

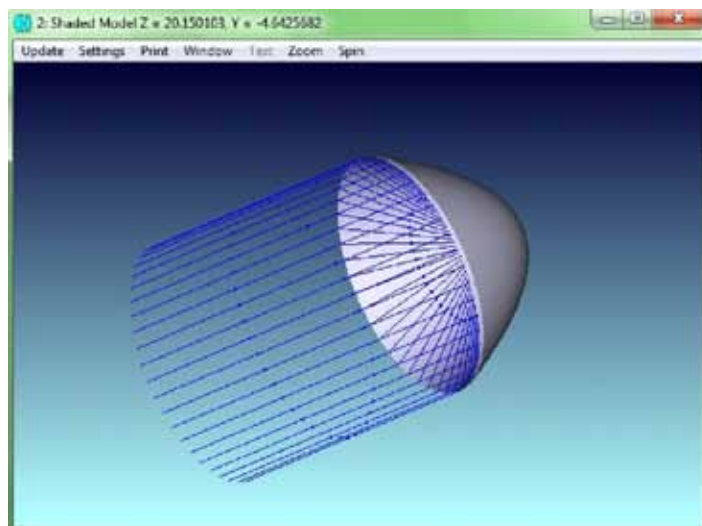


Рис. 4. 3D модель параболического зеркала

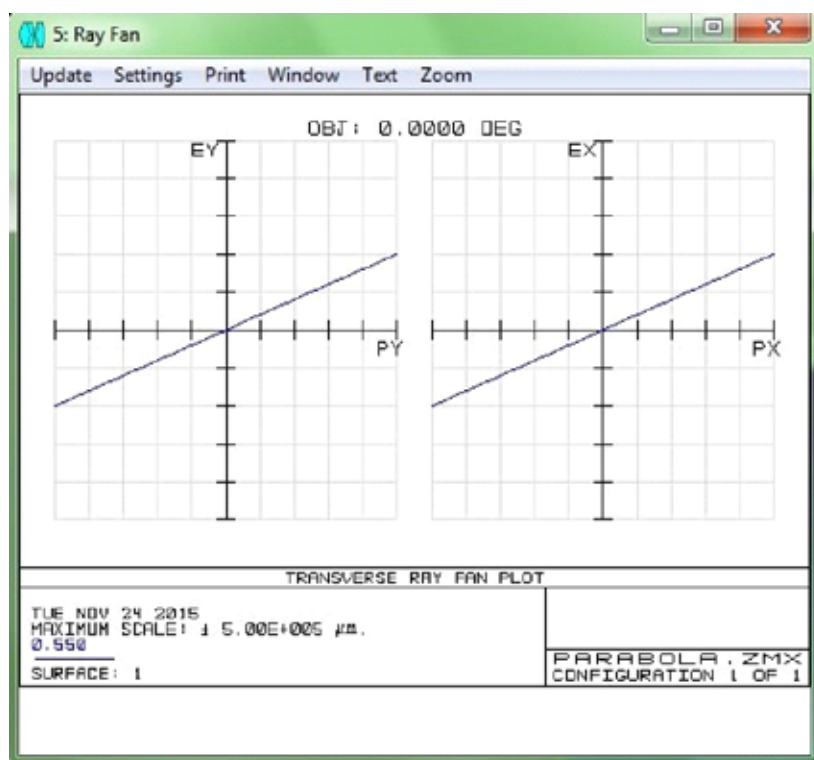


Рис. 5. Аберрации параболического зеркала

Из схемы видно, что падающие на зеркало лучи собираются в центре параболического зеркала. Рассмотрим 3D схему установки на рис. 4.

Посмотрим аберрации лучей на поверхностях. Аберрации – это отклонения хода реальных лучей от идеальных. Аберрации представлены на рис. 5.

Анализ показывает хорошее совпадение с оригиналом.

Список литературы

1. Сажин В.И. Компьютерное моделирование направленных свойств антенн: учеб. пособие / В.И. Сажин, С.В. Унучков. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 86 с.
2. Глушенко А.Г., Жуков С.В. Конспект лекций по учебной дисциплине «Оптическая физика». – Самара: Изд-во ИГУТИ, 2013. – 324 с.

КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ БУДУТ ДЕЛАТЬ 3D ПРИНТЕРЫ

Глушенко А.А., Глушенко В.А., Глушенко Е.П.
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, Самара;
МБОУ «Лицей технический», Самара,
e-mail: gag109646@yandex.ru

Проблема подъема на большие высоты является актуальной в повседневной практике (большое число людей ежедневно пользуется лифтом для подъема в доме или на работе на 5–24 этаж, а иногда даже на 154 этаж – в ОАЭ высота башни Бурдж Халиф до-

стигает 828 метров). Как высоко можно подняться на лифте и можно ли реально создать лифт, переносащий нас за пределы стратосферы – в космос? Освоение космоса является важнейшей задачей ближайшего будущего, но не может быть решено существующими техническими методами (из-за высокой стоимости, сложности и опасности проектов освоения космоса с помощью ракетных носителей). Освоение космоса с помощью альтернативных методов является очень актуальной задачей, решение которой стало возможным только в самое последнее время благодаря открытию физических свойств наноматериалов [1].

