

Отчет.

Оптимизация однородности магнитного поля детектора SPD.

ИЯФ СО РАН.

Август 2022.

Цель работы состоит в нахождении конфигурации дополнительных корректирующих катушек на краю боковых СП катушек или конфигурации основных СП катушек для улучшения однородности продольной компоненты поля B_z на оси и радиусе 1 м соленоида. Необходимо обеспечить однородность B_z не хуже 8-10% в области $Z=0-140$ см и $R=0-100$ см.

Входные условия:

Конфигурация основной СП катушки и магнитопровода согласно последней СТЕП модели с тремя катушками.

Ток СП катушки – 5200 А.

Сечение проводника - 8 мм x10 мм.

Граничные условия:

Необходимо минимизировать кол-во слоев корректирующих катушек по радиусу для упрощения конструкции криостата.

Ток в основных катушках равен току в корректирующих катушках.

Вариант с изменением конфигурации основных катушек в виде отключения центральной катушки предпочтительнее, т.к. не маняет конструкцию криостата.

Расчеты проводились на 3D программном комплексе MASTAC.

Рассмотрены три варианта задания корректирующих СП катушек:

- 1) Одна корректирующая катушка, заданная под основной СП катушкой

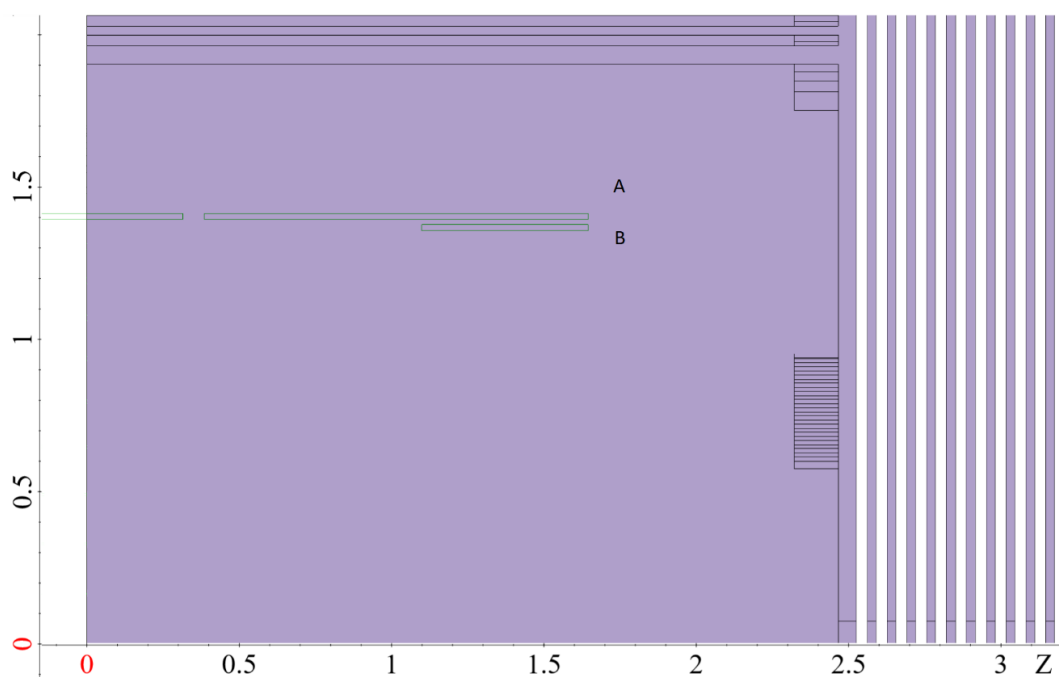


Рисунок 1 - Общий вид сечения катушек в плоскости YZ

Здесь А – основная СП катушка, В – корректирующая катушка. В катушке В 2 слоя по 65 витков.

- 2) Две корректирующие катушки, заданные под основной СП катушкой

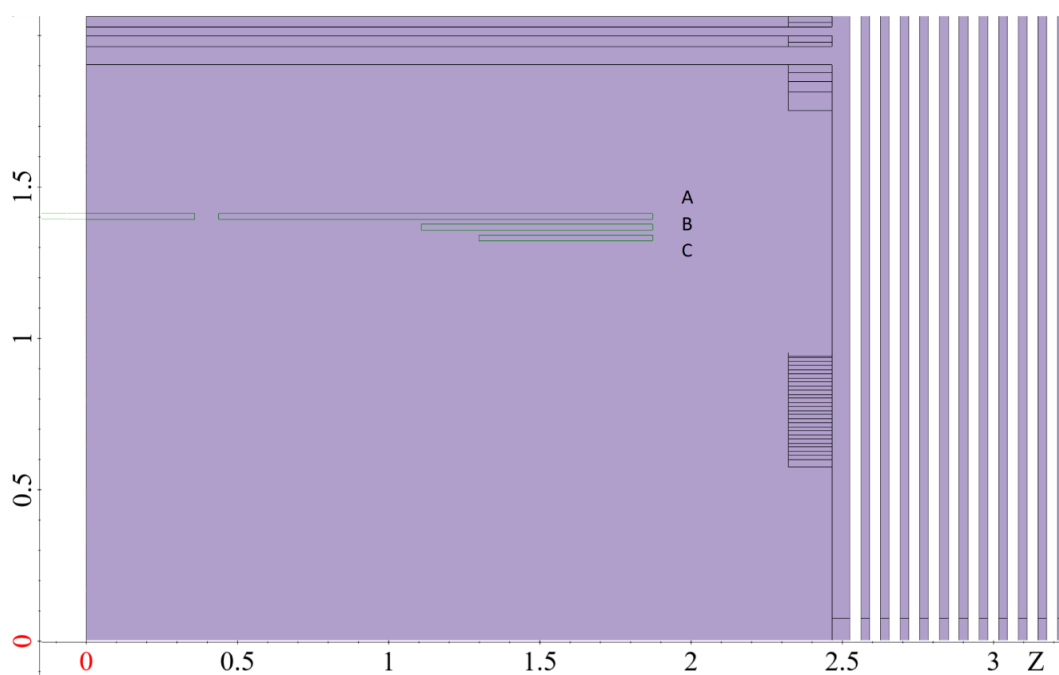


Рисунок 2 - Общий вид сечения катушек в плоскости YZ

На рисунке 2 А – основная СП катушка, В и С – корректирующие катушки.

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

3) Три корректирующие катушки, заданные под основной СП катушкой

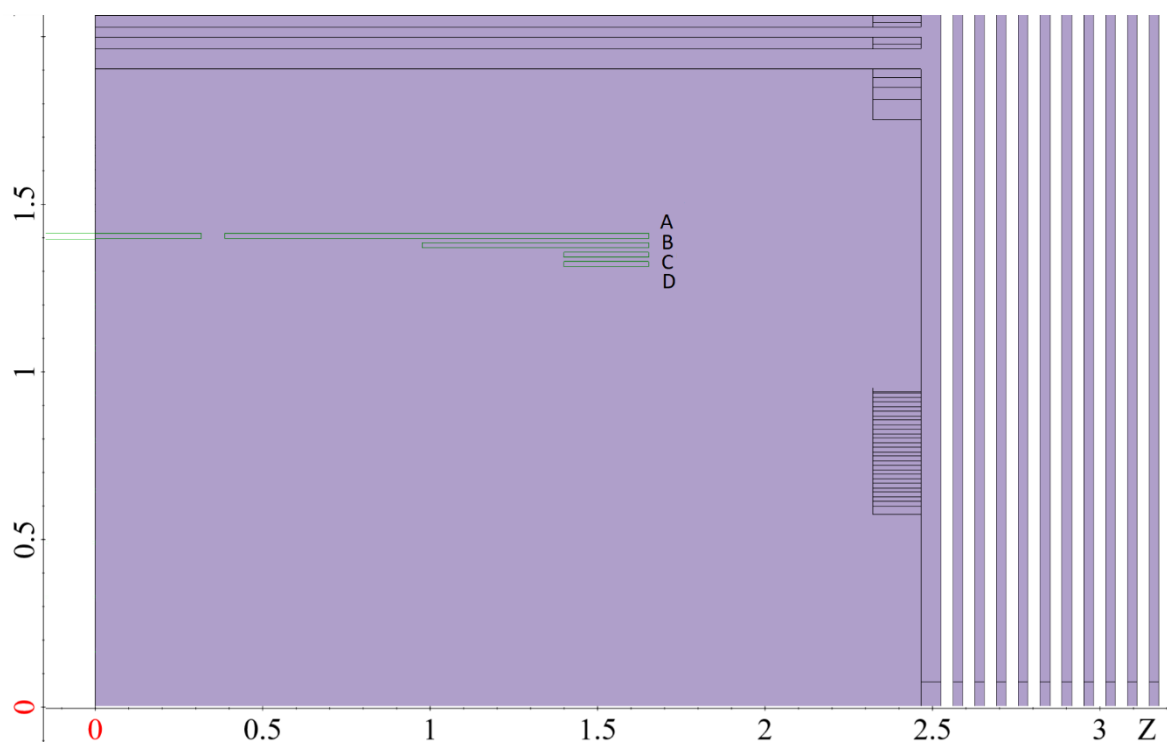


Рисунок 3 - Общий вид сечения катушек в плоскости YZ

Здесь А – основная СП катушка, В, С и D – корректирующие катушки. В катушке В – 2 слоя по 80 витков, в катушках С и D – 2 слоя по 30 витков.

Ниже приведены графики $B_z(z)$ и однородности для B_z при $x = 0$ и значениях $y = 0, 0.5$ и 1 m для различных конфигураций корректирующих катушек.

