

УДК 621.793.182

**МОНТАЖ И ЗАПУСК ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА НМСА-50  
НА УСТАНОВКЕ МВТУ-11-1**Мария Владимировна Макарова<sup>(1)</sup>, Александр Сергеевич Бабурин<sup>(2)</sup>*Студент 3 курса<sup>(1)</sup>, студент 6 курса<sup>(2)</sup>,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: К.М. Моисеев,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Для устойчивого горения разряда на поверхности мишени в магнетронных распылительных системах требуется величина магнитного поля больше некоторого критического значения, которое зависит от конструкции магнетрона. Это тем более актуально для магнетронов с жидкофазной мишенью, поскольку на начальных стадиях требуется расплавить материал в тигле, изолированном от поверхности катода магнетрона.

Обработка режимов жидкофазного магнетрона НМСА-50 (рис. 1), смонтированного на вакуумной установке МВТУ-11-1, показала нестабильную работу магнетрона даже в режиме работы с твердой мишенью. Возможные причины – неэффективность магнитной системы, вследствие чего не достигается достаточная величина магнитного поля, и ослабление поля вследствие свойств материала тигля.

Работа жидкофазного магнетрона НМСА-50 была нестабильной. Это могло произойти из-за:

- Недостаточных парамагнитных свойств материала тигля;
- Неэффективной конфигурации магнитной системы;
- Слабой величины магнитной силы постоянных магнитов.

В данной статье рассмотрены и проанализированы все три предположения.

**Проверка влияния на магнитное поле материала тигля**

Тигель изготовлен из молибдена, который обладает отличными парамагнитными свойствами. Однако природный молибден содержит в качестве примесей хром и железо, ослабляющее магнитное поле. Соответственно при большом количестве примесей свойства молибдена, как парамагнетика, становятся недостаточными.

Для проверки данного предположения было измерено магнитное поле магнетрона на различных высотах.

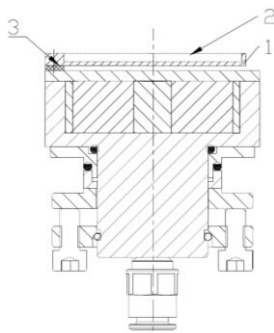


Рис. 1. Разрез жидкофазного магнетрона НМСА-50:

1 – тигель; 2 – мишень; 3 – диэлектрические прокладки

Измерения проводили миллитеслометром ТП2 – У2 – 03, первая серия измерений проводилась по диаметру, вторая по диаметру, находящемуся под углом 45° к первоначальному.

Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Измерение магнитного поля

Расстояние от центра, мм.	Значения магнитной индукции							
	Высота h=0 мм. Тигель, мишень, диэлектрические прокладки отсутствуют		Высота h=2 мм. Тигель, диэлектрические прокладки отсутствуют, мишень присутствует		Высота h=5,75 мм. Тигель, мишень присутствуют, диэлектрические прокладки отсутствуют		Высота h=7,75 мм. Тигель, мишень, диэлектрические пластинки присутствуют	
	D <sub>перв</sub> , мТл	D <sub>45°</sub> <sup>0</sup> , мТл	D <sub>перв</sub> , мТл	D <sub>45°</sub> <sup>0</sup> , мТл	D <sub>перв</sub> , мТл	D <sub>45°</sub> <sup>0</sup> , мТл	D <sub>перв</sub> , мТл	D <sub>45°</sub> <sup>0</sup> , мТл
0	10	11	10	10	10	10	10	12
5	115	140	55	70	60	58	30	40
10	125	120	95	90	75	70	55	53
15	100	85	70	75	60	38	50	45
20	60	40	40	50	40	38	35	28
25	20	2	10	20	20	10		
Состояние разряда	горит		горит		не горит		не горит	

Из измерений видно, что при появлении тигля магнитная индукция поля уменьшается. Так как тигель из парамагнетика, то он должен незначительно усиливать поле, а не ослаблять его. Для окончательного заключения о влиянии тигля на магнитное поле необходимо понять, как быстро меняется поле с высотой. Для этого были проведены измерения магнитного поля на высоте 3 мм (высота тигля 3,75 мм) без какого-либо материала между поверхностью магнетрона и миллитеслометром. После чего было измерено поле непосредственно на поверхности тигля, установленного в магнетроне без болтов и диэлектрических пластин. Данные измерения приведены в таблице 5.

