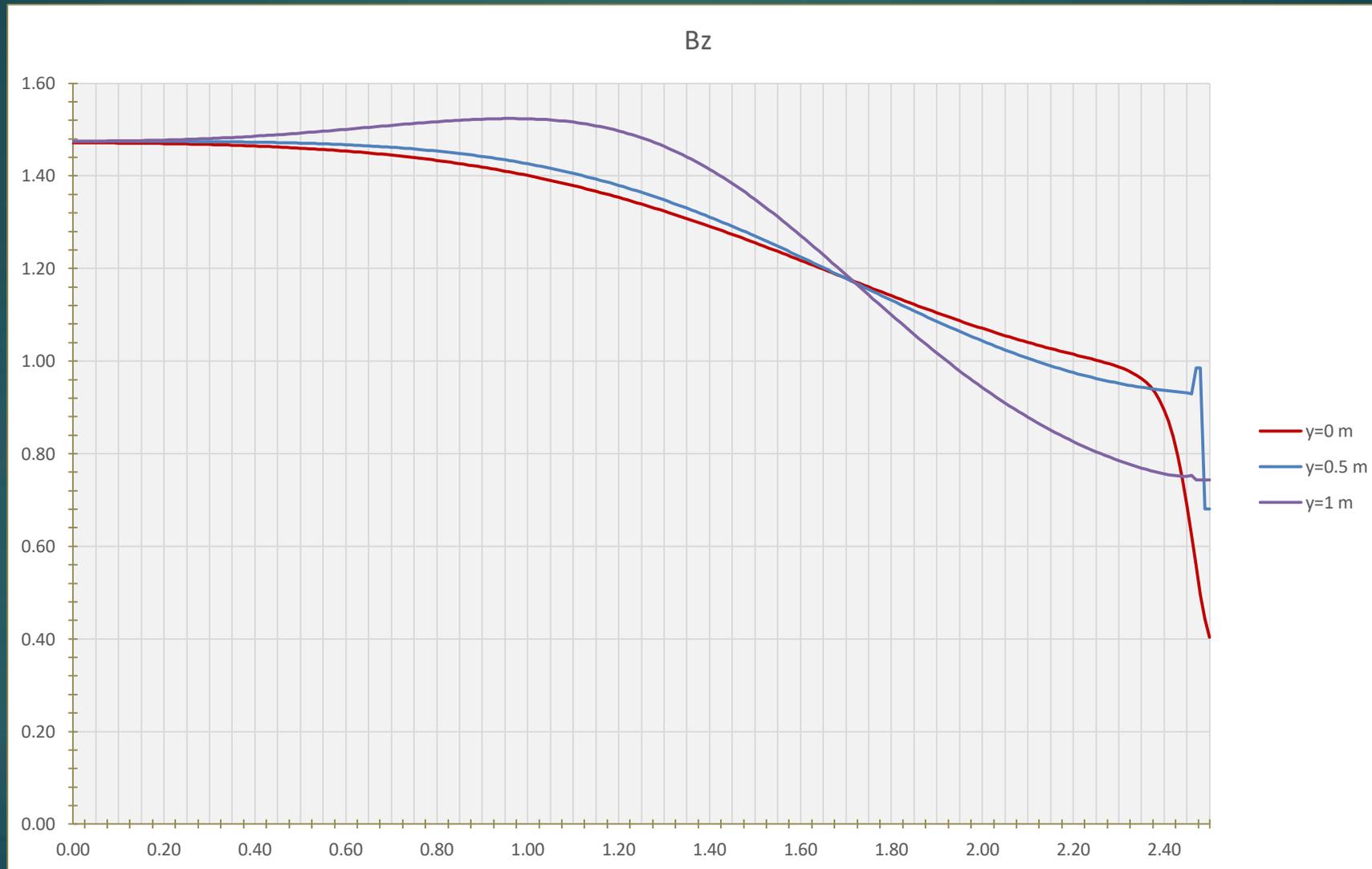


Рисунок 2. График  $B_z(z)$  для катушки 65x2

## Улучшение однородности с помощью корректирующих катушек.

Таблица 2. Максимальные значения отклонений значений  $B_z(z)$  от  $B_z(0)$  в %

	$Y=0$	$Y=0.5$	$Y=1$
<b>65x2</b>	12.2	10.8	3.74
<b>60x2+60x2</b>	5.67	2.87	13.7
<b>20x2+50x2</b>	9.7	8	3.94
<b>50x2+50x2</b>	6.63	4.22	10.1
<b>40x2+40x2</b>	8.25	6.31	5.77
<b>80x2+30x2+30x2</b>	3.87	3.38	15.8

## Улучшение однородности с помощью выключения центральной катушки.

Потенциальный вариант улучшения однородности поля без применения корректирующих катушек рассмотрен как выключение центральной катушки с целью уменьшения ее вклада в центральную область соленоида.