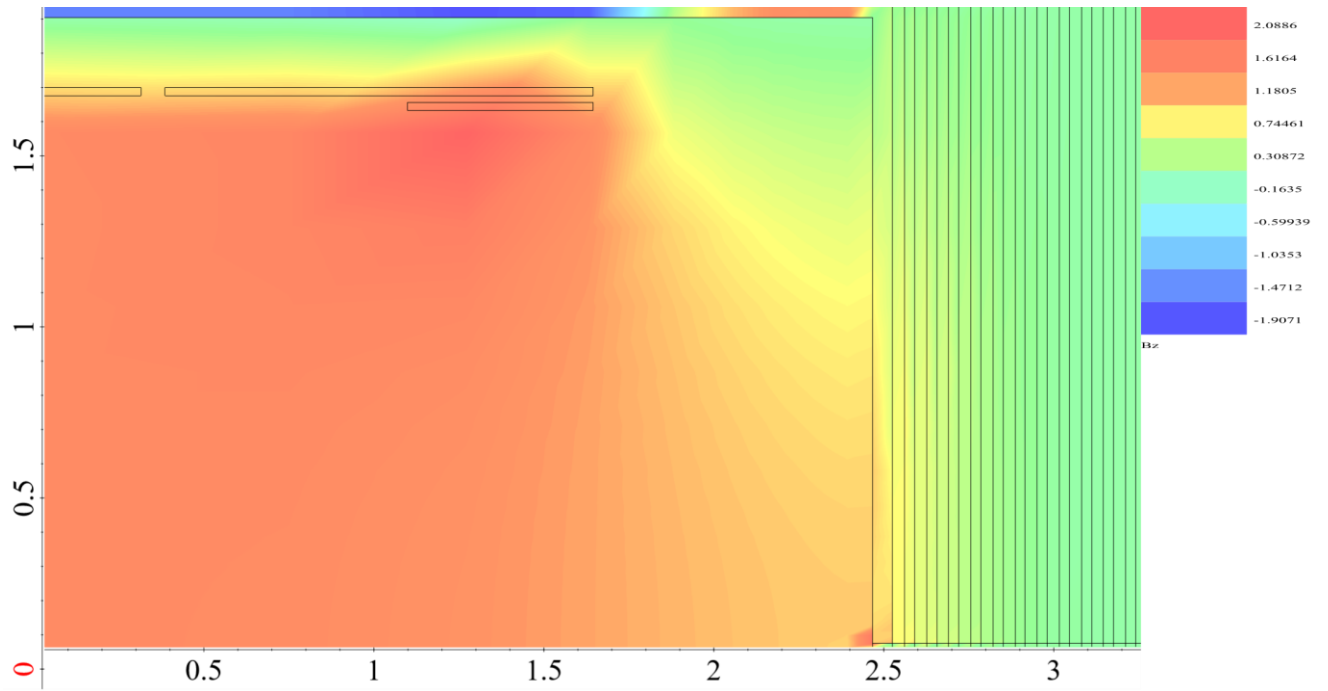


Рисунок 4 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушки 65×2

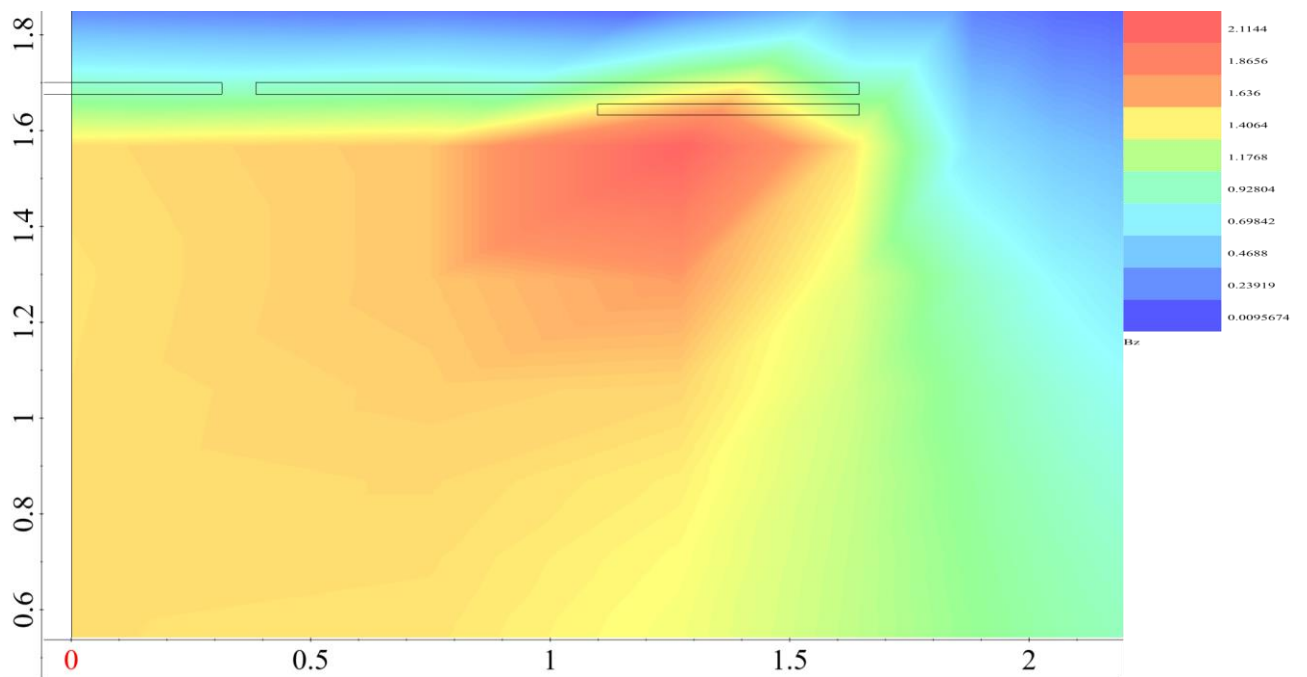


Рисунок 5 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушки 65×2 в воздухе

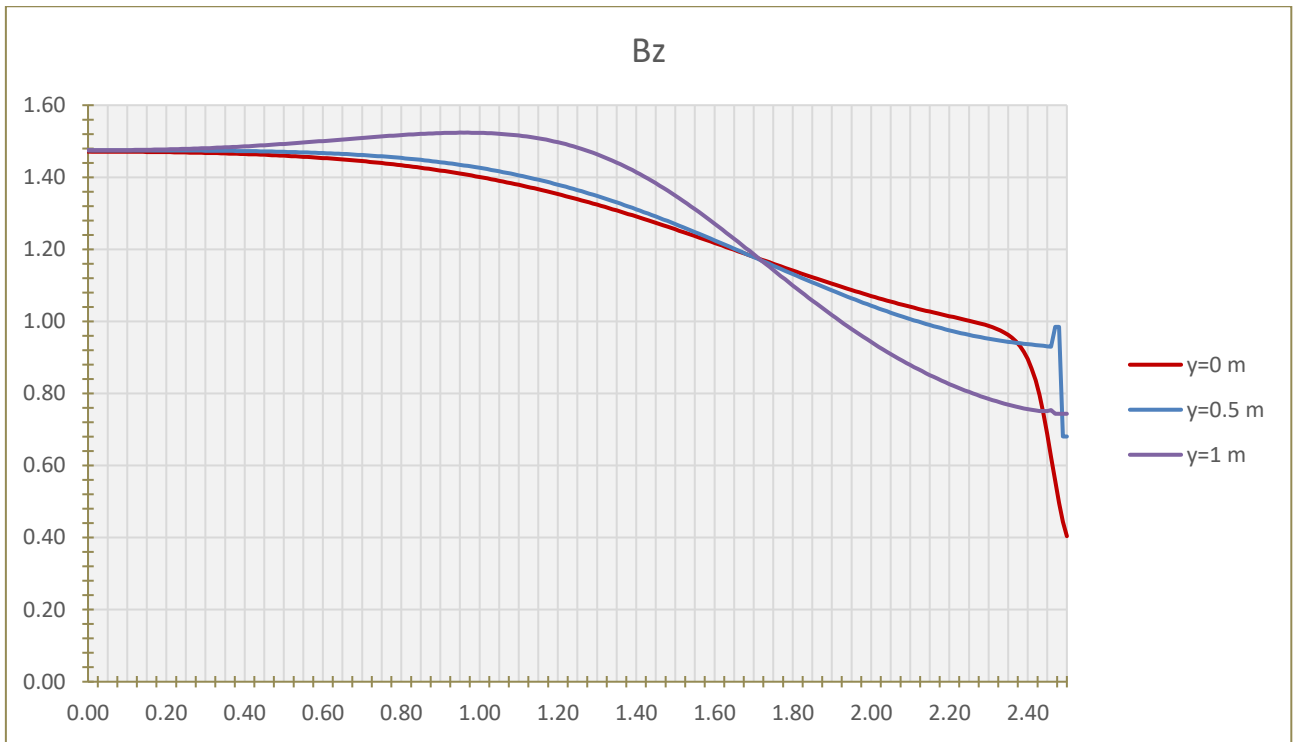


Рисунок 6 – График $B_z(z)$ для катушки 65x2

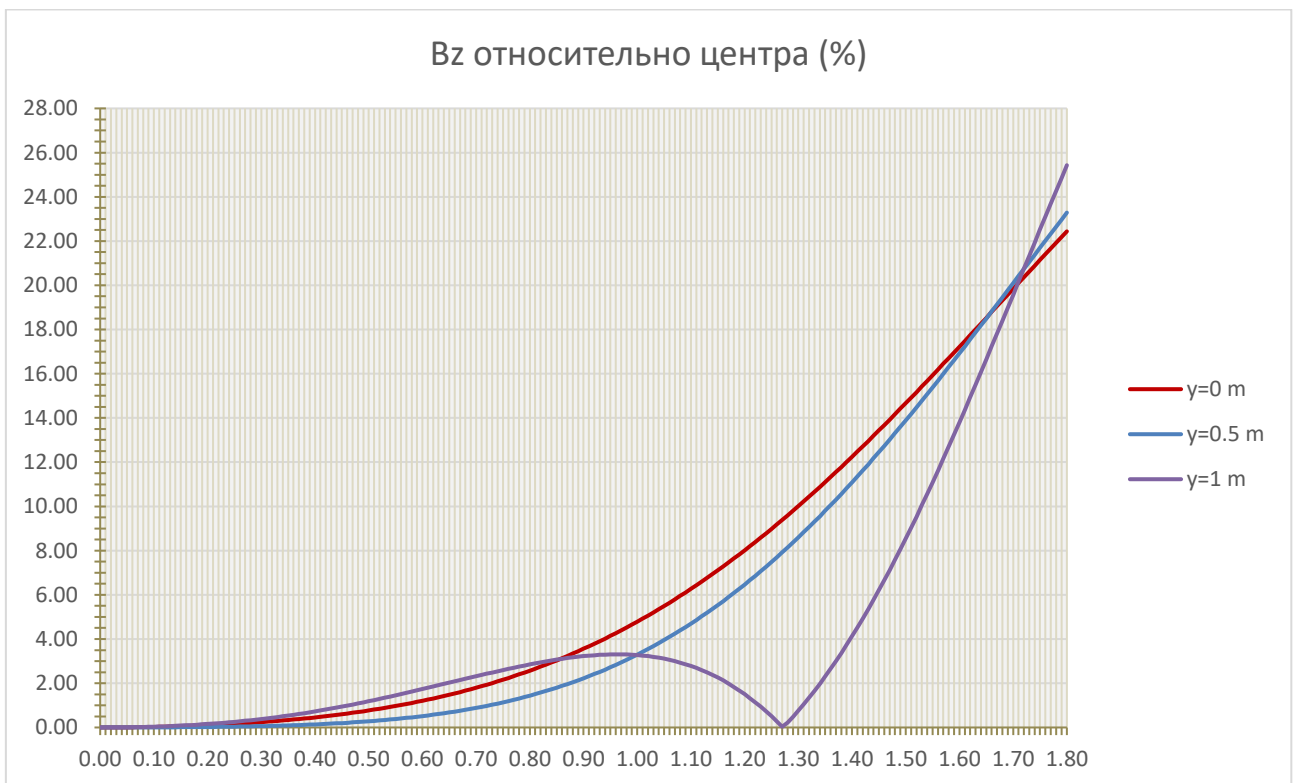


Рисунок 7 - Однородность для B_z для катушки 65x2

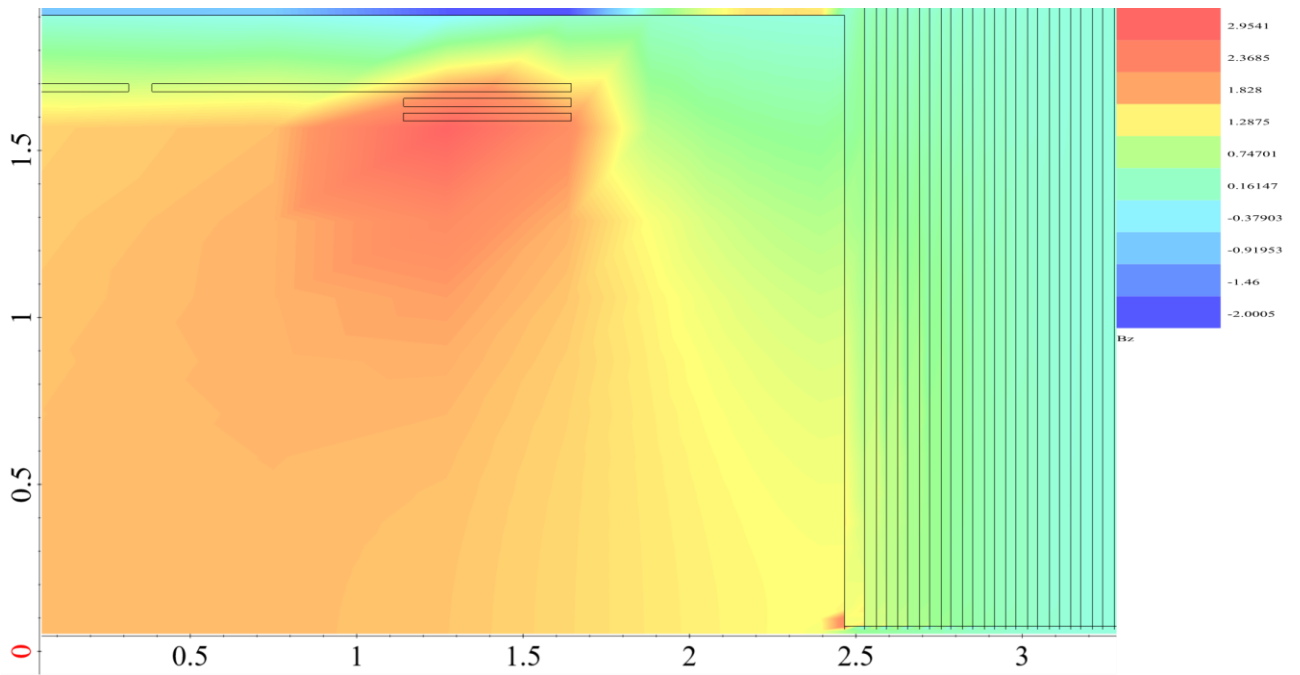


Рисунок 8 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $60 \times 2 + 60 \times 2$