Таблица 2. Измерение магнитного поля

Расстояние от центра магнетрона, мм	На высоте h=3 мм, мТл	Через тигель h=3.70 мм, мТл
0	7	8
5	36	51
10	61	70
15	46	53
20	32	32

Вывод: тигель не влияет на ослабление магнитного поля.

### Анализ эффективности конфигурации магнитной системы

Цель: сравнить имеющуюся магнитную систему с альтернативной, выбрать наиболее эффективную, которая обеспечивала бы достаточное магнитное поле для исправной работы магнетрона. Имеющаяся и альтернативная системы изображены на рисунках 2 и 3.

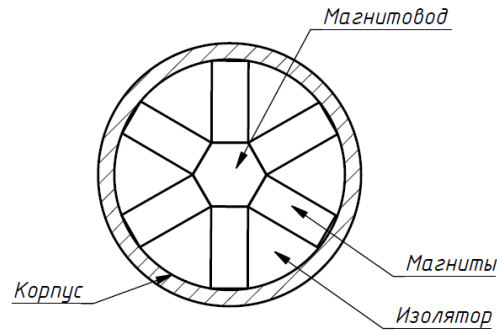


Рис. 2. Существующая магнитная система

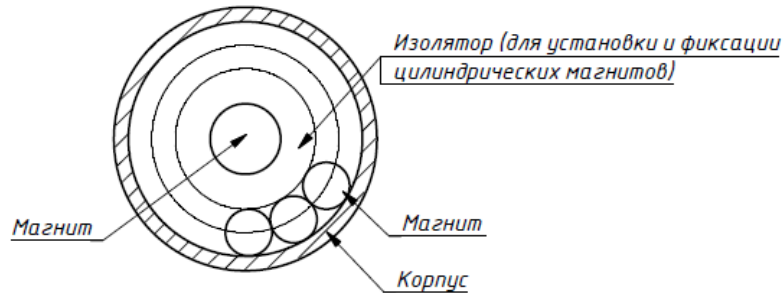


Рис. 3. Альтернативная магнитная система

С помощью программы FEMM была смоделирована существующая и альтернативная магнитные системы жидкофазного магнетрона. Модели магнитного поля изображены на рисунке 4.