Несмотря на то, что однородность несколько улучшается (до 10 %), ее величина все равно недостаточна.

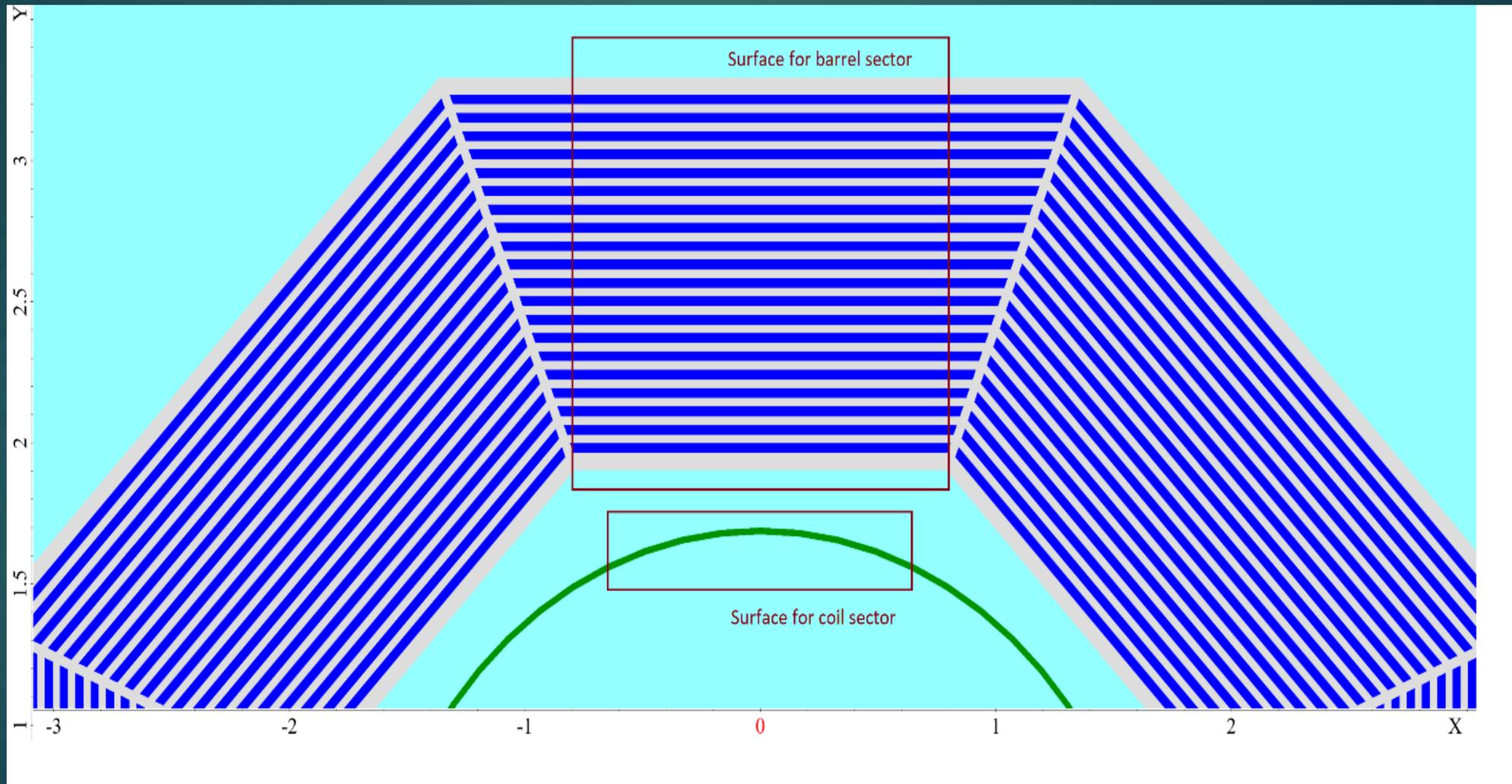
Существенным недостатком этого метода улучшения однородности является уменьшение поля соленоида и как следствие необходимость увеличения тока с 5200 А до 6500 А. При этом критический ток сверхпроводника не имеет необходимого запаса при данном поле.