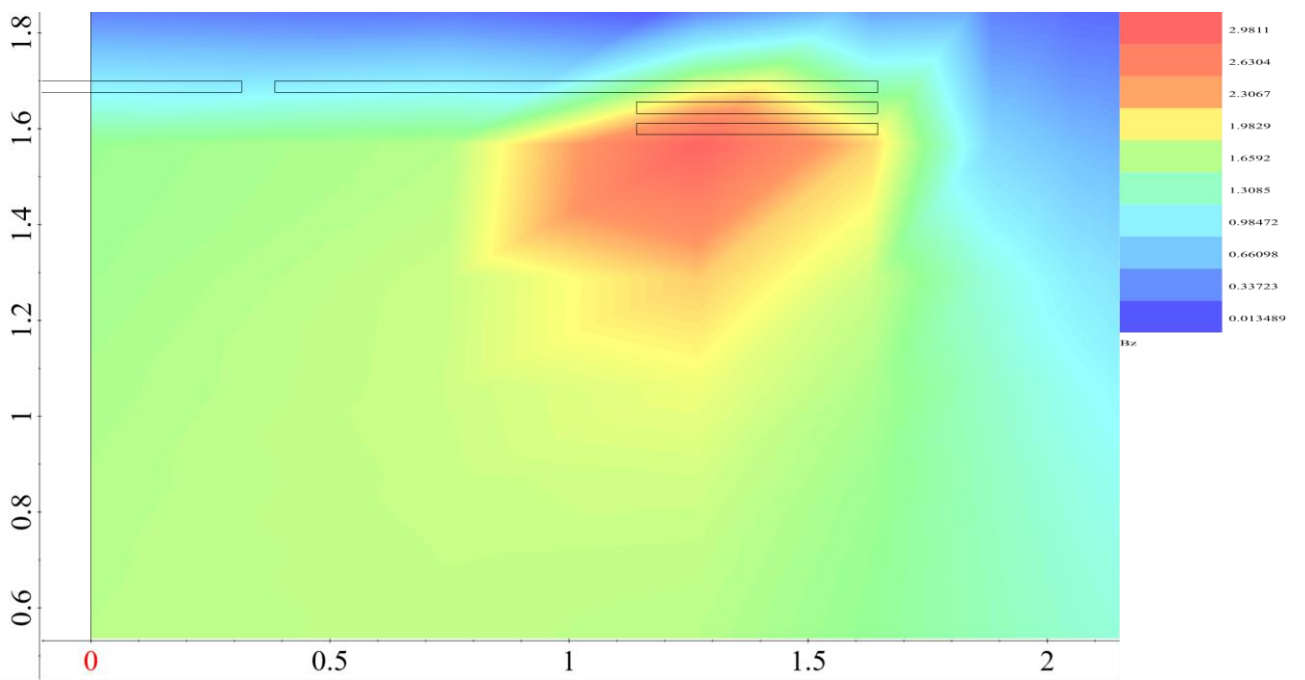


Рисунок 9 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $60 \times 2 + 60 \times 2$ в воздухе

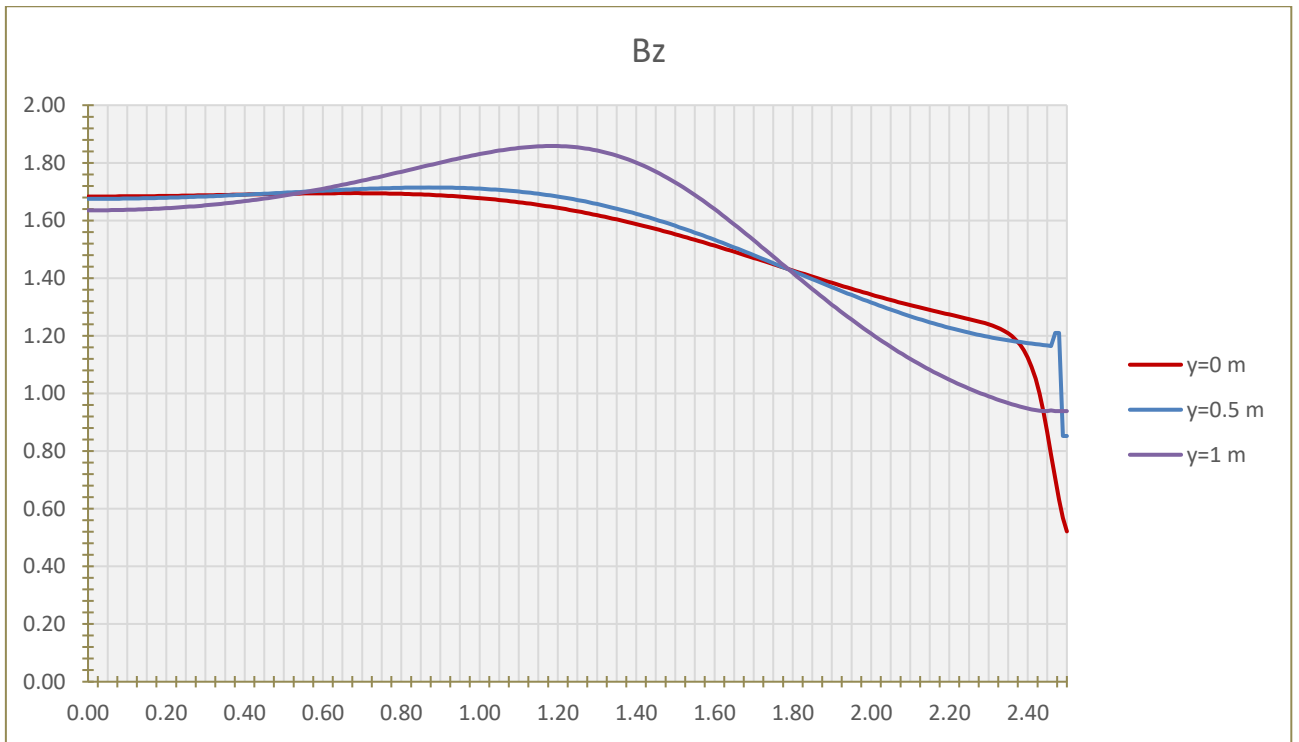


Рисунок 10 - График $B_z(z)$ для катушек $60 \times 2 + 60 \times 2$

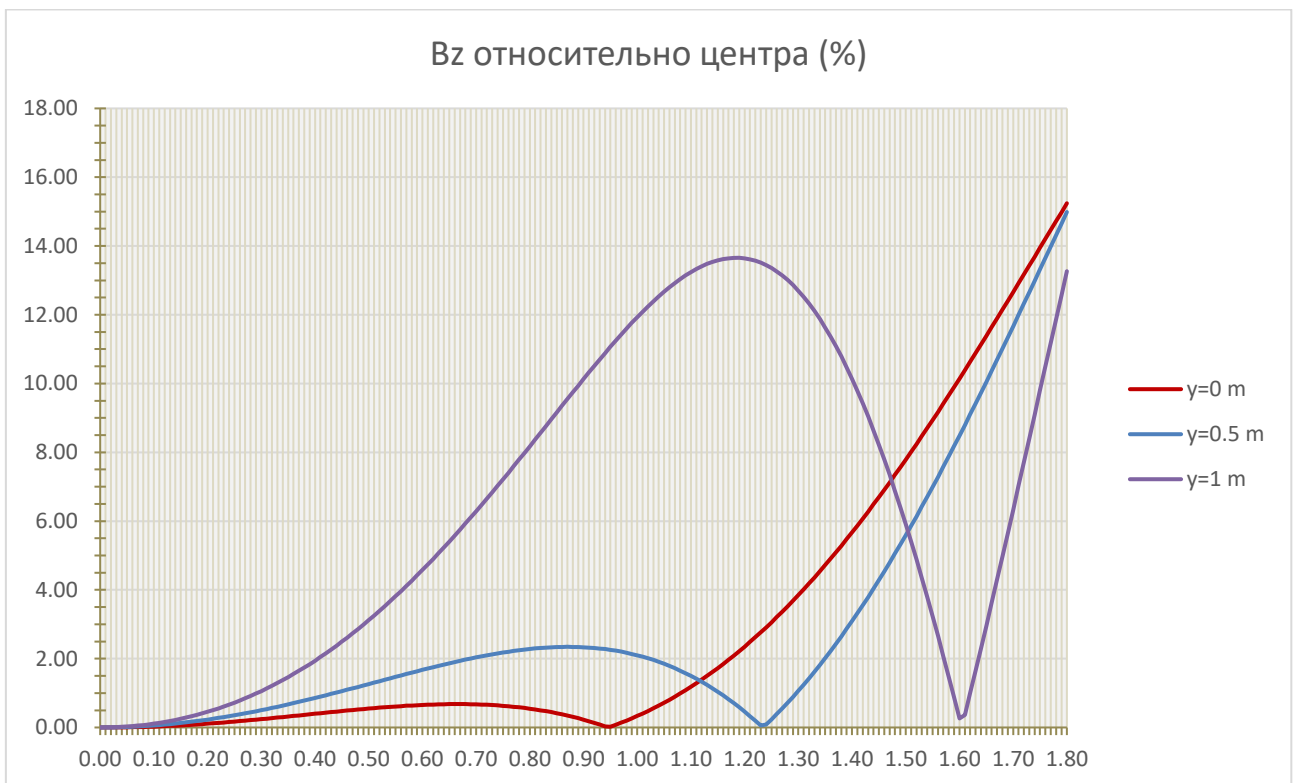


Рисунок 11 - Однородность для B_z для катушек $60 \times 2 + 60 \times 2$

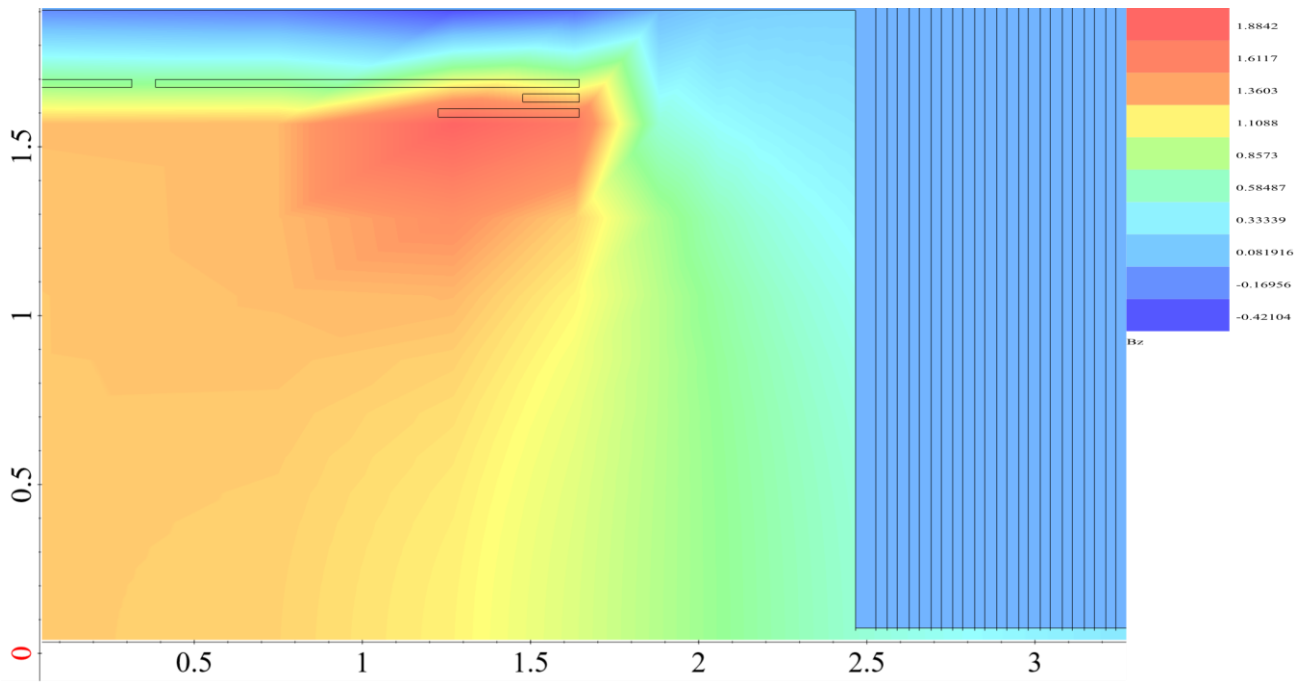


Рисунок 12 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $20 \times 2 + 50 \times 2$

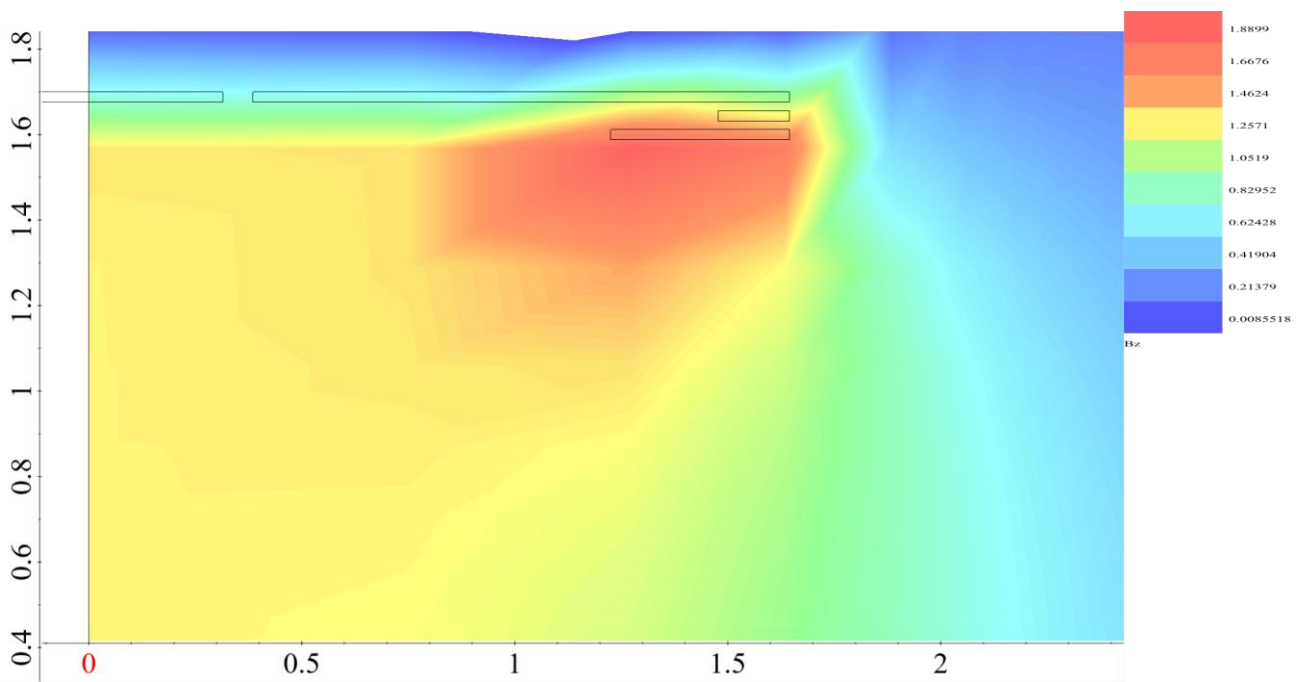


Рисунок 13 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $20 \times 2 + 50 \times 2$
в воздухе