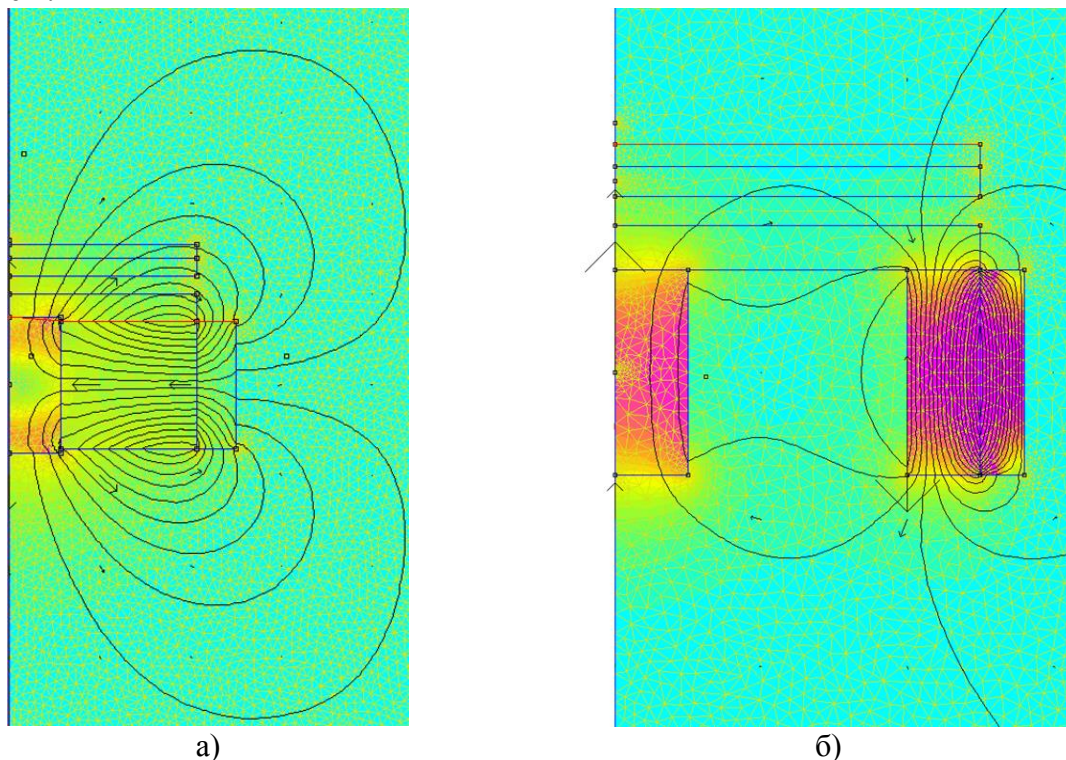


Рис. 4 Модель магнитного поля: а) имеющейся магнитной системы, б) альтернативной магнитной системы

Графики значений магнитной индукции существующей на высоте  $h=0$  мм изображены на рисунке 5, на высоте  $h=6$  мм на рисунке 6, а графики альтернативной системы на рисунках 7 и 8.

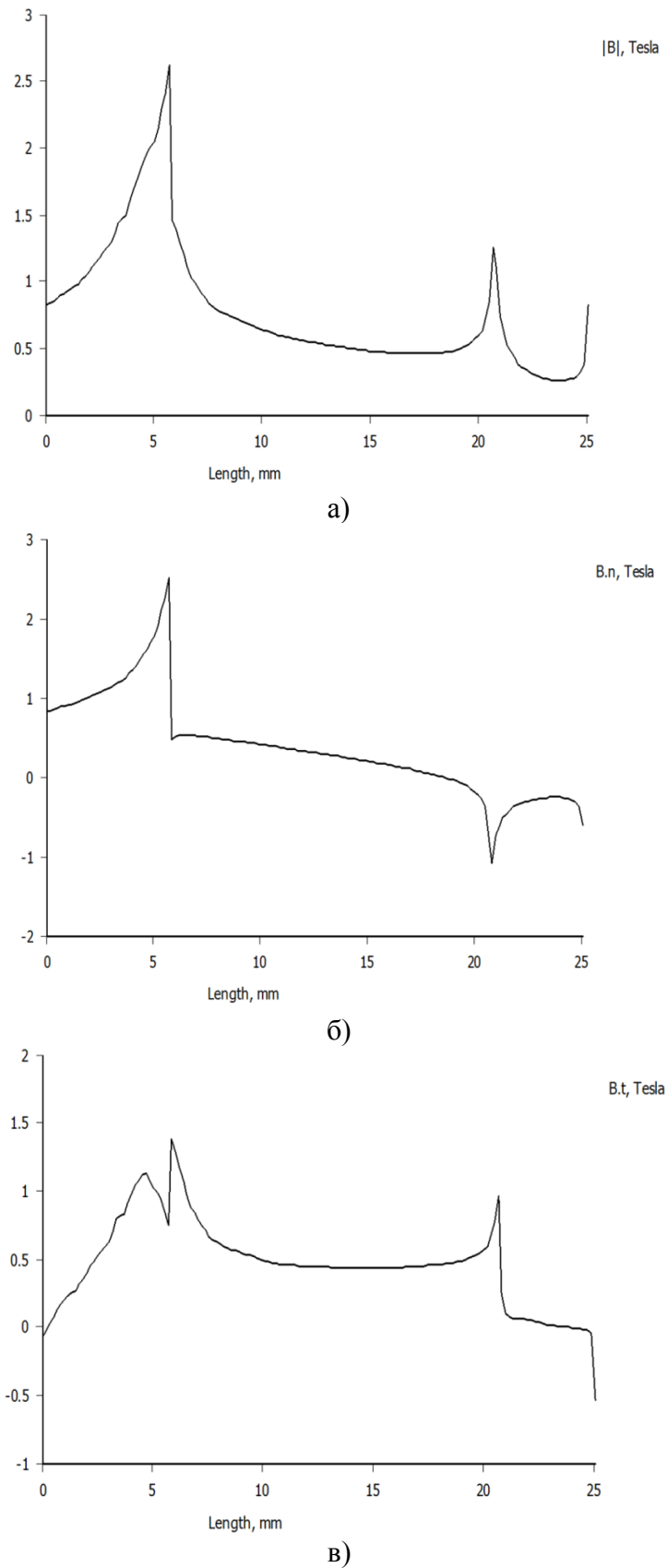
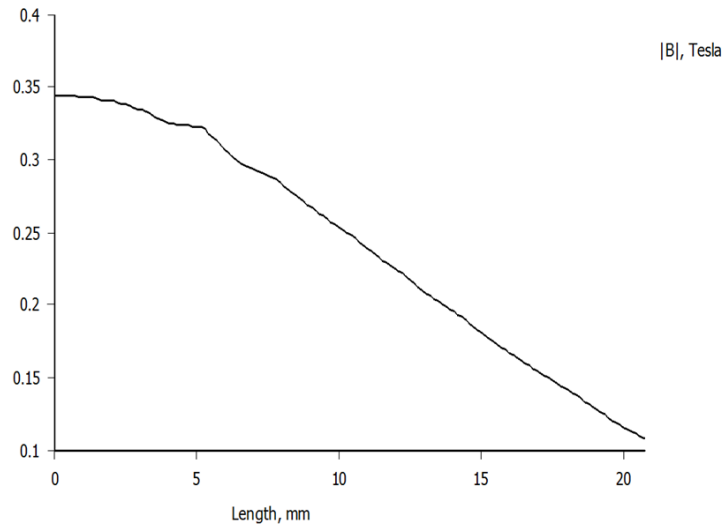
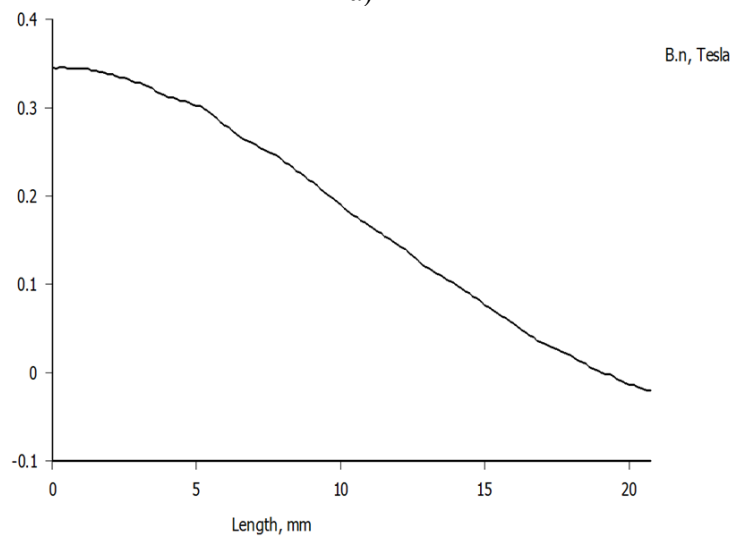