# Силы на двери и катушки.

Magnetic force, air gap 1 mm before endcaps, N

	comp.	Barrel top sector (half along Z)	Barrel top sector	Endcaps (half)	Endcaps	Center coil (top sector 1/8)	Side coil (top sector 1/8)
F, kN	X (horiz.)	0	0	-12.4	0	0	0
	Y (vert.)	-143.8	-287.6	0	0	658.9	1185.9
	Z (long.)	67.5	0	-694.1	-1700	0	-594.1

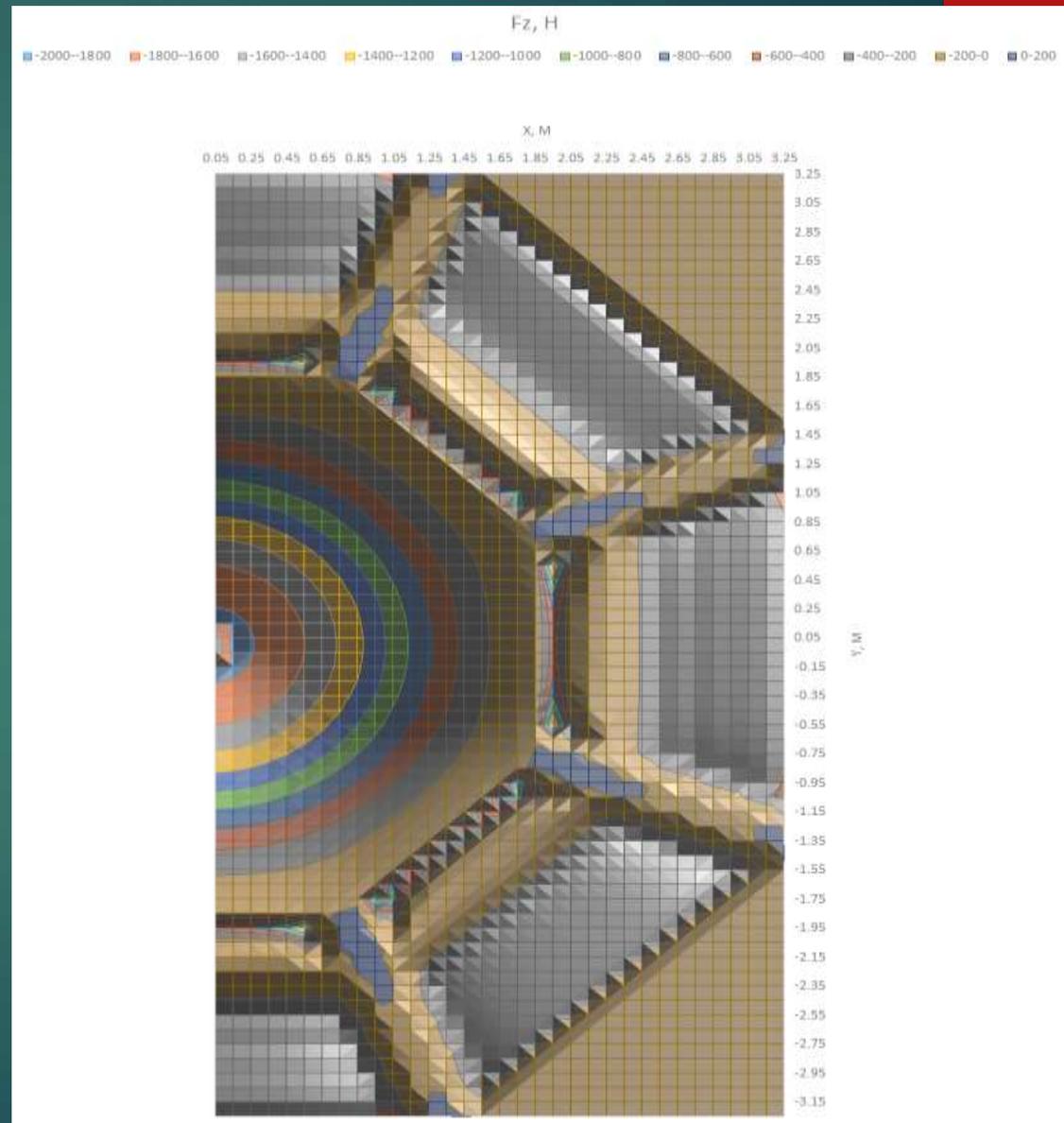
# Силы на barrel.