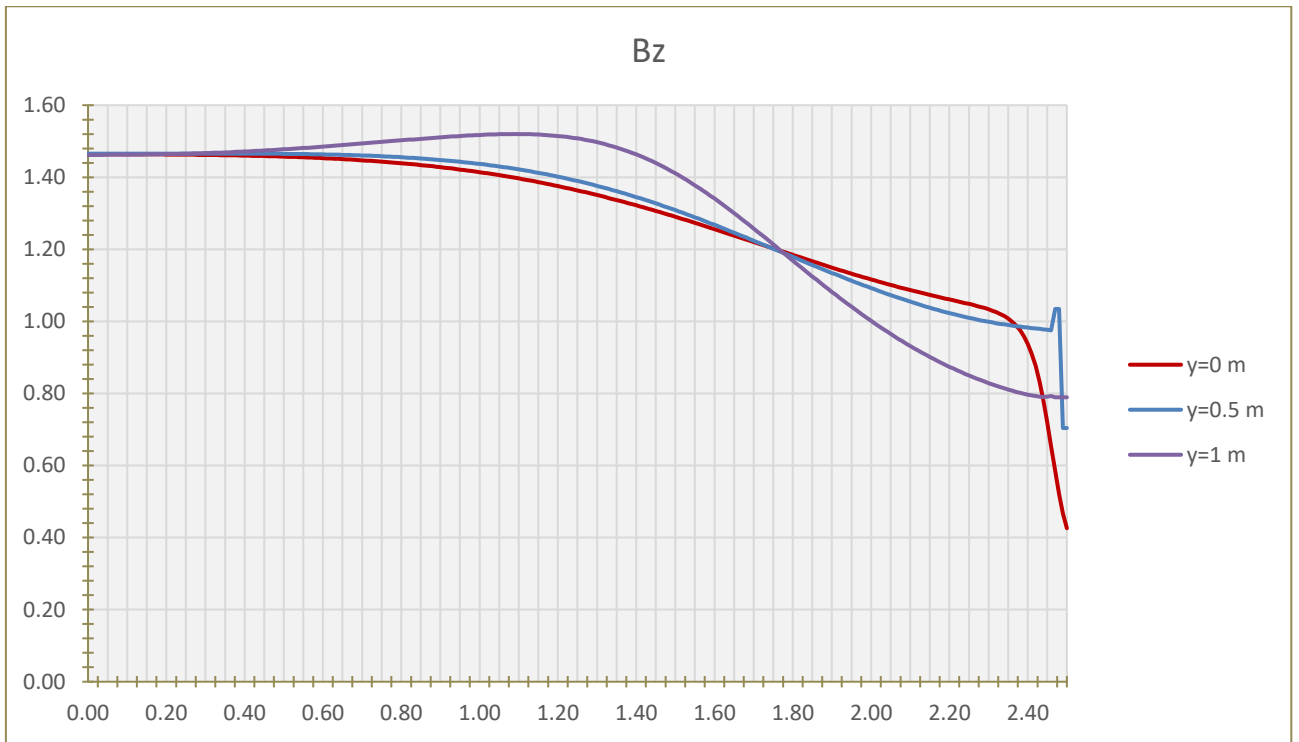


Рисунок 14 - График $B_z(z)$ для катушек $20 \times 2 + 50 \times 2$

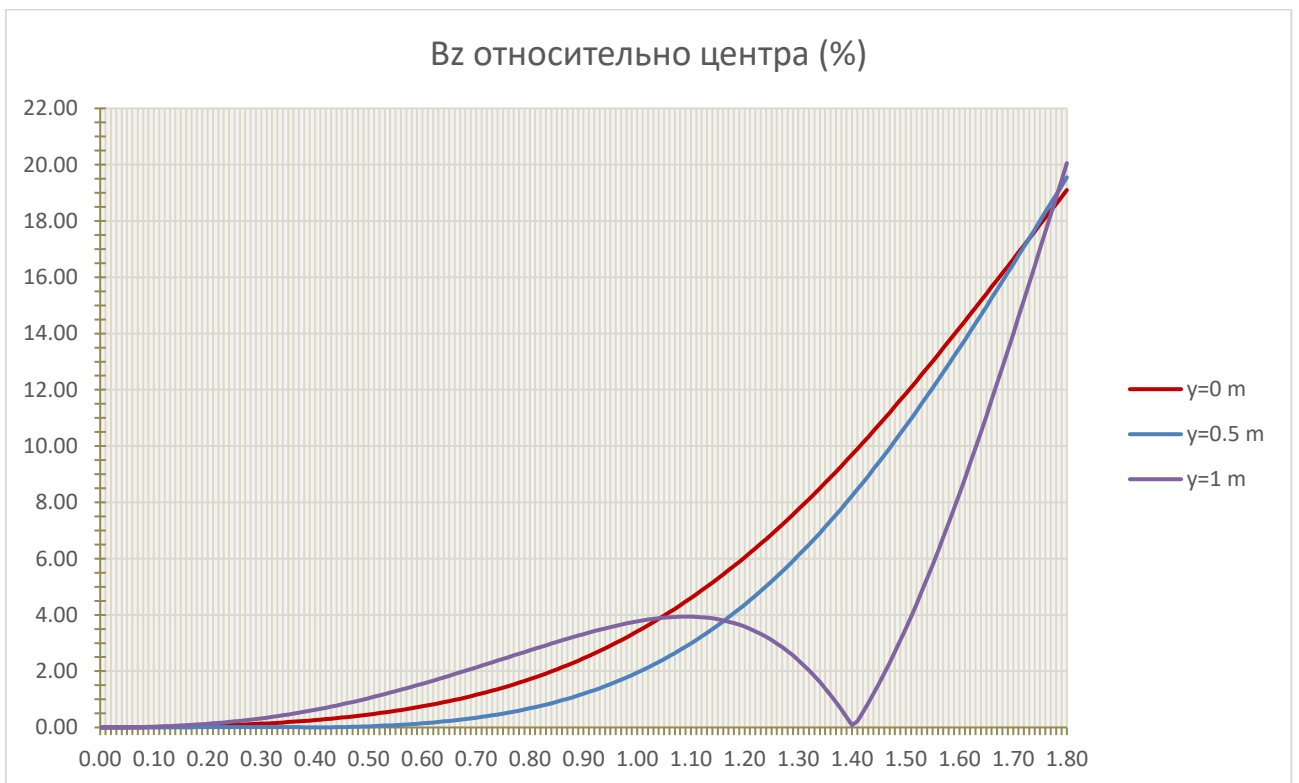


Рисунок 15 - Однородность для B_z для катушек $20 \times 2 + 50 \times 2$

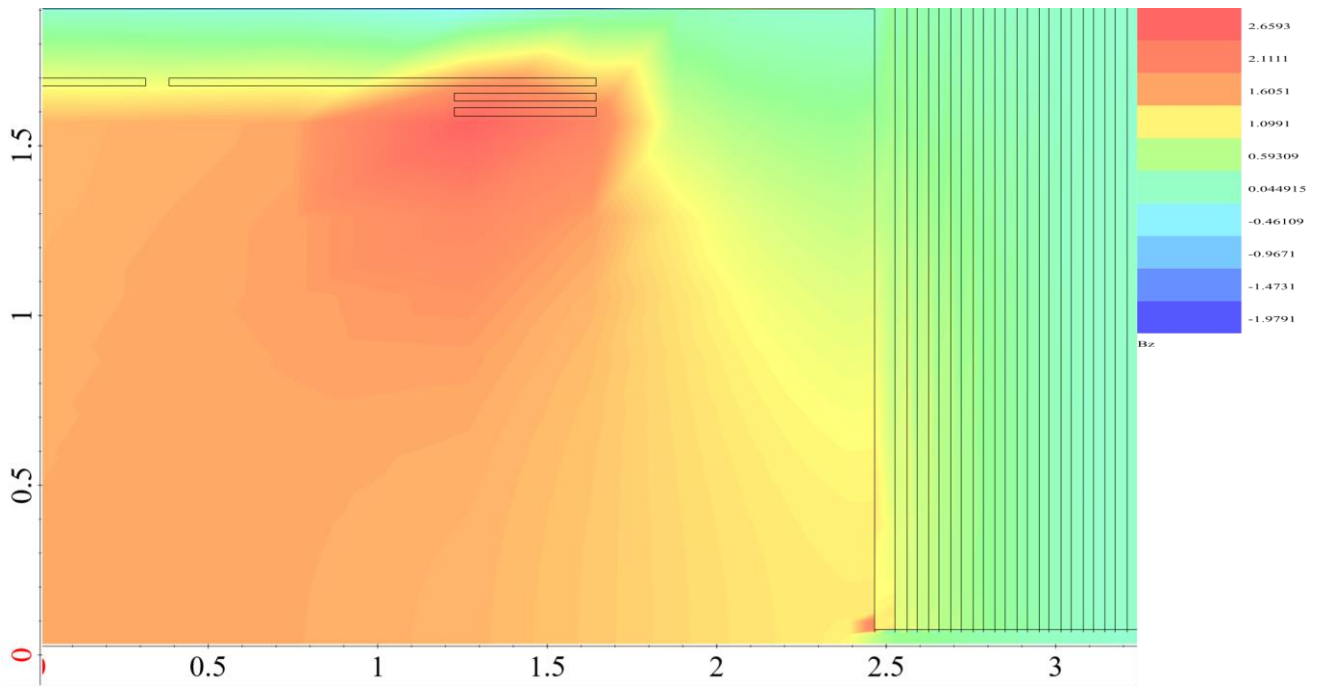


Рисунок 16 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $50 \times 2 + 50 \times 2$

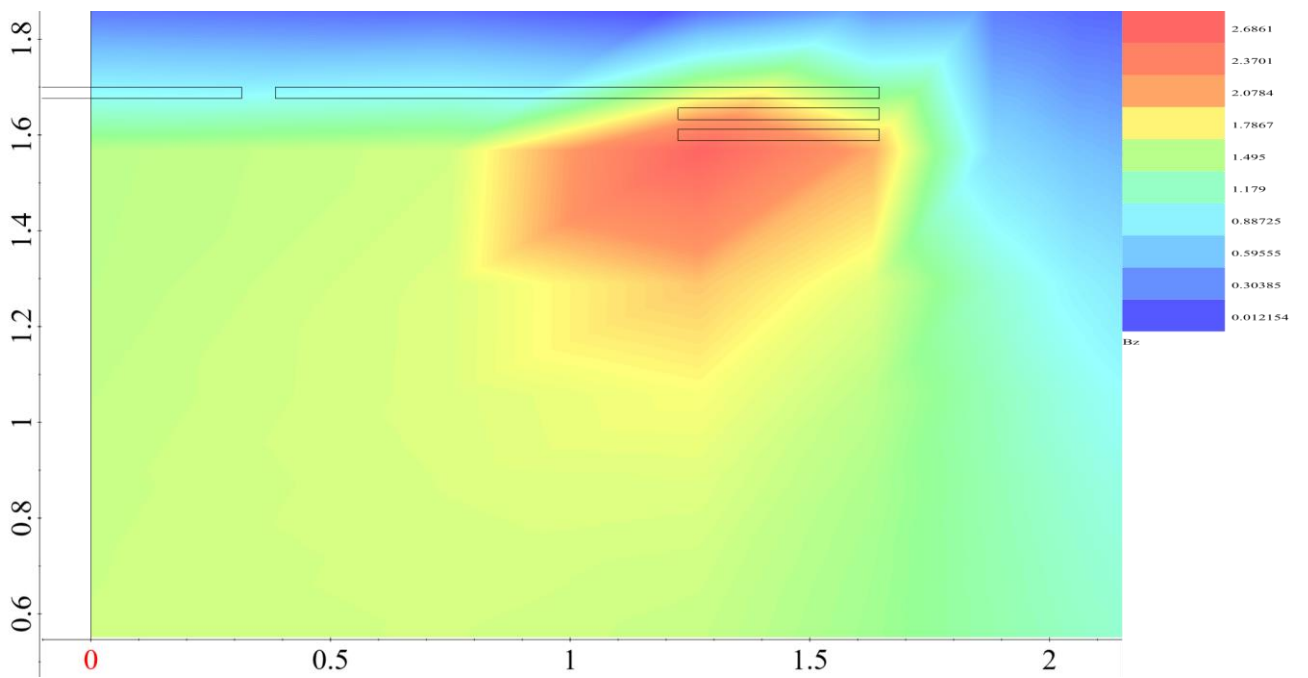


Рисунок 17 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $50 \times 2 + 50 \times 2$