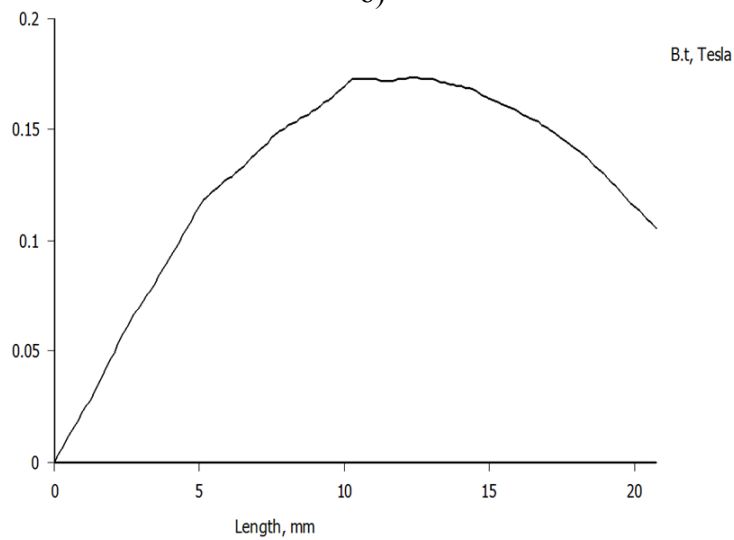
Рис. 5. Графики значений магнитной индукции на высоте  $h=0$ мм. а) модуль магнитной индукции, б) нормальная составляющая магнитной индукции, в) тангенциальная составляющая магнитной индукции