# Расчет магнитных сил, действующих на дверь . Сетка 10 см.

На рисунке представлена карта распределения магнитных сил, действующих на одну из створок двери.

Значения сил рассчитаны для центров соответствующих элементов сетки 0.1 x 0.1 м. и отображены цветовыми диапазонами по 200 Н.



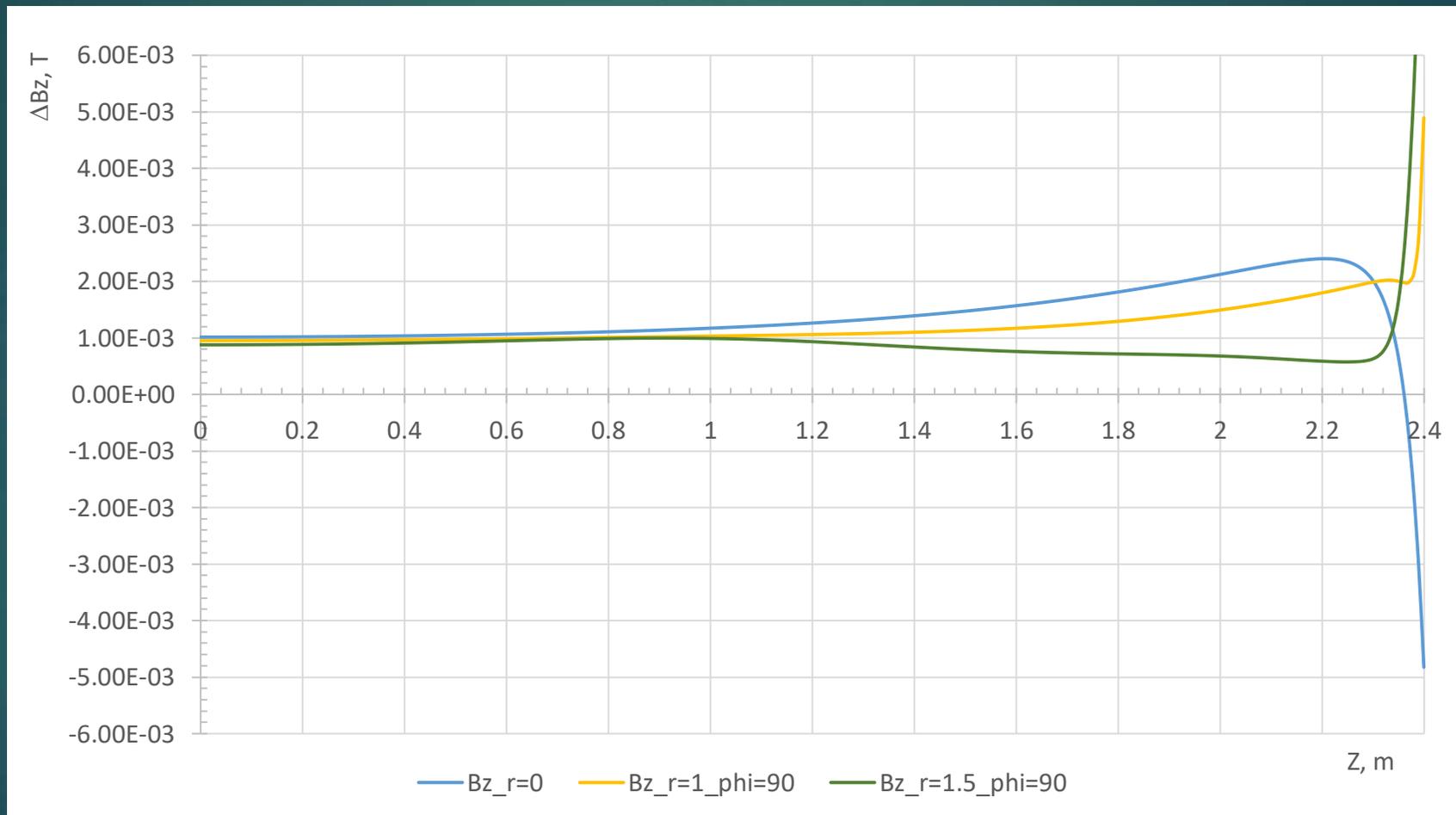
# Расчет магнитных сил, действующих на катушки при смещении.

