

УДК 622.6.2

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЫБОР МАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА В СИСТЕМЫ МАГНИТНОГО ПОДВЕСА

П.В. Чепиков, аспирант, А.Ю. Захаров, д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет, имени Т.Ф.  
Горбачева, г. Кемерово.

В настоящее время все чаще используется магнитный подвес в различных областях техники, поскольку он, как правило, обеспечивает снижение сопротивления движению и, соответственно, снижается износ элементов оборудования [1,2,3]. При разработке магнитного подвеса на основе взаимодействия постоянных магнитов одной из задач является выбор магнитного материала [4,5,6]. Несмотря на то, что магнетизм является одной из старейших изучаемых отраслей науки, остается множество проблем, требующих численного решения при выборе параметров материала. Имеется множество свойств постоянных магнитов, которые принимаются во внимание при разработке магнитного подвеса для определенного механизма. При этом кривая размагничивания имеет наибольшее влияние по ограничению на использование магнитного материала.

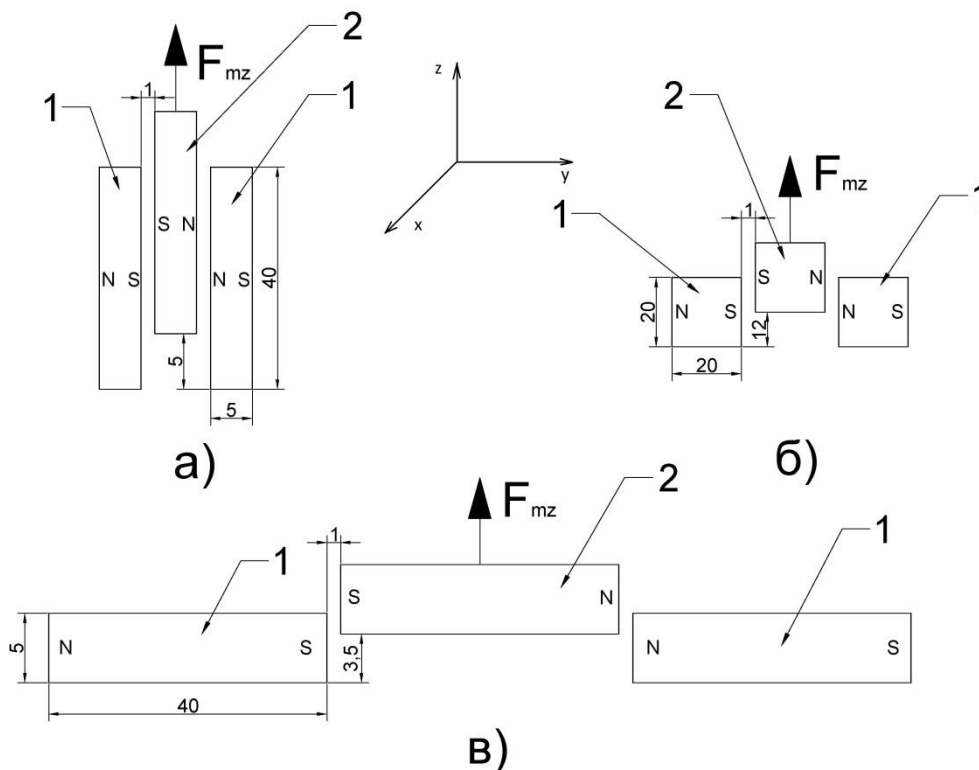


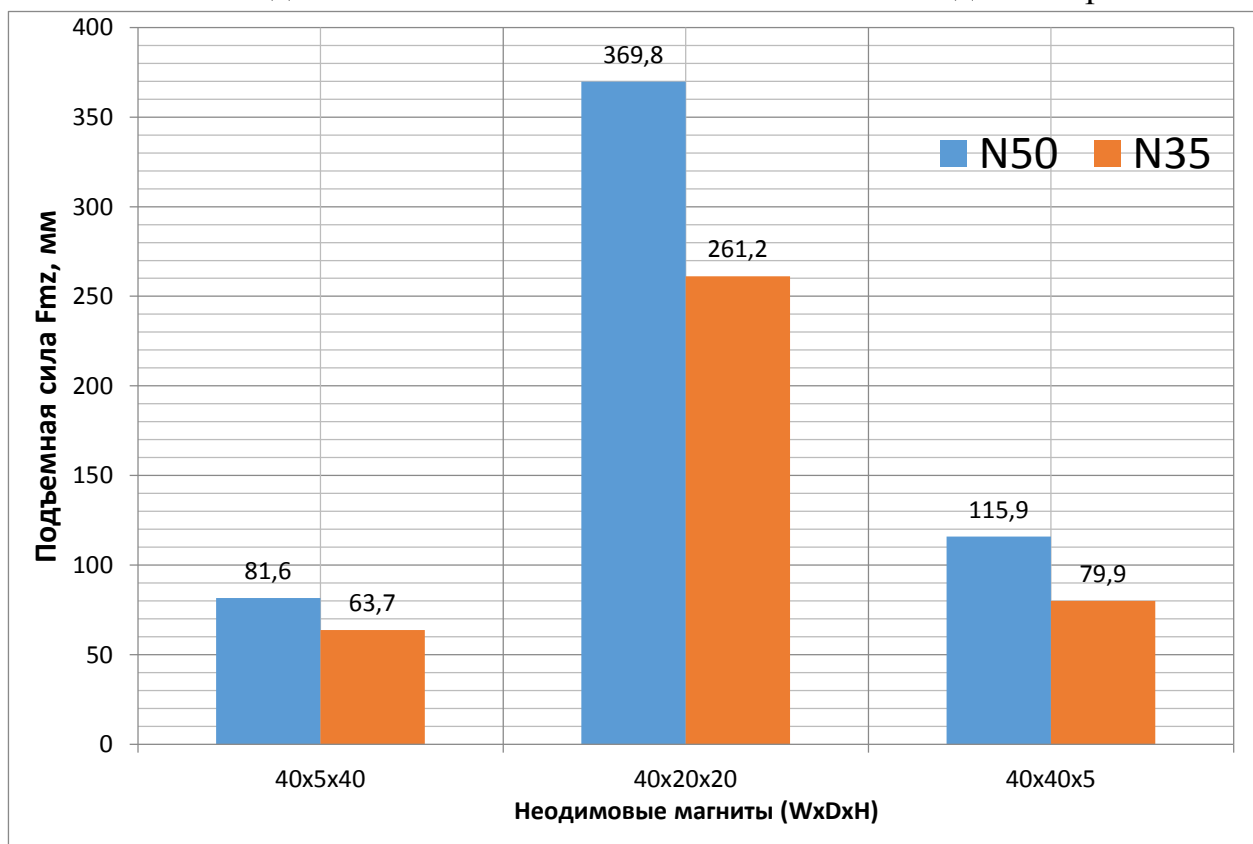
Рис. 1. Конфигурация систем магнитного подвеса с различными геометрическими параметрами

Форма кривой и нагрузочные прямые содержат информацию о том, как магнит будет вести себя в статических и динамических условиях эксплуатации, и в этом смысле характеристика материала может быть ограничением по применению в определенной системе подвеса. Значение магнитной индукция в зависимости от величины напряженности любого постоянного магнита имеет несколько участков как линейных, так и нелинейных, что приводит к сложности аналитического анализа. Для решения данной задачи был использован программный комплекс Ansys Maxwell 3D, в котором получено численное решение с различными параметрами магнитов в магнитном подвесе методом скалярного потенциала (General Scalar Potential (GSP) Strategy).

На рис. 1 представлены магнитные системы подвеса с различными геометрическими параметрами. У всех магнитов был задан вектор намагниченности вдоль оси Oy. Площадь поперечного сечения вдоль оси Oy была выбрана постоянной и равной  $200\text{мм}^2$ . Длина по оси Ox была выбрана одинаковой для всех магнитов - 40мм. Были выбраны следующие геометрические параметры магнитов: 40мм x 5мм x 40мм (W x D x H) (рис. 1, а); 40мм x 20мм x 20мм (W x D x H) (рис. 1, б); 40мм x 40мм x 5мм (W x D x H) (рис. 1, в).