а)

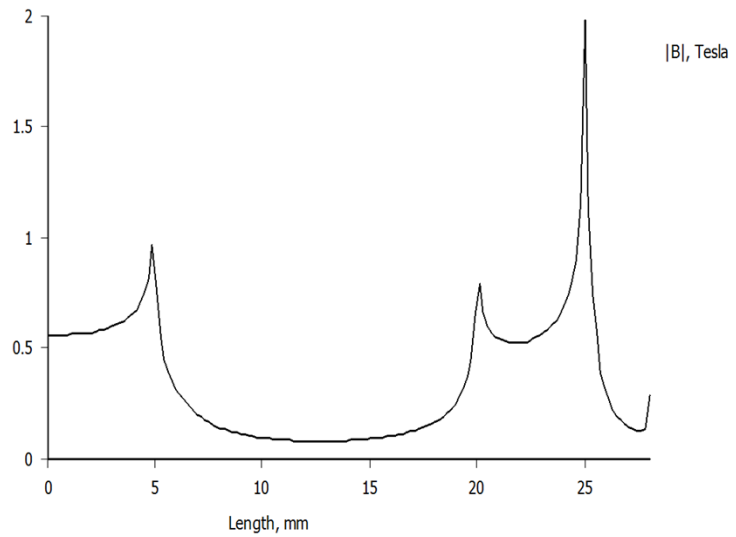


б)

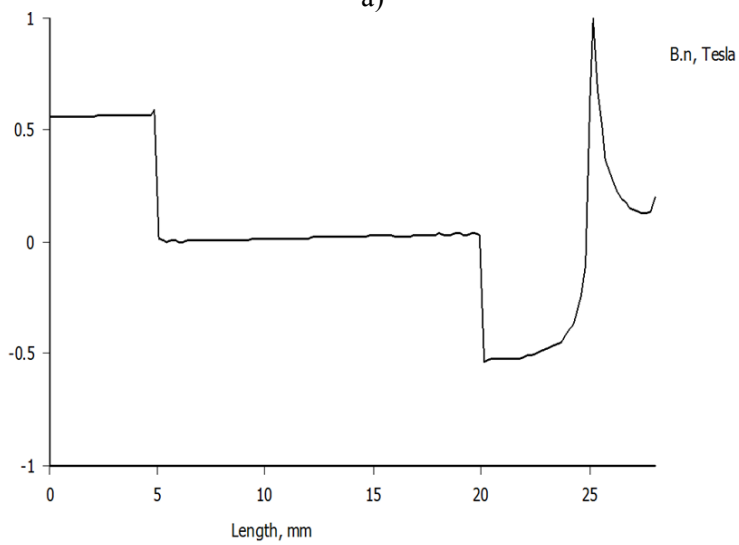


в)

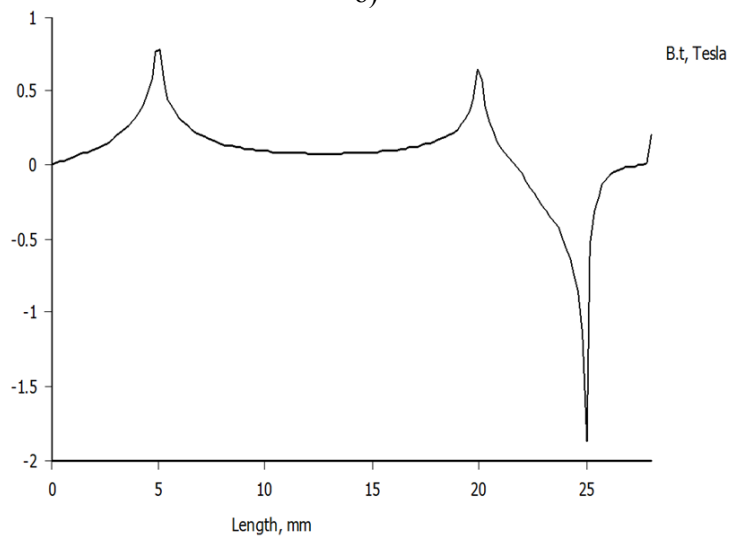
Рис. 6. Графики значений магнитной индукции на высоте  $h=6$ мм. а) моль магнитной индукции, б) нормальная составляющая магнитной индукции, в) тангенциальная составляющая магнитной индукции