в воздухе

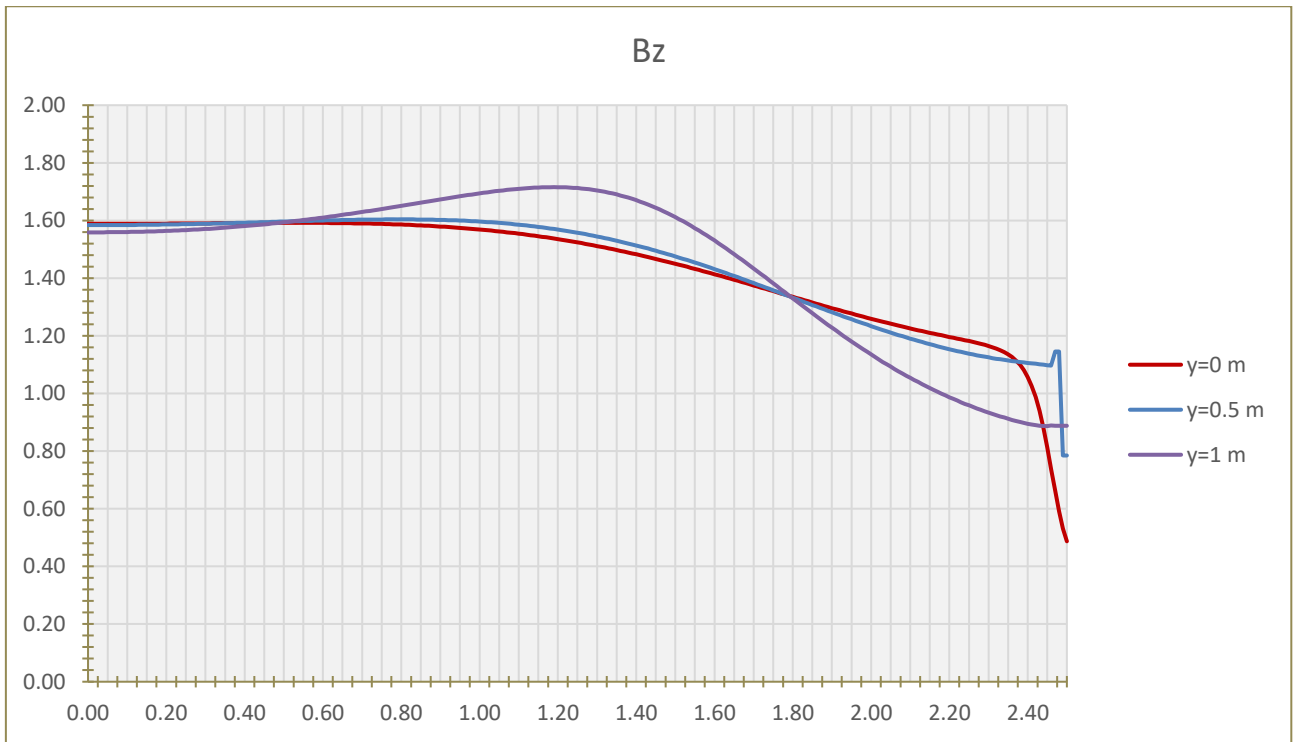


Рисунок 18 - График $V_z(z)$ для катушек $50 \times 2 + 50 \times 2$

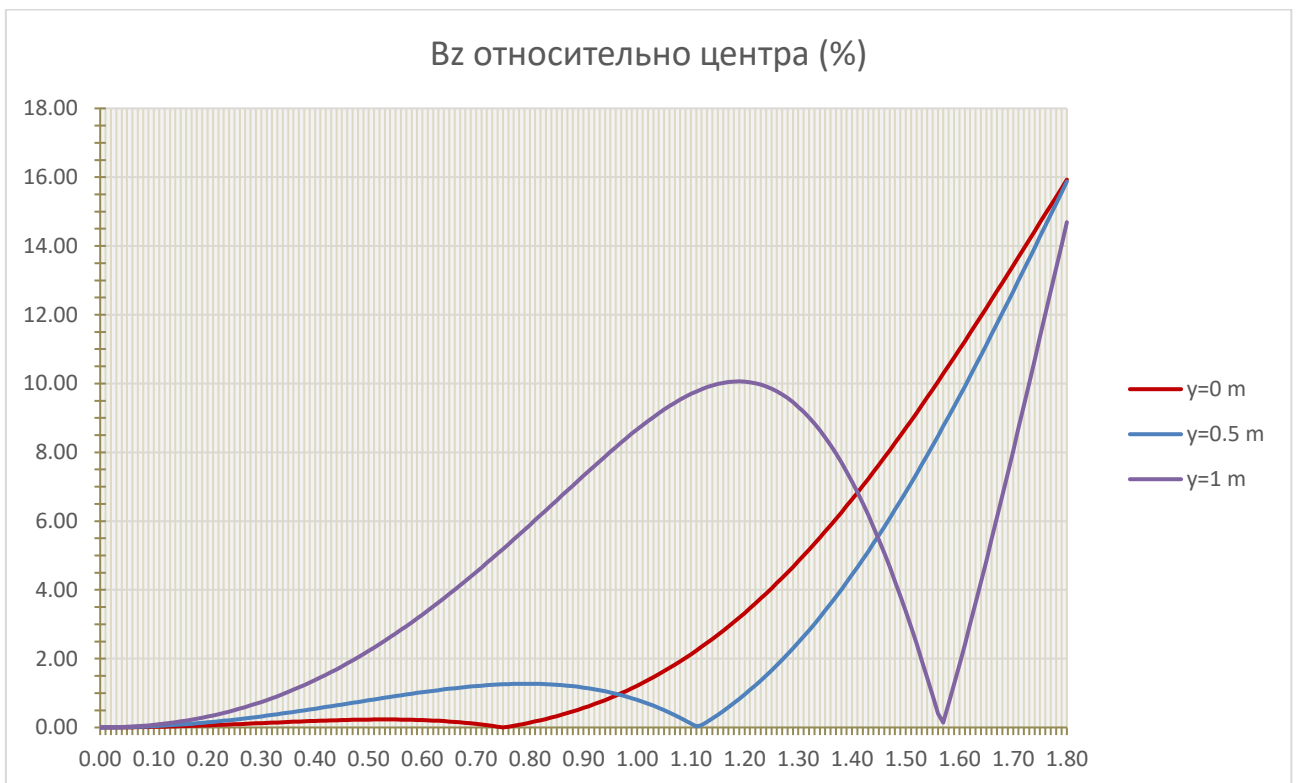


Рисунок 19 - Однородность для V_z для катушек $50 \times 2 + 50 \times 2$

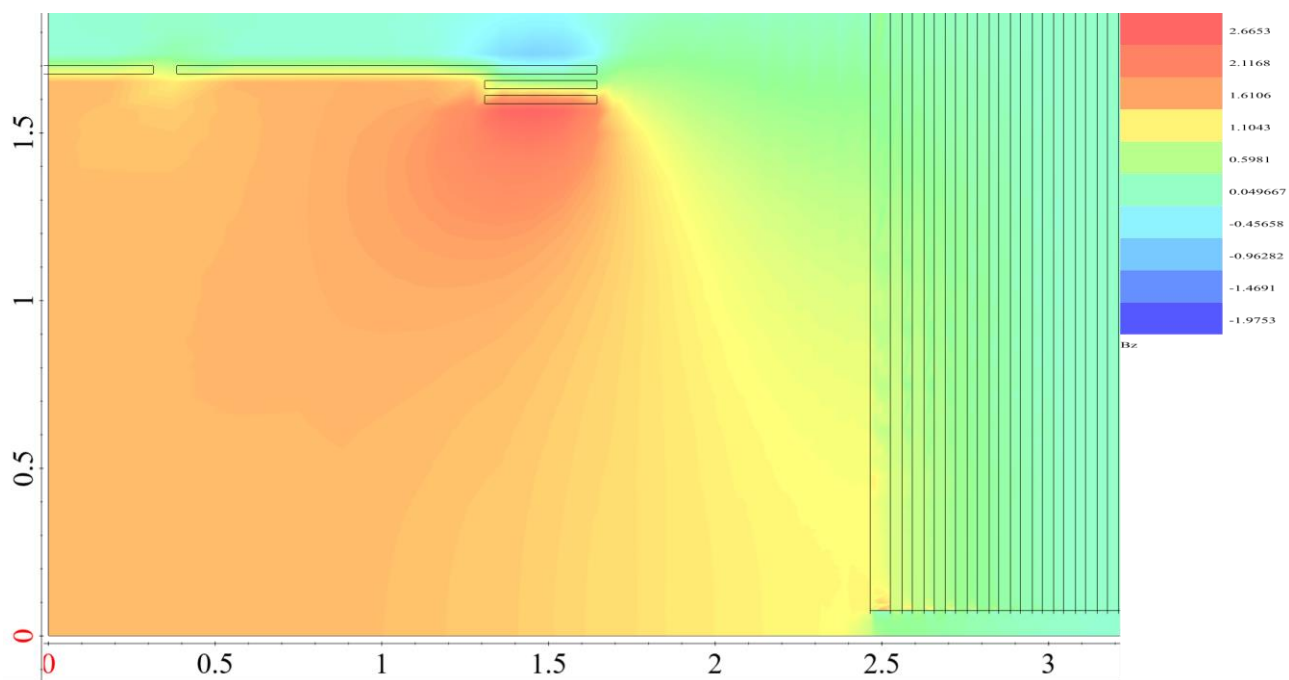


Рисунок 20 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $40 \times 2 + 40 \times 2$

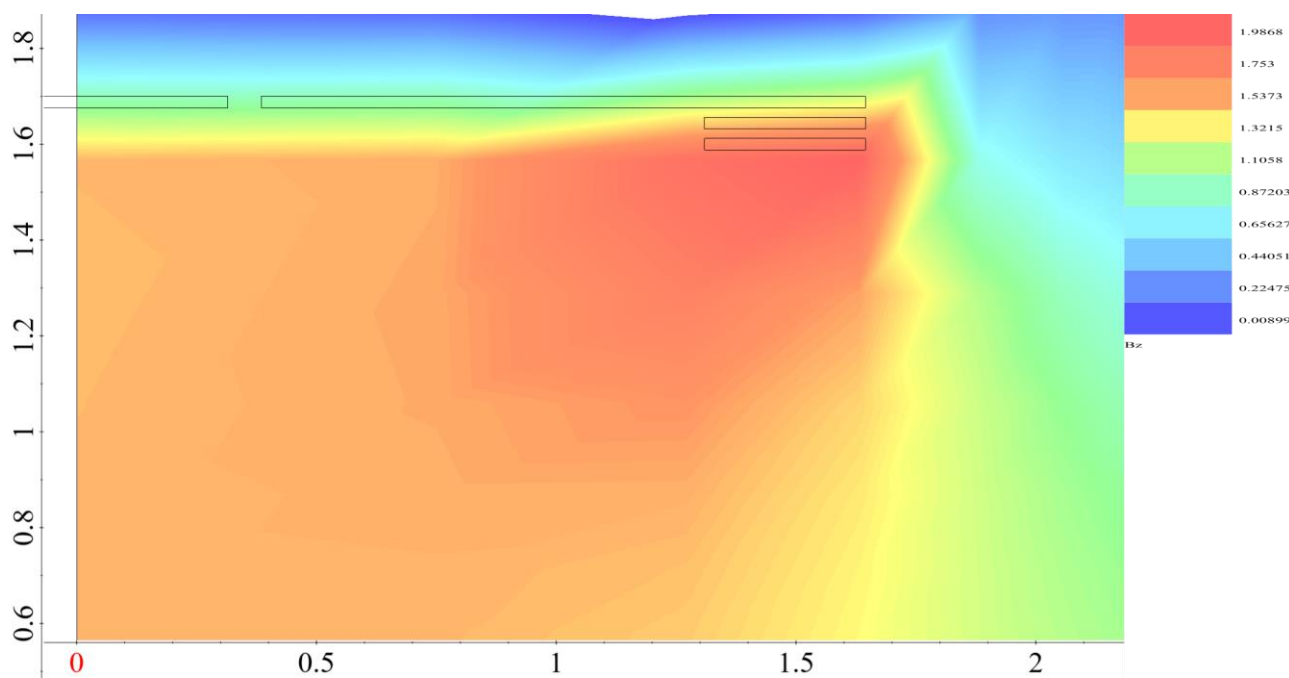


Рисунок 21 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $40 \times 2 + 40 \times 2$
в воздухе

