

Рис. 8 и 9 демонстрируют, что температура в источниках теплового излучения с течением времени изменяется экспоненциально. Данные кривые будут описываться уравнением [1]:

$$T(t) = a * [1 - \exp(-b * t)],$$

где  $T(t)$  – температура во время этапа нагрева;  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации;  $t$  – момент времени.

**Заключение.** Реальная конструкция бетатрона обладает гораздо большей величиной тепловых потерь. Вероятная причина несоответствия реальной температуре к экспериментально рассчитанной – ошибка при определении коэффициентов Маренина–Штейнмеца, которые определяются по кривой зависимости потерь от индукции в электромагните. Для устранения данной ошибки необходимо повторно произвести замеры потерь в стали.

Между тем, модель наглядно демонстрирует наиболее перегретые участки конструкции бетатрона и может быть использована для анализа воздушных потоков, которыми обдуваются источники теплового излучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.С. Нестационарные температурные режимы и тепловые потери активных элементов с произвольным числом циклов нагрузка-пауза / В.С. Логинов, В.Е. Юхнов; Мин-во образования и науки РФ, Федер. агентство по образованию, Томский политех. ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 153 с.
2. Шипунов И.В. Вопросы теплового расчета электромагнитов бетатронов [Электронный ресурс] / И.В. Шипунов // Известия Томского политехнического института [Известия ТПИ] / Томский политехнический институт (ТПИ). – Изд-во ТПИ, 1957. – Т. 87: Электронные циркулярные ускорители. – [С. 106–119]. – Заглавие с титульного листа. – Электронная версия печатной публикации. – С. 119.
3. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. – Л.: Энергия, 1970. – 432 с.

#### **ИМИТАТОР ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКОВ**

Зубенко А.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Гормаков А.Н., доцент, к.т.н.

<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: Anna.zubenko0712@gmail.com

#### **THE GEOMAGNETIC FIELD SIMULATOR FOR GROUND-BASED TESTING OF NANOSATELLITE ORIENTATION SYSTEMS**

Zubenko A.A.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD, Gormakov A.N.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University  
Russia, 30 Lenin ave., Tomsk, 634050  
E-mail: Anna.zubenko0712@gmail.com

*В статье приводится обзор существующих отечественных и зарубежных стендов для полунатурного моделирования систем ориентации наноспутников. Проведен их сравнительный анализ по основным техническим характеристикам. Определены общие тенденции в структуре стендов. Приведены результаты проектирования имитатора геомагнитного поля для обеспечения испытания наноспутников размером не превышающих границ сферы диаметром 100 мм.*

*The article provides an overview of existing domestic and foreign stands for semi-realistic modeling of nanosatellite orientation systems. Their comparative analysis on the basic technical characteristics is carried out. The general trends in the structure of the stands are determined. The results of designing a geomagnetic field simulator for providing a test of nanosatellites of a size not exceeding 100 mm diameter spheres are given.*

Для вывода спутника с магнитной системой ориентации на орбиту необходимо отработать способы его управления в полунатурных условиях, для этого требуется создание наземного стенда. Для создания подобных условий необходимо имитировать геомагнитное поле с характером изменения, аналогичным при движении спутника по орбите. В зоне однородности магнитного поля (МП) устанавливается макет спутника. Он представляет собой конструкцию с точкой опоры в виде шарнира, расположенного максимально близко к центру масс, что минимизирует возмущающее влияние на динамику макета спутника. Результаты поведения опытного образца дадут информацию о перемещениях макета при его движении по орбите.

Стенд для моделирования состоит из макета спутника и имитатора поля. Имитатор создает магнитное поле, а макет спутника содержит в себе элементы, которые взаимодействуют с этим магнитным полем. Это могут быть магнитные катушки или постоянные магниты, через которые устанавливается ток системой управления. Для управления макетом можно использовать систему управления настоящим спутником, это поможет исключить издержки на создание собственной системы управления макетом.

Подобные стенды уже существуют и активно применяются для испытаний. Одними из самых известных на сегодняшний день считаются стенды SX-025, SX-150, SX-MAGSIM-02, и TES-6H-22g. Их функциональность позволяет произвести все необходимые манипуляции для тестирования работы наноспутника перед его эксплуатацией в реальных условиях космоса [1–4].

Все указанные стенды имеют идентичную структуру работы, которую можно рассмотреть на примере стенда SX-025 (рис. 1).



*Рис. 1. Стенд SX-025*

Стенд полунатурного моделирования способен решить следующие задачи:

- Испытания функционирования системы ориентации малогабаритных спутников;
- испытания и калибровка отдельных компонентов систем ориентации (датчики, программное обеспечение и т. д.);
- испытания алгоритмов определения ориентации и стабилизации, математическое моделирование

Состав аппаратно-программного комплекса:

- имитатор МП
- аэродинамический подвес с арретиром;
- поворотная плита, установленная на аэродинамический подвес;
- система независимых измерений;

- ПК для управления стендом
- программное обеспечение

Назначение аппаратно-программного комплекса:

- Исследование и проверка алгоритмов ориентации и стабилизации МКА в пространстве;
- Отработка и улучшение алгоритмов управления спутником на орбите;
- Обучение инженеров космических специальностей практическим навыкам управления МКА.