а)



б)



в)

Рис.7. Графики значений магнитной индукции на высоте  $h=0$ мм. а) модуль магнитной индукции, б) нормальная составляющая магнитной индукции, в) тангенциальная составляющая магнитной индукции

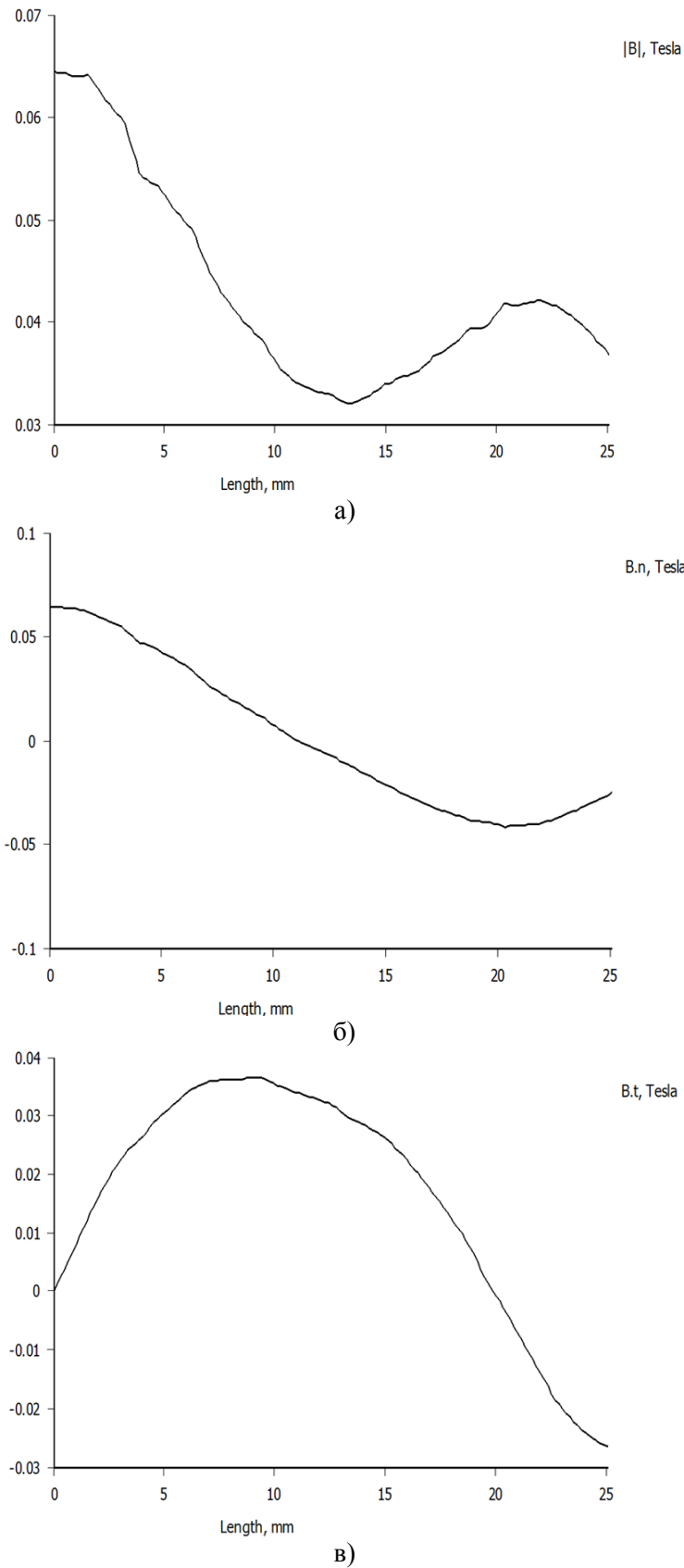


Рис.8. Графики значений магнитной индукции на высоте  $h=6$ мм. а) моль магнитной индукции, б) нормальная составляющая магнитной индукции, в) тангенциальная составляющая магнитной индукции

На рисунках 9 и 10 представлено графическое сравнение магнитных систем.