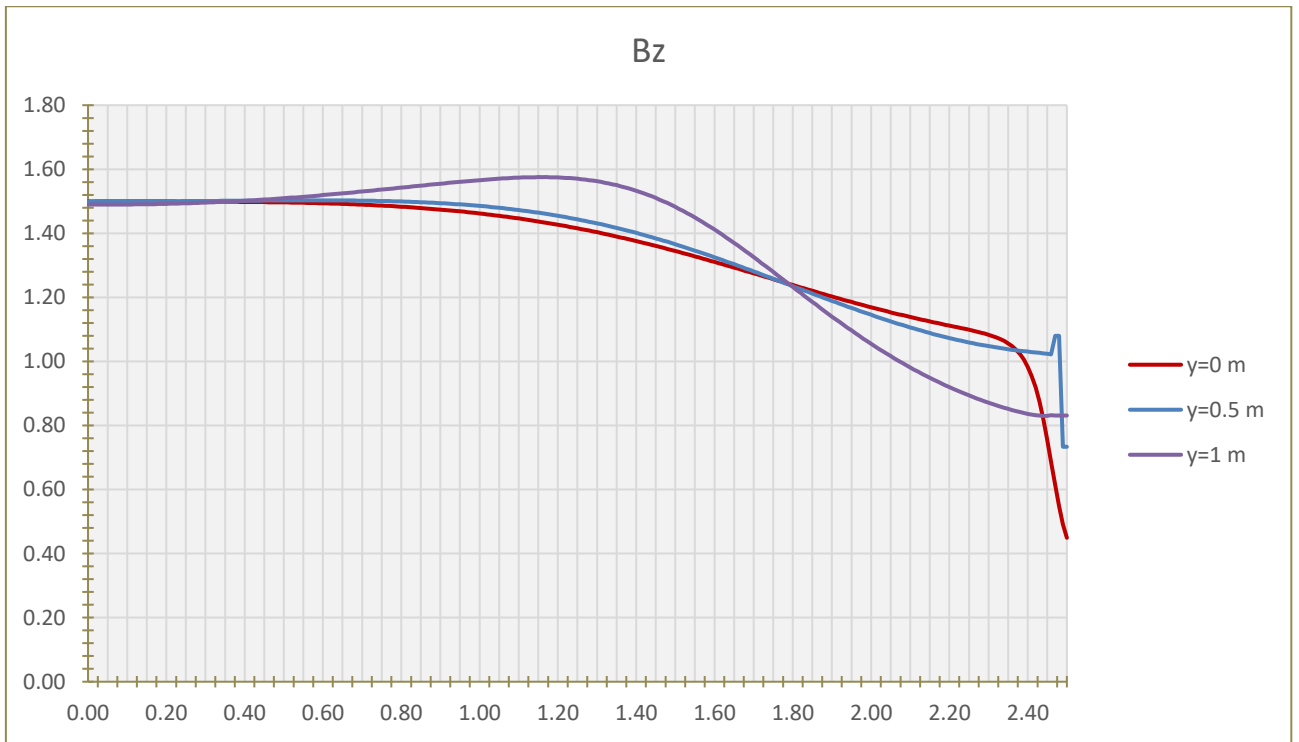


Рисунок 22 - График $B_z(z)$ для катушек $40 \times 2 + 40 \times 2$

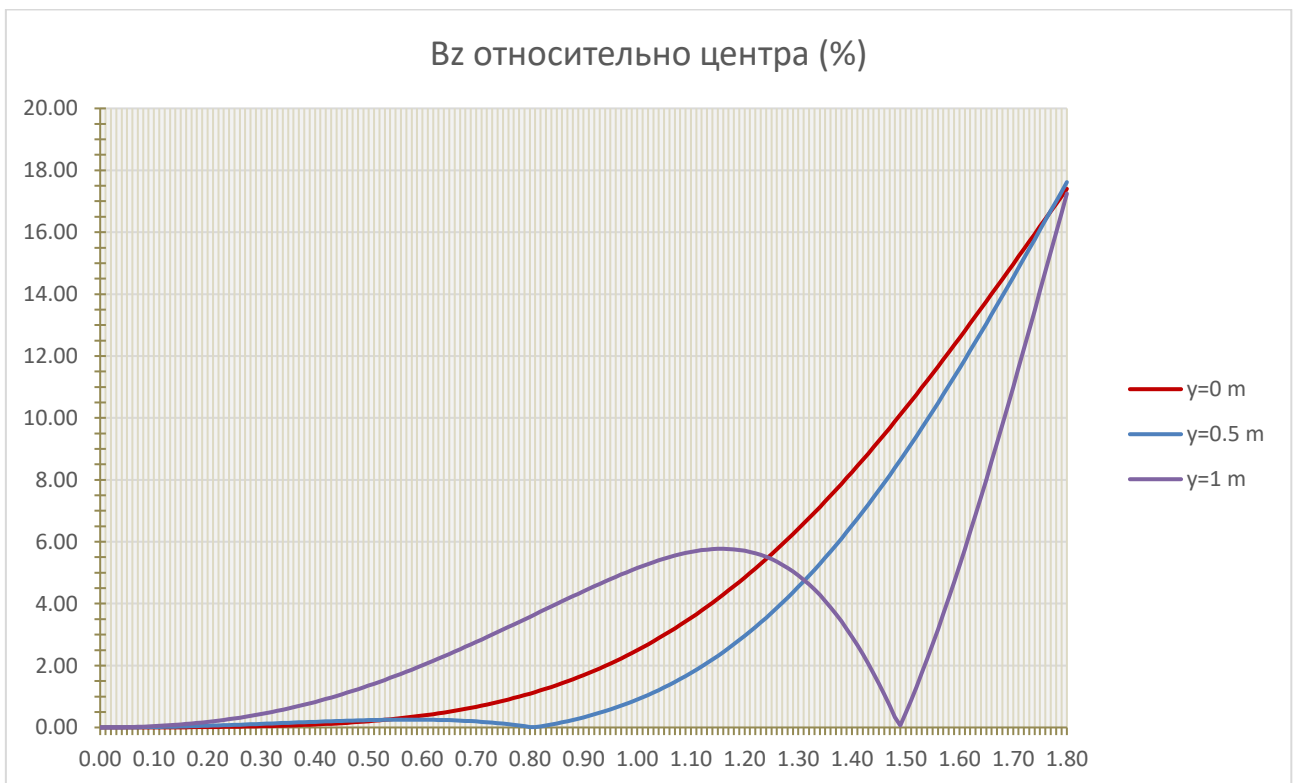


Рисунок 23 - Однородность для B_z для катушек $40 \times 2 + 40 \times 2$

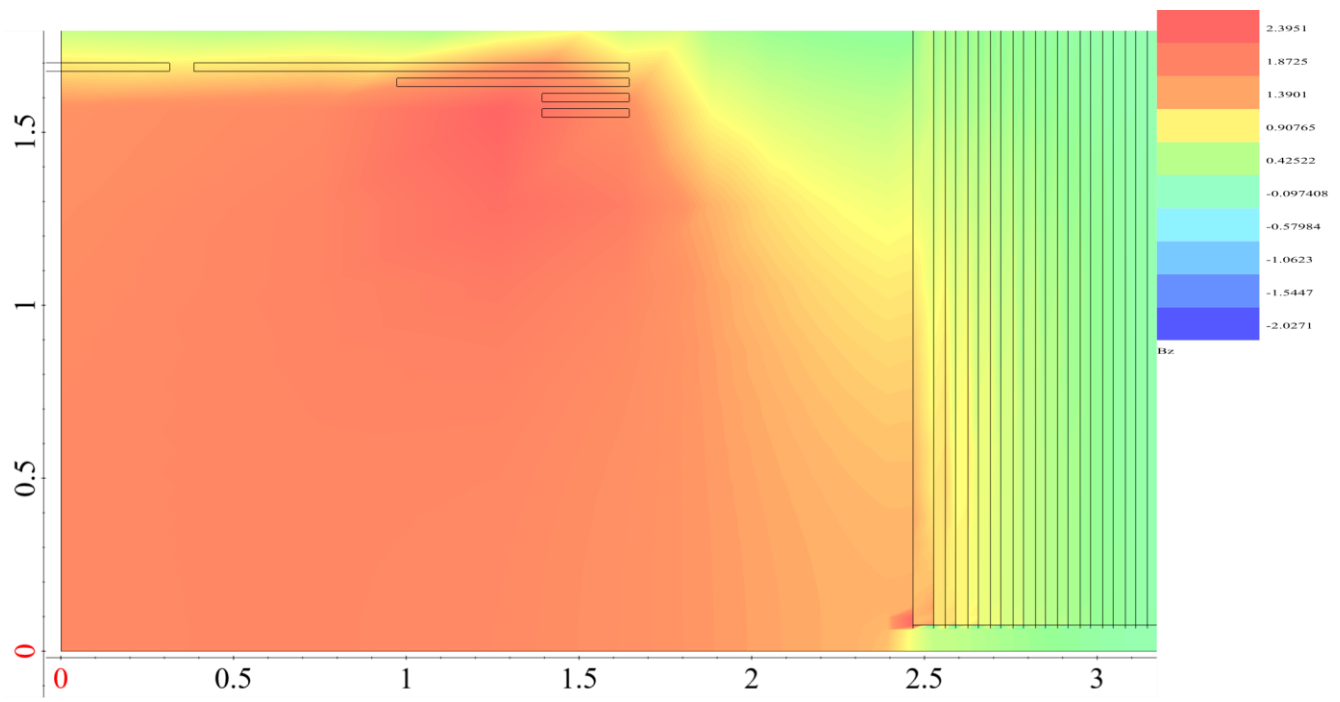


Рисунок 24 - Распределение V_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $80x2+30x2+30x2$

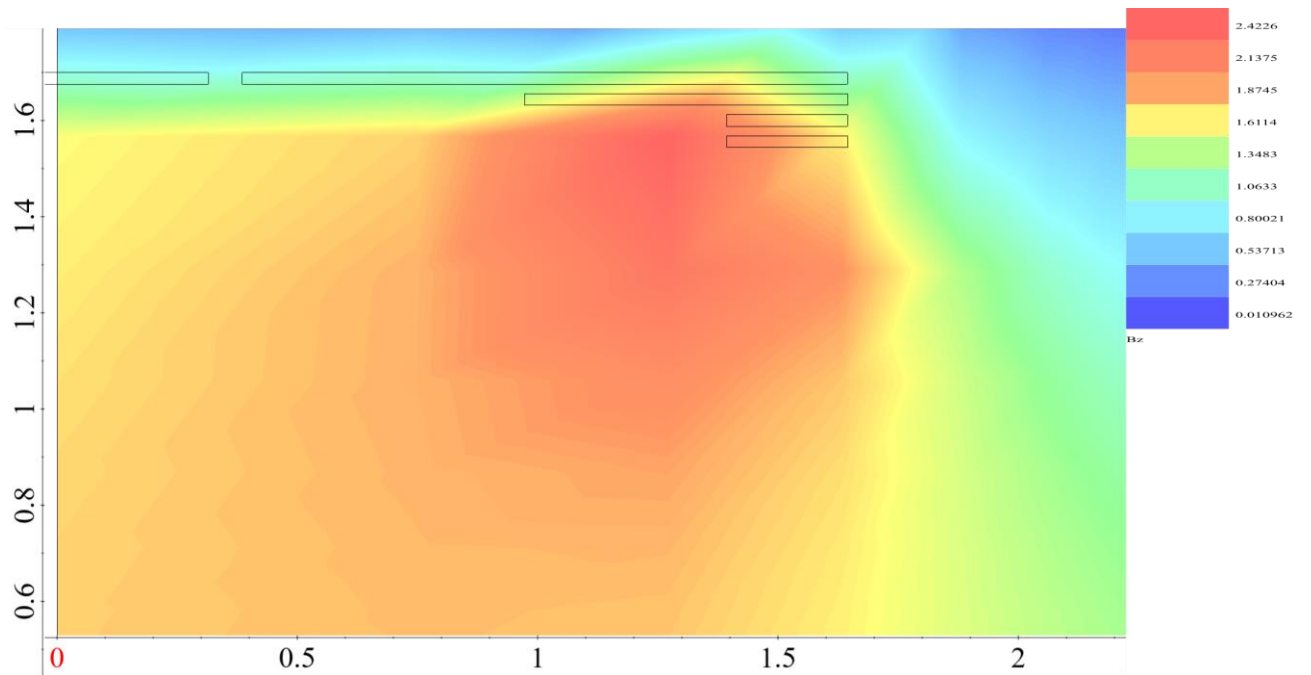


Рисунок 25 - Распределение V_z в сечении YZ при $x = 0$ для катушек $80x2+30x2+30x2$ в воздухе