Magnetic force on coils				
	comp.	Left coil	Central coil	Right coil
<b>F, kN</b>	X (horiz.)	0	0	0
	Y (vert.)	0	0	0
	Z (long.)	4748.0	0	-4748.0
<b>F, kN z +5 mm</b>	X (horiz.)	0	0	0
	Y (vert.)	0	0	0
	Z (long.)	4521.4	-69.6	-4743.4
<b>F, kN y +5 mm</b>	X (horiz.)	0	0	0
	Y (vert.)	-2152.8	-1065.1	-2152.8
	Z (long.)	4752.8	-0.3	-4753.3

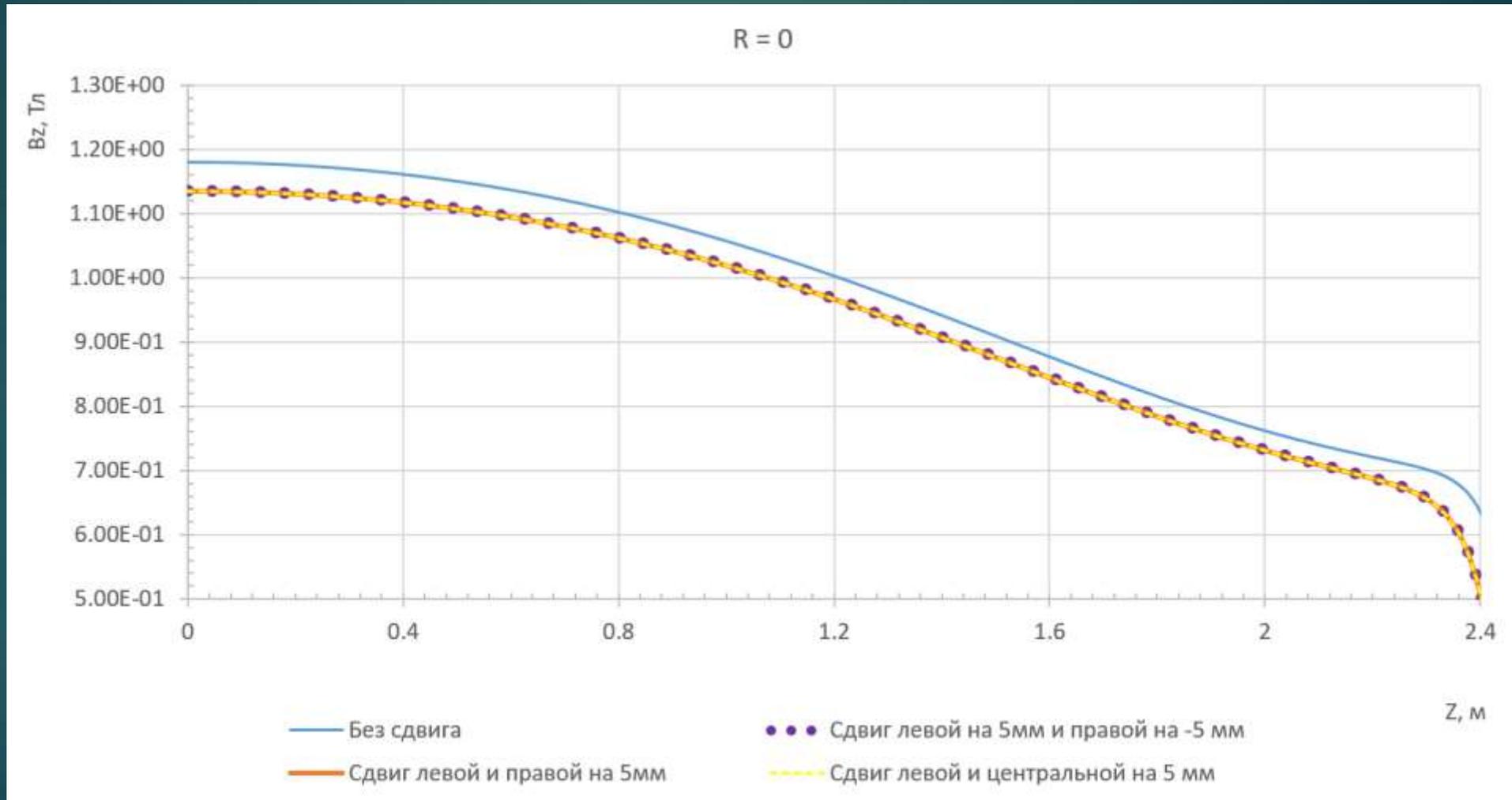


В последней СТЕП модели кол-во витков было увеличено на 30 (+12 в боковых катушках и +6 в центральной). Ток уменьшен с 5200 А до 5000 А.