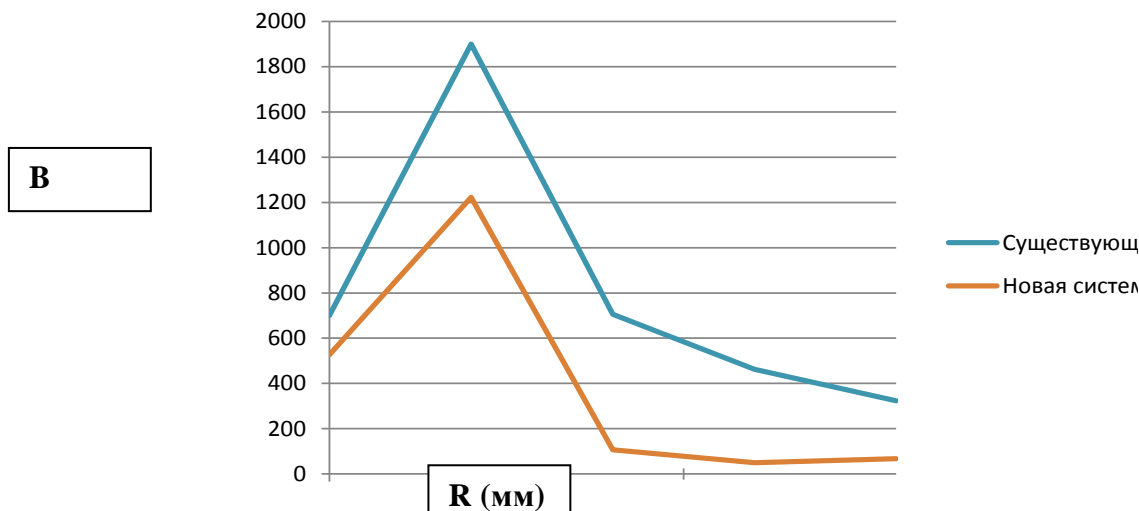


Рис.9. Графическое сравнение имеющейся и альтернативной системы на поверхности h=0мм

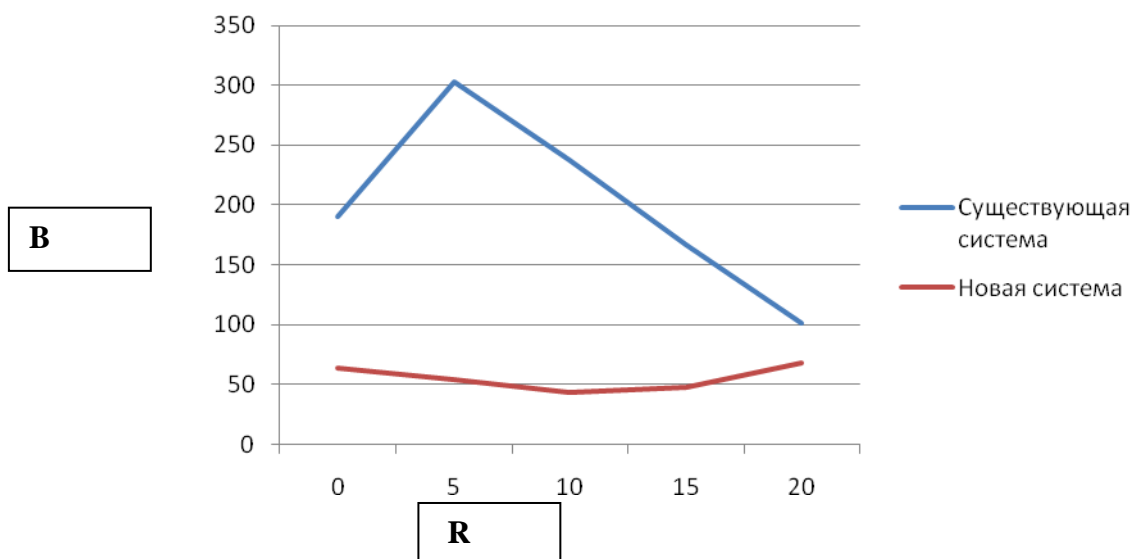


Рис.10. Графическое сравнение имеющейся и альтернативной системы h=6мм

Вывод: альтернативная система обеспечивает меньшую магнитную индукцию на необходимой высоте, чем имеющаяся, следовательно, замена системы не требуется.