Имитатор МП:

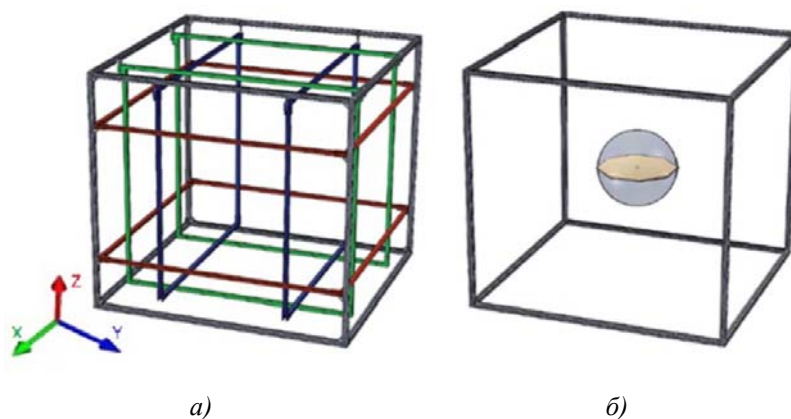


Рис. 2. Структура формирующих элементов поля имитатора (а) и пространственная модель однородного поля имитатора (б)

Среди стендов полунатурного моделирования представлен широкий ряд установок с различными характеристиками, среди которых можно подобрать наиболее подходящие под заявленные требования.

Макет спутника должен полностью находиться в зоне однородности магнитного поля. Области однородности, ограниченной сферой радиусом 100 мм будет достаточно для проведения испытаний.

Магнитное поле, удовлетворяющее заданным требованиям, проще всего создать с помощью катушек, т. к. использование сердечников создаст неудобства при изменении поля из-за возникновения эффекта гистерезиса. Так же, это связано с дороговизной установки, поскольку диаметр сердечника должен быть больше диаметра однородности магнитного поля, которое должно удовлетворять требованию 100 мм.

Радиус катушки обозначим как  $a_c$ , расстояние между катушек –  $d_c$ . Примем  $d_c/a_c=1,116$ , что удовлетворяет предпочтительному геометрическому расположению. Поле, создаваемое на оси, проходящей через центры каждой катушки, является номинальным для этой пары. Напряженность такого поля определяется следующей формулой [5]:

$$H = \frac{NI}{a_c \left( \left( \frac{d_c}{2a_c} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{3}{2}}},$$

где  $NI$  – количество ампер-витков в каждой из катушек.

В результате исследования была построена модель колец намагничивания в пакете Comsol Multiphysics. На рис. 4, а представлена 3D-модель катушек и определена зона однородности магнитного поля, на рис. 4, б представлена 2D-модель этих же катушек с изображением характера распространения магнитного поля [6].

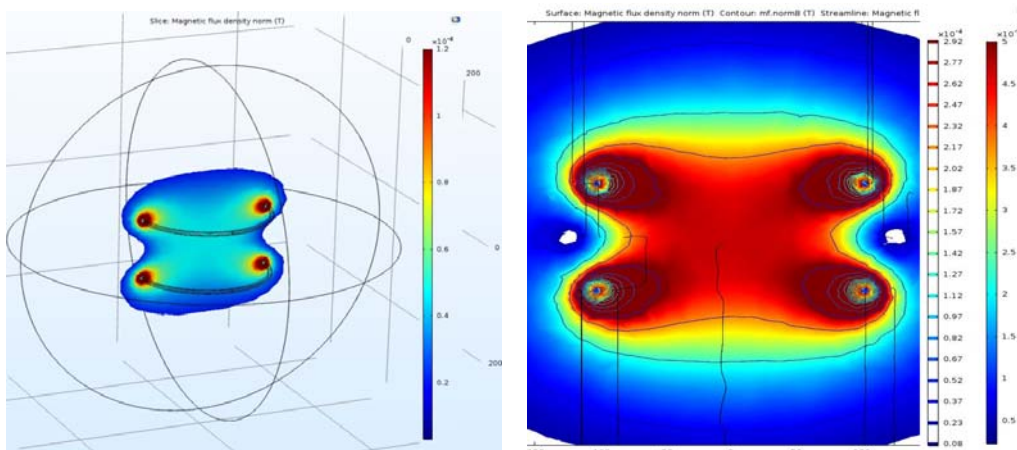


Рис. 4. 3D- и 2D-модели катушек с характером распространения индукции магнитного поля

Катушки круглой геометрической формы имеют меньшие размеры по сравнению с квадратными, при условии, что создается одинаковый объем однородного МП. С точки зрения энергетики, круглые кольца в такой конфигурации также являются оптимальными. Так же, с экономической точки зрения, круглые катушки использовать целесообразнее. На основании проведенного анализа следует отдать предпочтение структуре формирующих элементов имитатора магнитного поля Земли на базе круглых колец.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СПУТНИКС. Стенд моделирования SX-025. – (Электронный ресурс: [http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/244-adcs\\_stands\\_sx\\_25\\_ru](http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/244-adcs_stands_sx_25_ru)).
2. СПУТНИКС. Стенд моделирования SX-150. – (Электронный ресурс: <http://www.sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/259-facility-gnd-120-ru>).
3. СПУТНИКС. – (Электронный ресурс: [www.sputnix.ru](http://www.sputnix.ru)).
4. Остек-Тест. – (Электронный ресурс: <http://www.ostec-test.ru/catalog/equipment/stendy-polunaturnogo-modelirovaniya/pyatiosevye-stendy-polunaturnogo-modelirovaniya/>).
5. Институт прикладной математики. – (Электронный ресурс: <http://www.keldysh.ru/>).
6. COMSOL Multiphysics. – (Электронный ресурс: <http://www.comsol.com/>). Дата обращения 18.03.2017).

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КРИОВОЗДЕЙСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Королюк Е.С.<sup>1</sup>, Ханахмедова Г.Б.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Бразовский К.С., д.м.н.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: esk13@tpu.ru

#### INCREASING THE EFFICIENCY OF DETERMINING THE EXTENT OF CRYOTHERAPY USING IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Korolyuk E.S.<sup>1</sup>, Khanakhmedova G.B.<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Dr., Brazovsky K.S.

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050

E-mail: esk13@tpu.ru