Исследователи из NASA и компания Liftport Inc. предложили упростить вывод крупных объектов на орбиту, используя систему «космический лифт». Эта идея была описана еще основателем космонавтики – К.Э. Циолковским, считалась нереально фантастичной из-за невообразимой величины и веса необходимого для такого лифта троса [2]. Но все изменилось практически в последнее десятилетие, когда достаточно неожиданно были открыты и изучены свойства нового материала – графена, на основе которого можно создать прочный, тонкий и легкий трос для лифта, в том числе космического. Принцип работы космического лифта и некоторые проблемы его создания изучались мною в нескольких работах, представленных в [3-7]. Практическая реализация этого проекта связана с необходимостью решения целого ряда очень сложных проблем (создание нового типа двигателей, уборки космического мусора, подвод энергии [3-6]). Наиболее важной задачей является создание троса с необходимыми характеристиками: выбор материала и способа производства троса для космического лифта, оценка затрат на материалы и производство.

Технология графенового троса

Схема космического лифта проста: взять трос, прикрепить один его конец к Земле, к другому привязать груз и выбросить его на высоту до 100 тысяч километров [8]. Трос не упадет обратно, а повиснет, лента троса будет находиться в натянутом состоянии. Космическая капсула, содержащая полезный груз, будет передвигаться вдоль ленты. Конечный пункт прибытия (36 000 км от поверхности Земли) – космический модуль на геостационарной орбите.

В предыдущих работах [3-6] мы рассматривали обсуждаемую в литературе возможность создания космического лифта на основе графенового троса [1-2], который обладает необходимой прочностью и его вес по сравнению со стальным тросом не является препятствием для создания лифта. Вместе с тем, из-за большой длины такого троса (~100000 км) существуют большие технические и технологические проблемы. Как сделать достаточно длинные участки троса, доставить их в космос и надежно соединить эти участки для создания троса такой длины? Углерод, лежащий в основе графена, является горючим элементом. Поэтому возникают даже еще пока не обсуждаемые в литературе проблемы безопасности объекта (хотя бы в области атмосферы). Кроме того, еще практически нет технологии промышленного производства нанозлементов из углерода. Часть этих проблем решается при использовании нового наноматериала – силицена [9]. Силицен – двумерное аллотропное соединение кремния, подобное графену. «Силицен – это кремниевый брат – близнец графена», – разъясняет Юкио Ямада – Такамура, профессор Японского института науки и технологии в Исиаве, мировой лидер в изучении силицена. Графен – это слой толщиной с атом углерода, а силицен – такой же слой из атомов кремния. Многие свойства силицена схожи с графеновыми. Но у него есть неоспоримое преимущество

перед своим собратом – полная совместимость с уже существующей сегодня технологией электроники, в основе которой находится кремний. А значит, исследования займут меньше времени и производство силициновых устройств обойдется дешевле. При этом плюсы всё те же, что и у графена по прочности и электрическим свойствам. Так что в конкуренции этих наноматериалов будущего станет, скорее всего, силицен, а не графен. Силицен превосходит графен и по структурной гибкости.

Предложение 1. Заменить графен на силицен – аналогичный материал на основе кремния и разработку вести на его основе. Возможность получения материала аналогичного графену была показана в [9]. Силицен – кремниевый аналог графена. Еще возможные нано аналоги графена: фосфорен (фосфор), германий (германий), станен (олово) пока менее изучены, менее доступны и значительно более дорогие. Еще около 92 элементов рассматриваются как потенциальная замена графена.

Общей проблемой всех обсуждаемых материалов является их нестабильность в атмосфере. На воздухе они начинают активно окисляться и быстро разрушаются. Специальные уловки, которыми удалось стабилизировать силицен в 2012 году, все равно пока не позволяют использовать этот материал в реальных устройствах. Фосфорен должен быть более стабильным, чем его конкуренты, но его производство сложнее: для получения чёрной модификации фосфор высокой чистоты требуется помещать под огромные давления. Процесс формирования слоёв также пока не оптимизирован.

Что такое 3D принтеры: технологии трёхмерной печати

С начала нового тысячелетия понятие «3D» прочно вошло в повседневную жизнь. В 1984 году компания Charles Hull разработала технологию трёхмерной печати для воспроизведения объектов с использованием цифровых данных и создала первый промышленный 3D принтер. Впоследствии эстафету приняла компания 3D Systems, разработавшая в 1988 году модель принтера для 3D печати в домашних условиях SLA-250. В 1991 году компания Helisys разрабатывает и выпускает на рынок технологию для производства многослойных объектов. Многие сторонники трёхмерной печати задаются вопросом, как собрать 3D принтер своими руками? Если устройство может воспроизводить детали любых форм и размеров, почему бы не попробовать напечатать точно такой же принтер? Впервые о самовоспроизводящихся механизмах заговорили в 2004 году. Проект получил название 3D принтер REPRAP. Аппараты данного типа могут воспроизводить точные копии своих комплектующих. Итак, что же представляет из себя печать на 3D принтере? Сам процесс печати – это ряд повторяющихся циклов, связанных с созданием трёхмерных моделей, нанесением на рабочий стол (элеватор) принтера слоя расходных материалов. Циклы непрерывно следуют один за другим: на первый слой материала наносится следующий, элеватор опускается и так до тех пор, пока на рабочем столе не окажется готовое изделие. Трёхмерный, или 3D принтер, в отличие от обычного, даёт возможность создавать трёхмерные физические объекты. Существуют различные технологии трёхмерной печати. Разница между ними заключается в способе наложения слоёв изделия. Наиболее подходящей является технология FDM. 3D принтеры, действующие по технологии FDM, создают детали слой за слоем, разогревая материал до полужидкого состояния и выдавливая его в соответствии созданными на компьютере путями. Нити материалов подаются