Рассматривались два вида неодимовых магнитных материалов N35 и N50. Последний промышленно выпускаемый имеет наибольшую энергию и высокую коэрцитивную силу, а N35 имеет меньшую стоимость и достаточные характеристики.

Рис. 2. Подъемная сила Fz в системах магнитного подвеса с различными



ми магнитными материалами N35 и N50

Для каждой системы магнитного подвеса с соответствующим магнитным материалом и геометрическими размерами магнитов определялась максимальная подъемная сила ( $F_z$ ) парящего магнита (поз. 2 на рис. 1). По результатам расчетов построена диаграмма рис. 2.

На рис. 3 и 4 представлен график второго квадранта ВН кривой размагничивания для материалов N50 и N35 соответственно, с построенными линиями нагрузки в каждой рассматриваемой системе: для отдельного магнита (вне системы), для опорного и для парящего магнитов. Пересечения данных линий определяют рабочие точки магнита.

По графикам рис.3 и 4 видно, что магниты с геометрическими размерами 40мм x 5мм x 40мм ( $W \times D \times H$ ) (рис. 1, а) могут быть частично размагничены под действием магнитного поля, так как рабочая точка находится ниже "колена" на кривой размагничивания. Поэтому использование магнитов, где  $D \ll H$  является неэффективным при данном типе подвеса.

Магниты с геометрическими размерами 40мм x 40мм x 5мм ( $W \times D \times H$ ) (рис. 1, в) имеют круто поднятую линию нагрузки, что влечет недоиспользование магнитной энергии. Поэтому использование магнитов, где  $D \gg H$  является также неэффективным при данном типе подвеса.

Рациональным, с точки зрения использования энергии постоянного магнита, являются магниты с геометрическими размерами 40мм x 20мм x 20мм ( $W \times D \times H$ ) (рис. 1, б), так как линия нагрузки проходит достаточно близко точки  $B_{Hmax}$ , в которой плотность энергии магнитного поля в воздушном зазоре, окружающего магнит, максимальна.