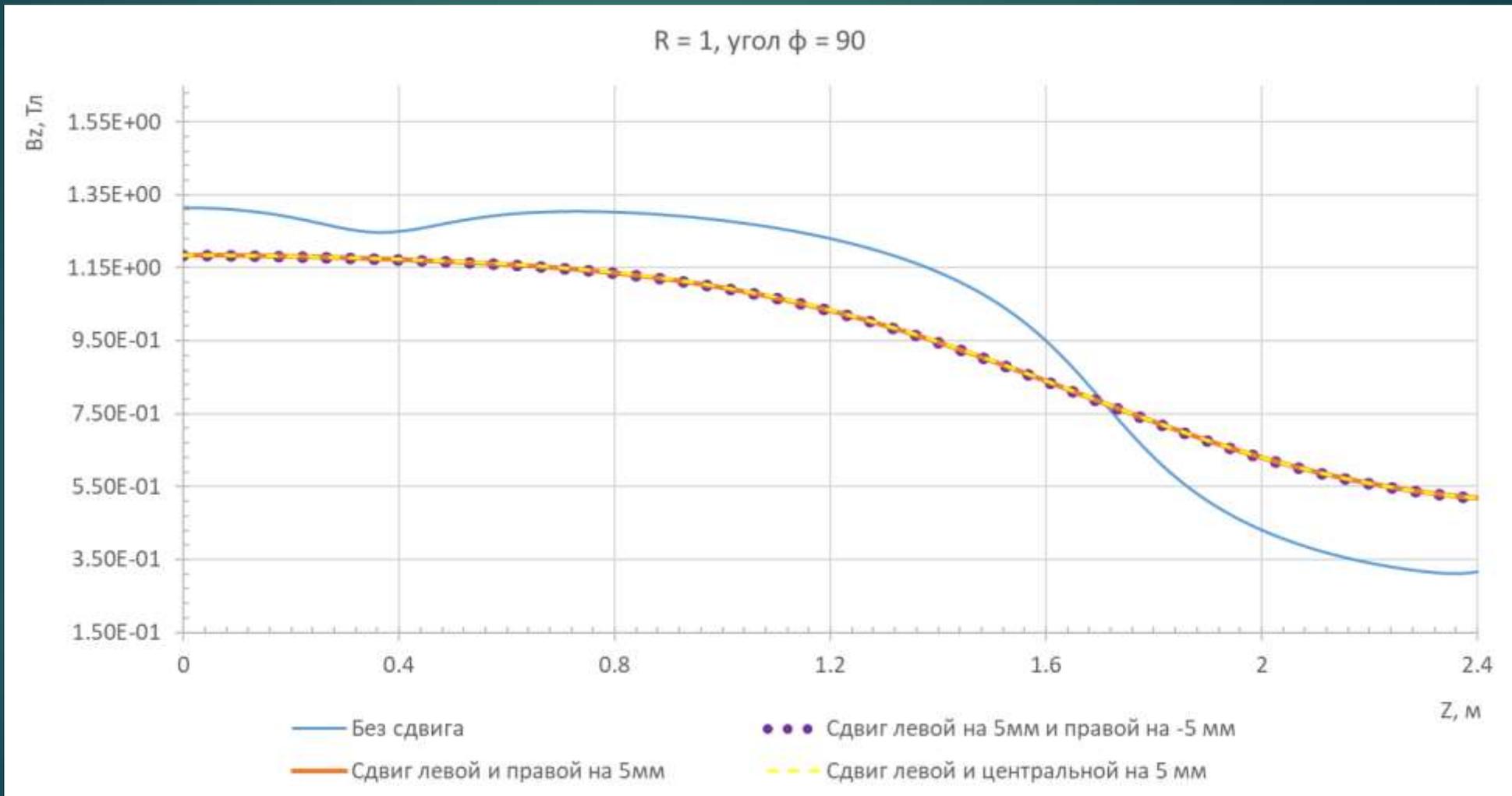
Разница между распределением компоненты  $B_z$  вдоль  $Z$  с зазором 5 мм barrel-endcap и без зазора.