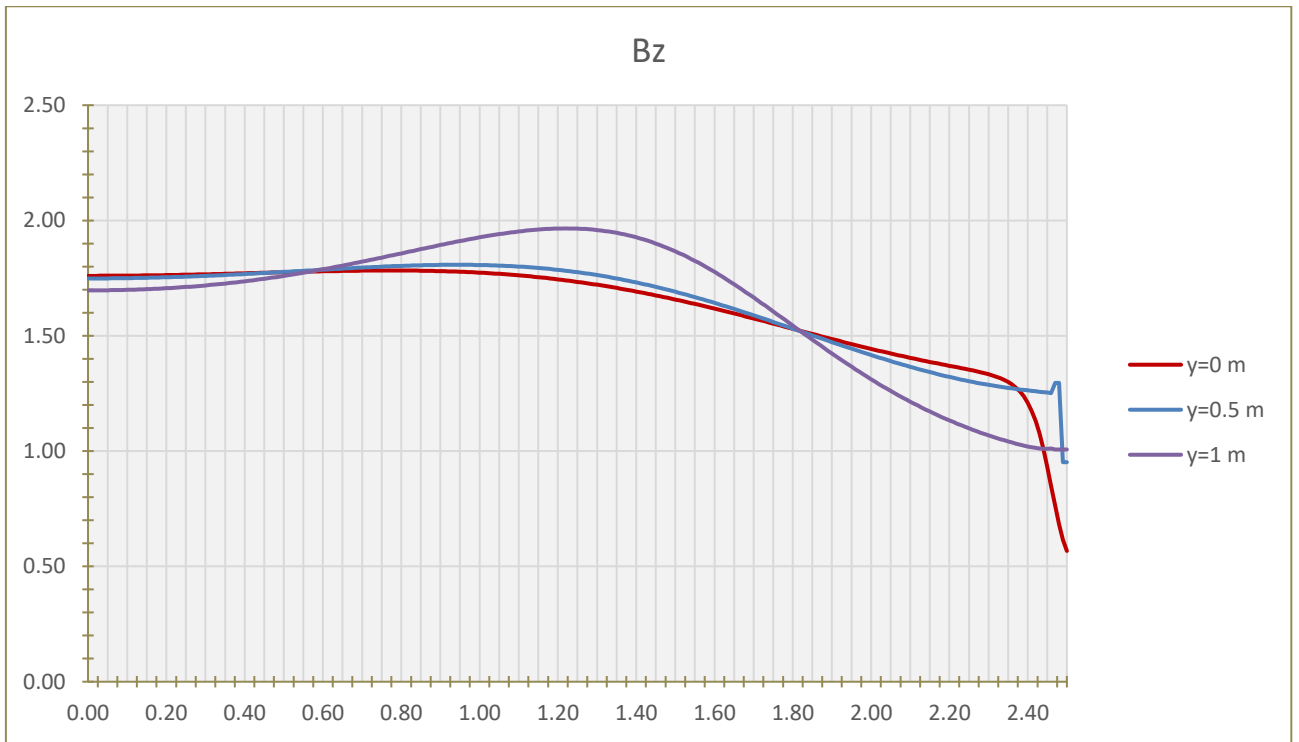


Рисунок 26 - График $B_z(z)$ для катушек $80 \times 2 + 30 \times 2 + 30 \times 2$

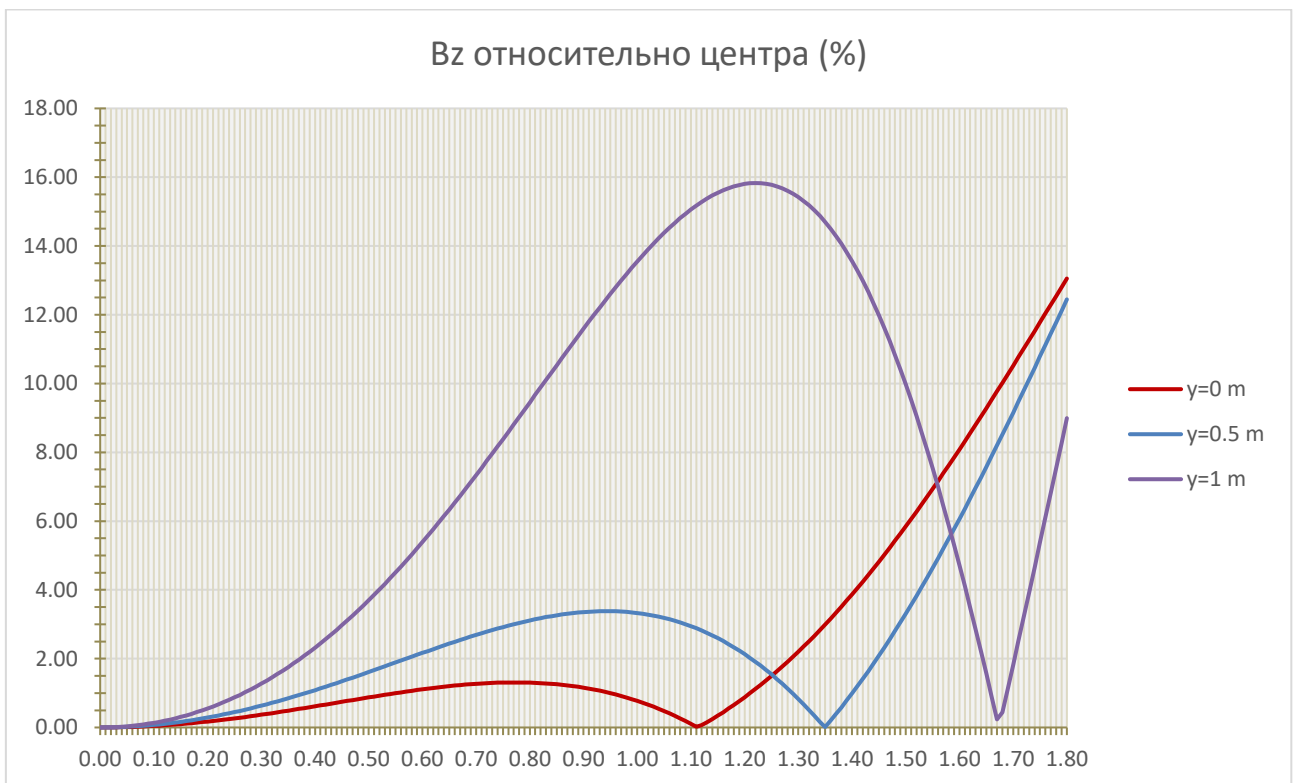


Рисунок 27 - Однородность для B_z для катушек $80 \times 2 + 30 \times 2 + 30 \times 2$

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

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

Из приведенных графиков, а также данных таблицы 2, видно, что для катушек 40x2+40x2 результаты оптимальны.

Для этого варианта карта поля выложена на диске:

<https://disk.yandex.ru/d/0ZNTQEuQTSy60w>

Можно рассматривать данную карту поля как референсную для оценки скорости реконструкции в однородном поле.

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

При этом однородность улучшается до 10 %. См. рис. 28-31 ниже.

Недостатком этого метода улучшения однородности является уменьшение поля соленоида и как следствие необходимость увеличения тока с 5200 А до 6500 А для достижения 1.1 Т в центре соленоида.

Для этого варианта карта поля выложена на диске:

<https://disk.yandex.ru/d/xbIVEnyCOAm22w>

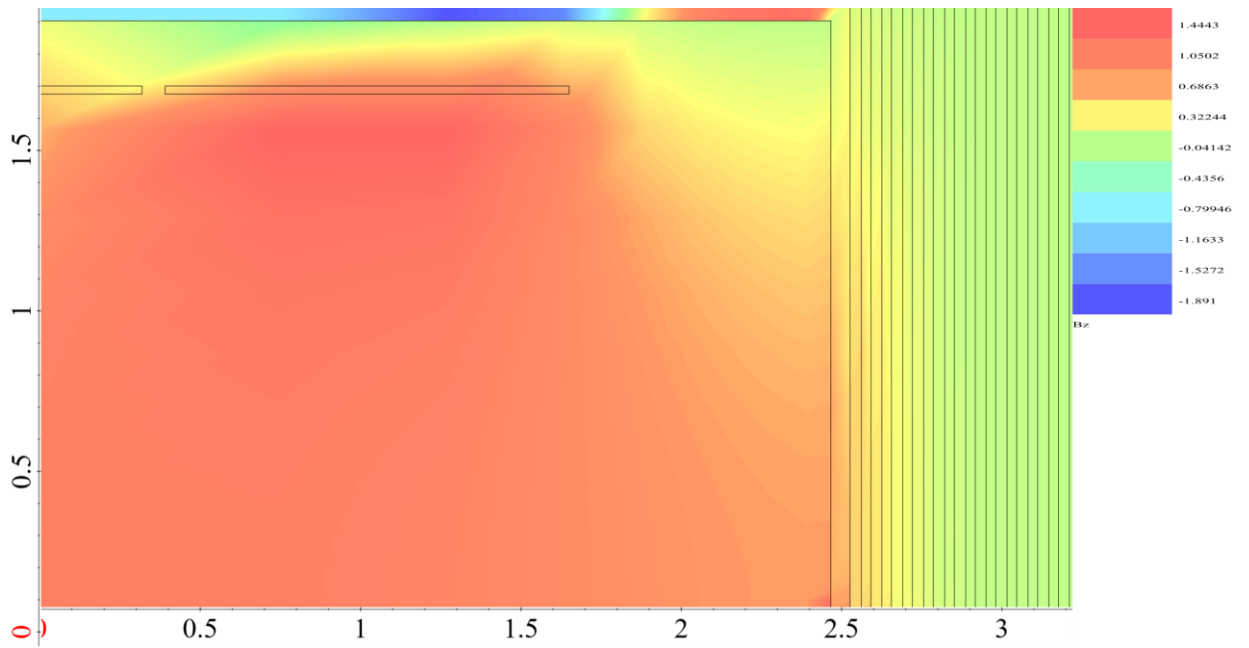


Рисунок 28 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ и токе в боковых СП катушках 6500 А (цент. катушка выключена)

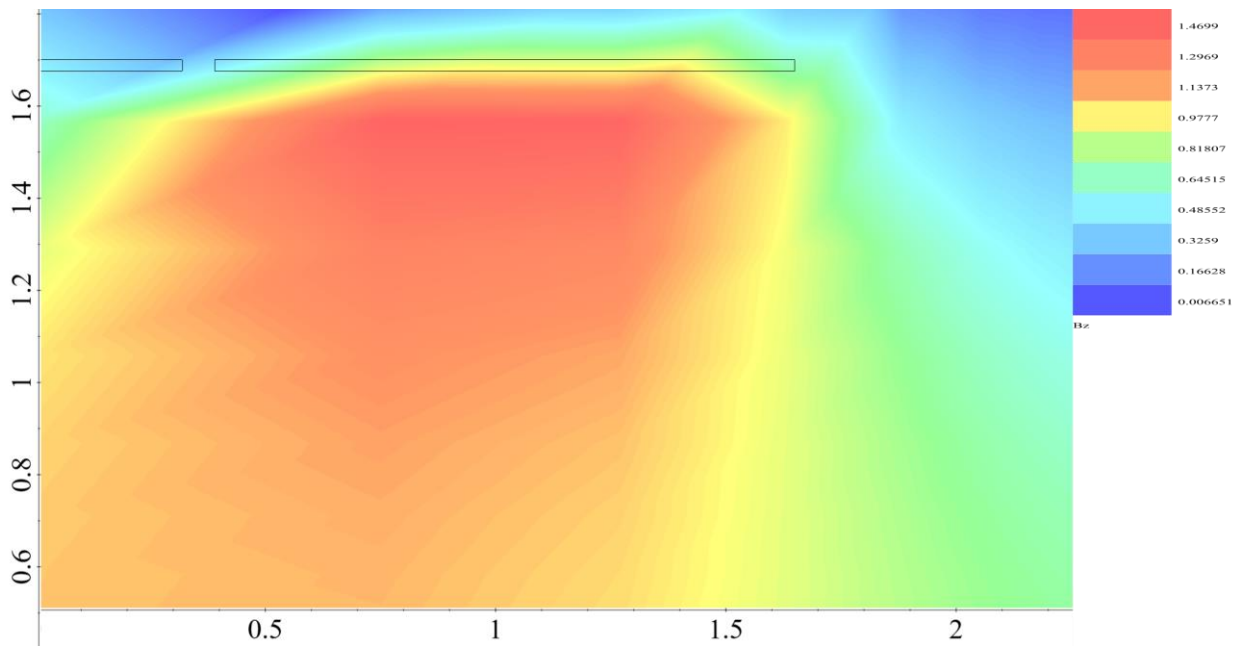


Рисунок 29 - Распределение B_z в сечении YZ при $x = 0$ в воздухе, ток в боковых СП катушках 6500 А (цент. катушка выключена)