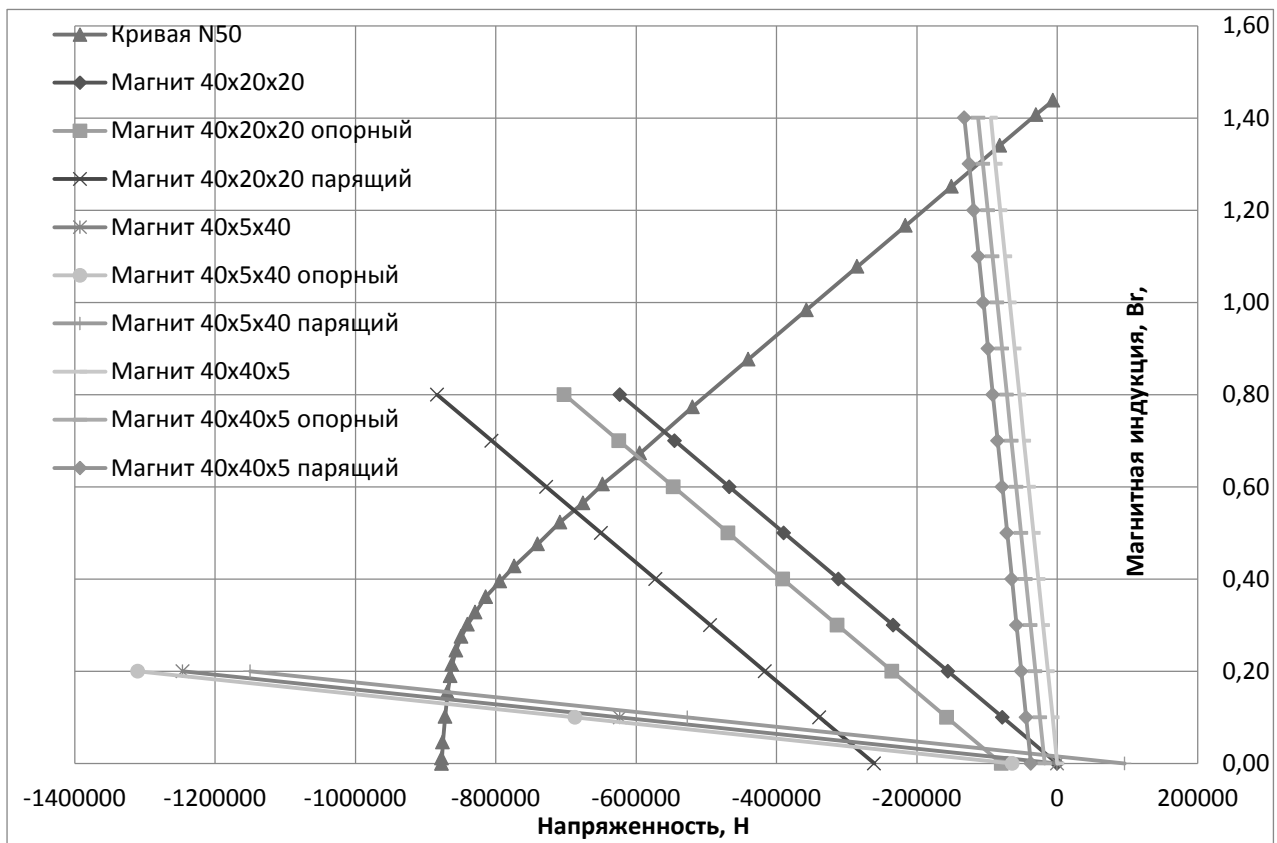


Рис. 3. Кривая размагничивания N50 с линиями нагрузок  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
21-24 апреля 2015 г., Россия, г. Кемерово