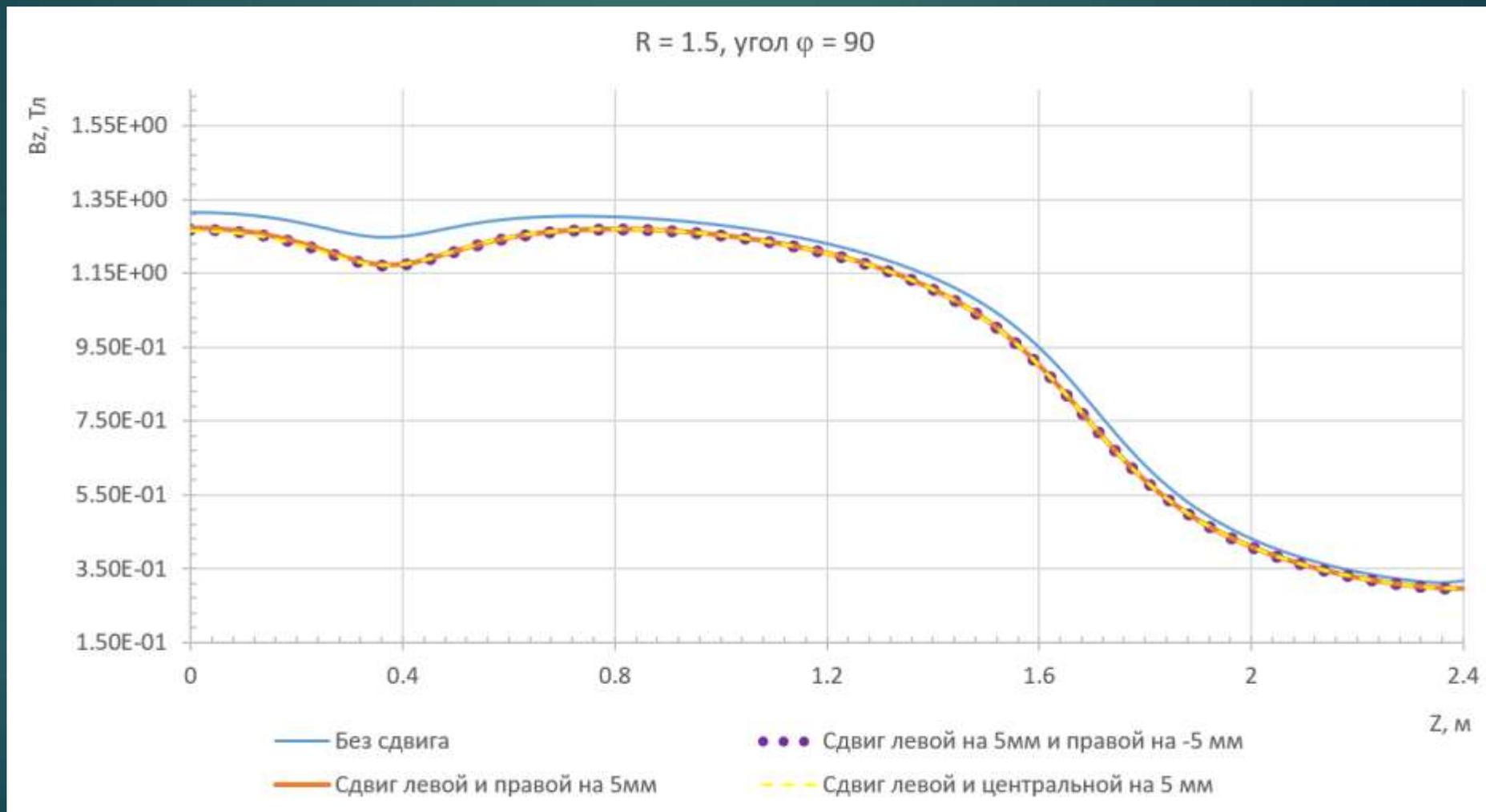
# Сравнение распределения компоненты $V_z$ вдоль $Z$ при сдвиге катушек 5 мм и без сдвига