### Проверка магнитной силы постоянных магнитов

В таблице 7 приведено сравнение теоретических и практических значений имеющейся магнитной системы.

Таблица 7. Сравнение теоретических и практических значений имеющейся магнитной системы

На поверхности магнитов, h=0 мм					
R, мм	0	5	10	15	20
Теоретические значения, мТл	700	1900	706	463	323
Практические значения, мТл	11	140	120	85	20



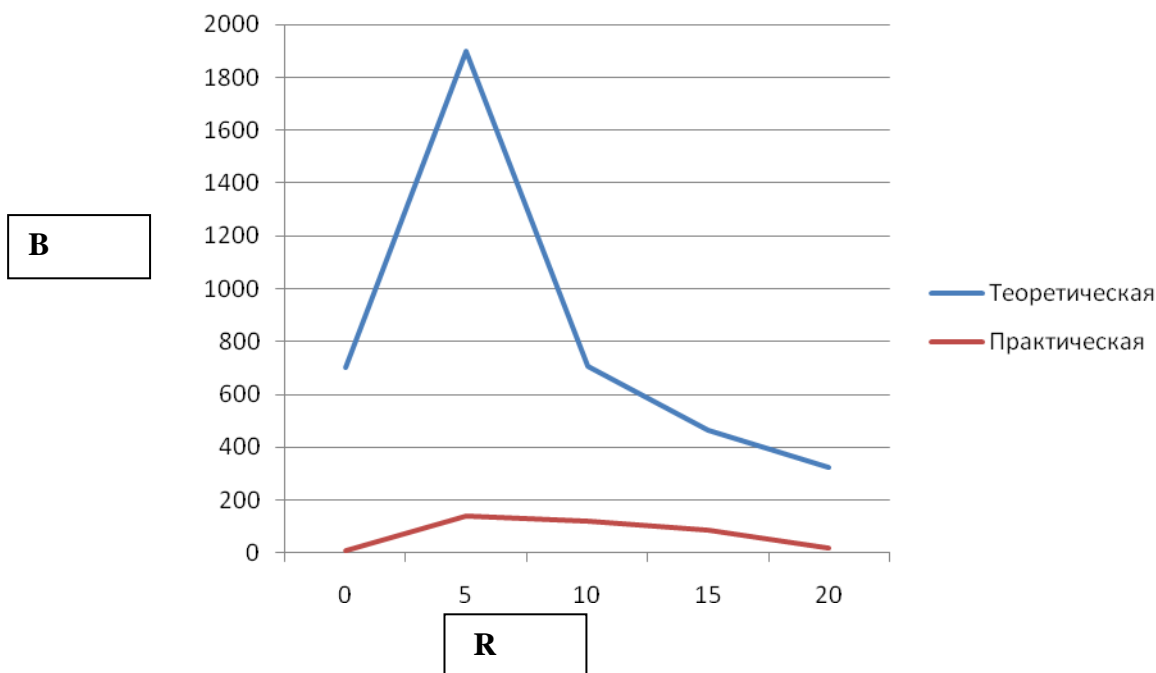


Рис.11. Графическое сравнение практической и теоретической системы

Вывод: теоретически возможная величина магнитной индукции данной системы сильно отличается от измеренной. Следовательно, недостаточная магнитная сила постоянных магнитов является наиболее вероятной причиной некорректной работы жидкофазного магнетрона НМСА-50.

### Выводы и результаты

Как видно из проведенных измерений: тигель не ослабляет магнитное поле магнетронной системы.

С помощью моделирования было установлено, что имеющаяся магнитная система обеспечивает большую магнитную индукцию, чем альтернативная.

Вследствие сильного различия теоретически возможной величины магнитной индукции и измеренной на практике можно предположить, что в имеющейся магнитной системе стоят слабые магниты. Следовательно, для обеспечения большего значения магнитной индукции необходимо заменить магниты в существующей системе.

### Литература:

1. Магнетронные распылительные системы / А. И. Кузьмичёв — М.: Из-во «Аверс», 2008;
2. [http://eot-ttd.blog.tut.by/files/2014/08/Start\\_FEMM4\\_2\\_v2.pdf](http://eot-ttd.blog.tut.by/files/2014/08/Start_FEMM4_2_v2.pdf)