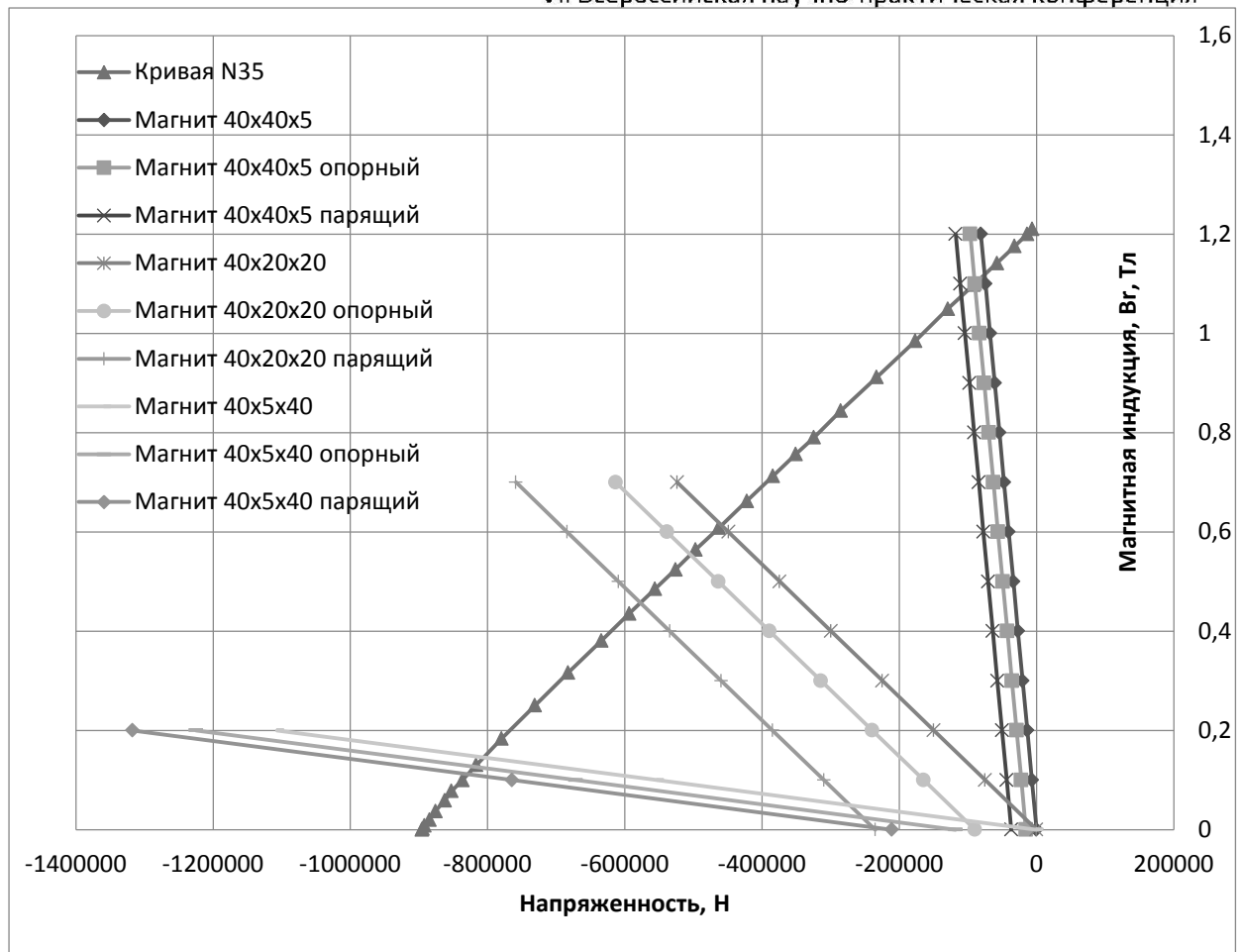


Рис. 4. Кривая размагничивания N35 с линиями нагрузки

Чем ближе линия нагрузки  $BH_{max}$ , тем меньше потребуется магнитного материала для создания требуемой подъемной силы. Поэтому использование магнитов, где  $D \approx H$ , является эффективным при данном типе подвеса.

При расчете также установлено, что опорные магниты в данной системе подвеса «работают» эффективней, чем парящие магниты, ввиду действия большого размагничивающего поля на них. Кроме того, не был выявлен эффект подмагничивания опорных магнитов друг другом.

В системе с магнитным материалом N50 подъемная сила выше на 18%, чем с материалом N35, при этом линия нагрузки парящего магнита находится достаточно близко к «колену» кривой размагничивания.

### Вывод:

В данной работе было продемонстрировано положение линий нагрузок и рабочих точек для систем магнитного подвеса, основанных на касательном взаимодействии постоянных магнитов с различными геометрическими параметрами. Установлено, что в данном случае магнитный материал слабее влияет на эффективность системы, чем взаимное расположение магнитов.

### Список литературы:

1. Постоянные магниты: Справочник / Альтман А. Б., Герберг А. Н., Гладышев П. А. и др; Под ред. Ю. М. Пятина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. Энергия, 1980. — 488 с, ил.

2. Michel Fiset, Daniel Dussault. Laboratory simulation of the wear process of belt conveyor rollers. Original Research Article Wear, Volumes 162–164, Part B, 13 April 1993, Pages 1012-1015
3. Liyan Sun, Shuyan Wang, Huang Lu, Guodong Liu, Huilin Lu, Yang Liu, Zhao Feixiang. Simulations of configurational and granular temperatures of particles using DEM in roller conveyorOriginal Research Article Powder Technology, Volume 268, December 2014, Pages 436-445
4. Vierošlav Molnár, Gabriel Fedorko, Miriam Andrejiová, Anna Grinčová, Marianna Tomašková. Analysis of influence of conveyor belt overhang and cranking on pipe conveyor operational characteristicsOriginal Research Article Measurement, Volume 63, March 2015, Pages 168-175
5. Mark W. Coffey. Magnetic levitation from negative permeability materials. Physics Letters A, Volume 376, Issues 42–43, 3 September 2012, Pages 2739-2742
6. S.B. Kim, J. Matsunaga, A. Doi, T. Ikegami, H. Onodera. Study on the characteristics of magnetic levitation for permanent magnets and ferromagnetic materials with various sizes using stacked HTS bulk annuliOriginal Research Article Physica C: Superconductivity, Volume 484, 15 January 2013, Pages 316-320