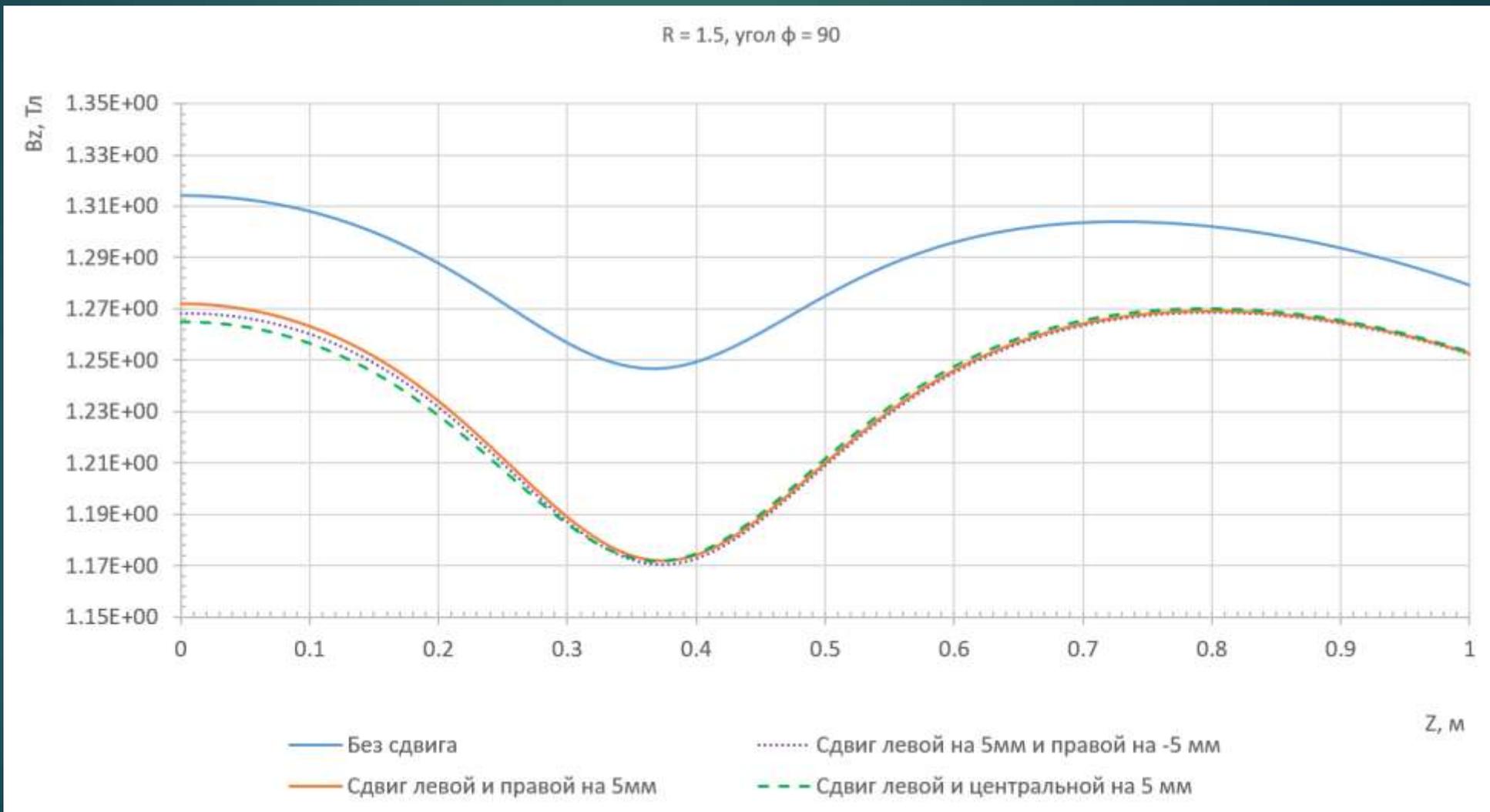
# Сравнение распределения компоненты $V_z$ вдоль $Z$ при сдвиге катушек и без сдвига



# Сравнение распределения компоненты $V_z$ вдоль $Z$ при сдвиге катушек и без сдвига



# Сравнение распределения компоненты $B_z$ вдоль $Z$ при сдвиге катушек и без сдвига





Thank you for  
attention.