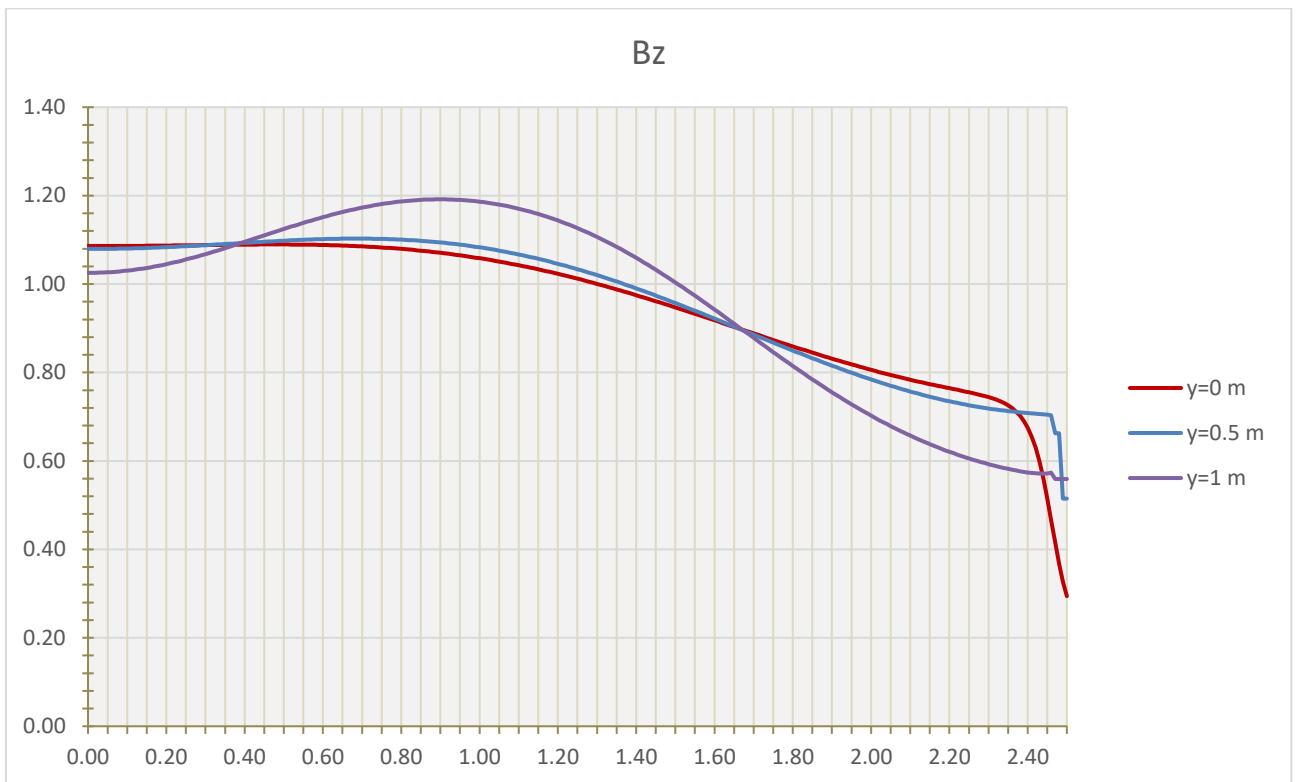


Рисунок 30 - График $B_z(z)$ при токе в боковых СП катушках 6500 А (цент. катушка выключена)

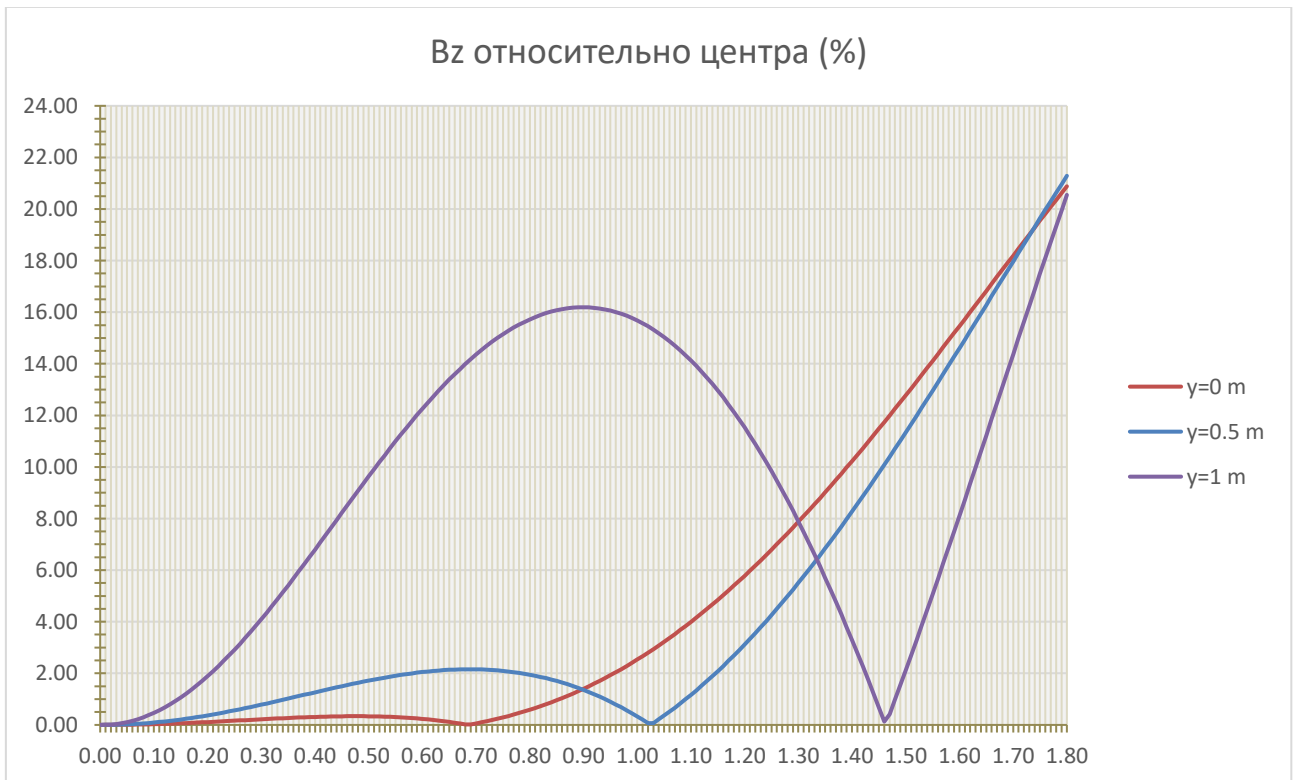


Рисунок 31 - Однородность для B_z при токе в боковых СП катушках 6500 А (цент. катушка выключена)

Ниже приведены графики однородности поля для базового варианта – все три СП катушки включены (ток 5200 А), нет корректирующих катушек.

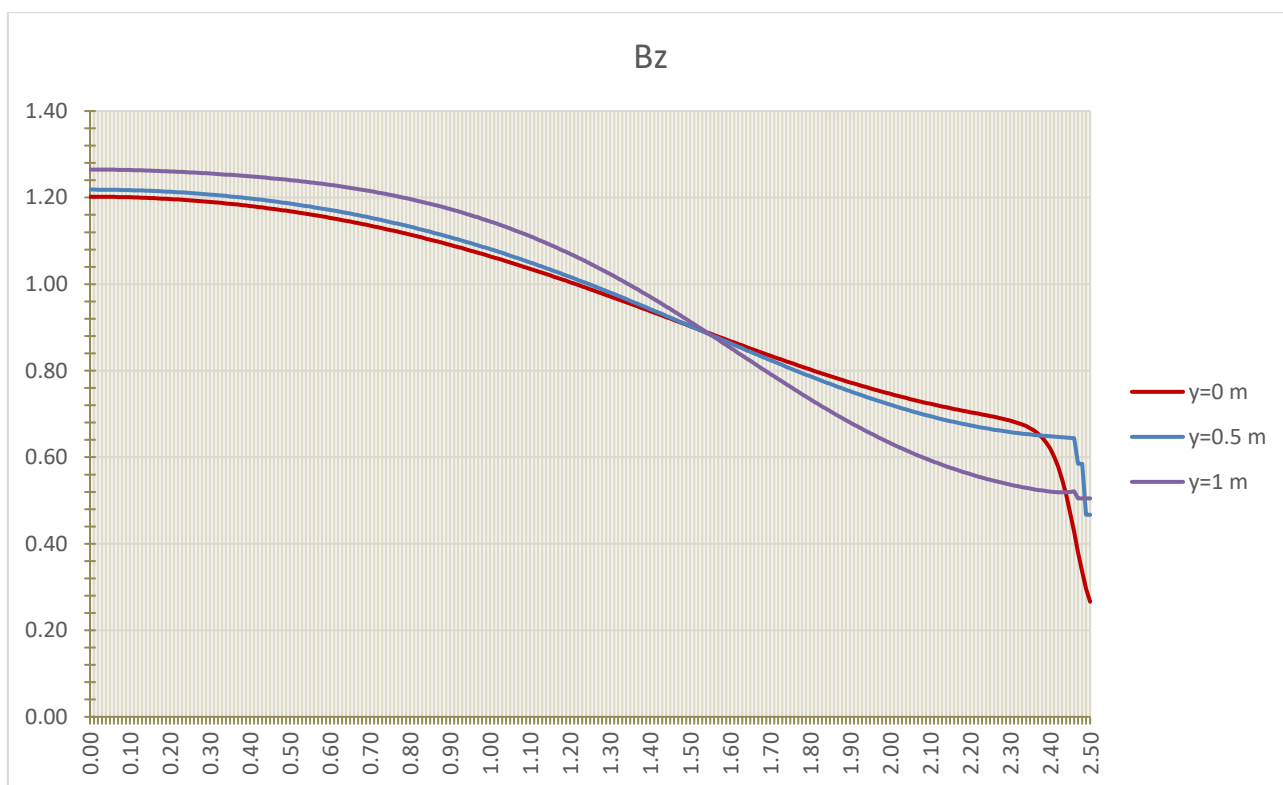


Рисунок 32 – График $B_z(z)$ для случая без корректирующих катушек

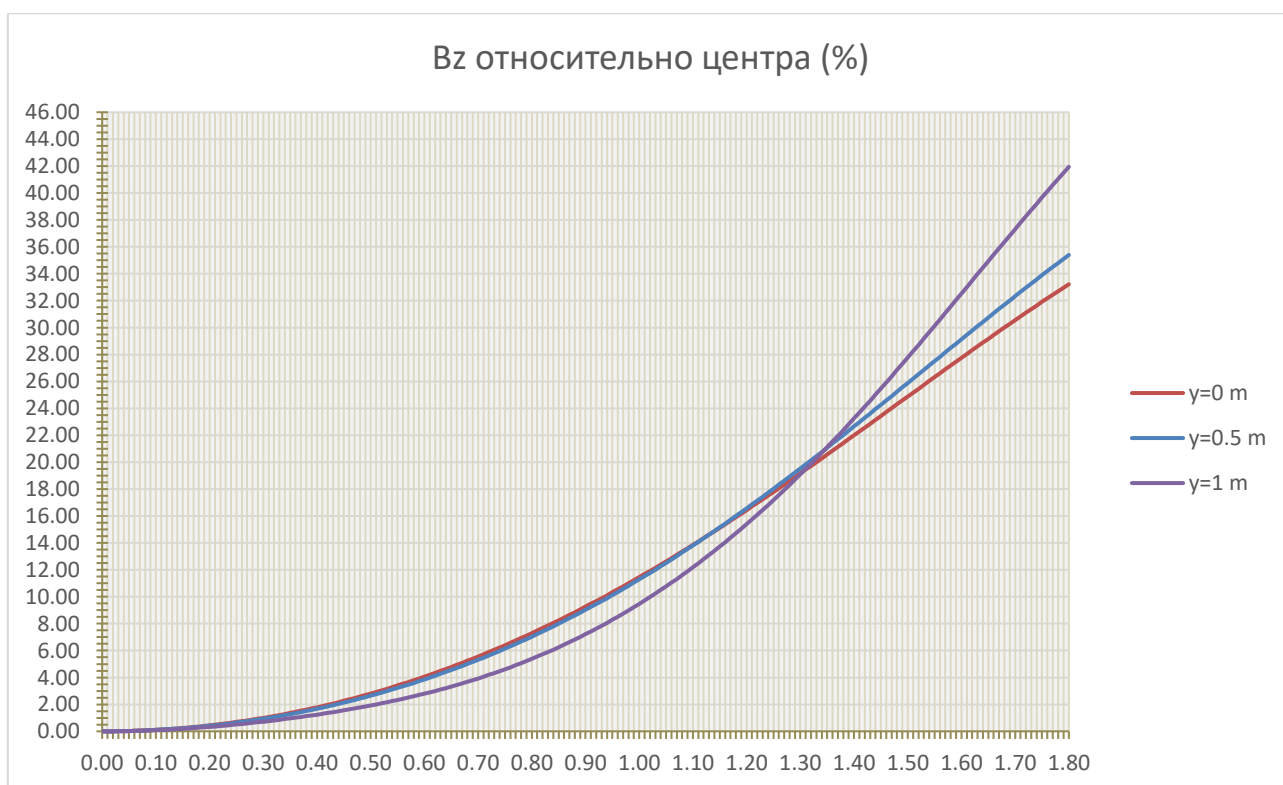


Рисунок 33 - Однородность для B_z для случая без корректирующих катушек