из отсеков 3D принтера в печатающую головку, которая передвигается в зависимости от изменения координат X и Y, и наплавляет материал, создавая текущий слой, пока основание не переместится вниз и не начнется следующий слой.

Применение 3D печати в проекте космического лифта

Созданная на основе графена графеновая или силициновая пленка сворачивается в нанотрубку и представляет собой одну длинную молекулу в виде цилиндра. Прочность нити, которая изготовлена из такой молекулы, определяется уже не межмолекулярным, а куда более сильным, межатомным взаимодействием. Конфигурация трубки, как нами было показано на макромодели [3], существенно повышает прочность троса на их основе.

Расчеты показывают, что нитка миллиметрового диаметра, состоящая из нанотрубок графена, должна выдерживать груз в 60 тонн [1-2]. Трос в форме ленты толщиной, равной толщине листа бумаги для требуемой прочности даже в самом широком месте не будет превосходить нескольких десятков сантиметров. Поэтому именно из графеновых или силициновых нанотрубок будет сделан ленточный трос космического лифта. Использование технологии 3D печати в космосе для изготовления космического троса из пленки графена является самым рациональным. Так как модель троса – это структура толщиной в несколько атомов, то процесс его создания довольно кропотливый труд (учитывая длину троса в 100 тысяч километров). 3D принтеры похоже единственная реальная возможность выполнить эту задачу уже в современных условиях.

Предложение 2. Для создания графеновых или силициновых трубок, из которых будет создаваться космический трос, использовать появившуюся в последние годы технологию 3D печати [10-12], что позволяет эффективно решить проблему изготовления троса практически любой длины в космическом масштабе. Эта технология позволяет на поверхность нанотрубок дополнительно наносить нанопокрывать материала, защищающие основной материал троса от окисления. Следует отметить, что защитное покрытие понадобится только для той части троса, которая находится в атмосфере (до 100 км, около 0,1% всей длины троса). 3D принтер должен быть самовоспроизводящимся, для создания непрерывного процесса печати космического троса основного и для надежности системы запасных, дублирующих, при угрозе обрыва или повреждения космическим мусором основного троса.

Наше решение проблемы заключается в том, что трос должен изготавливаться в космосе на космической станции и постепенно вытягиваться в сторону Земли в непрерывном процессе вплоть до достижения поверхности Земли. Исчезает проблема соединения отдельных участков троса – он выполняется цельным полотном, без стыков и швов. На орбиту выводятся только материалы, из которых изготавливается графеновый или силициновый трос и сам 3D принтер для печати троса, который по мере изготовления протягивается от принтера к Земле. Оценим вес необходимых материалов. Вес 1 километра ленты толщиной в несколько атомов (10^{-9} метров) и шириной 10 сантиметров (этого достаточно для прочности троса) равен примерно 1 грамм. Следовательно, вес троса из графена в 100 тысяч километров будет порядка 100 килограмм. А значит и вес необходимого материала углерода ~ 100 кг, кремния ~ 250 кг не является проблемой для доставки на космический модуль, на котором будет «печататься» трос.

Расчет технических параметров троса

Космический лифт будет экономически оправдан, если можно будет производить в промышленных масштабах за разумную цену трос плотностью, сравнимой с плотностью графена, и прочностью около 65–120 гигапаскалей (ГПа) [1, 2, 8].

Для сравнения, прочность даже у прочнейших видов стали – не более 5 ГПа, причём сталь слишком тяжела для решения этой задачи. У гораздо более лёгкого известного в настоящее время материала – кевлара прочность в пределах 2,6–4,1 ГПа, а у кварцевого волокна – до 20 ГПа и выше. Теоретическая прочность алмазных волокон может быть немногим выше. Таким образом, доступные в настоящее время материалы не пригодны.

Проведем для сравнения расчет параметров троса из стали и троса из графена, применяя для последней технологию 3D печати и также их примерную стоимость для реализации модели космического лифта:

1) Для среднего значения диаметра троса из графена 5 см и длиной 10000 км, масса троса ~ 100 кг;

2) Для среднего значения диаметра троса из стали порядка 100 километров и длиной 100000 км, масса троса достигает порядка 3 Зкг (зеттакиллограмм – 10^{21} кг). Этот вес приближается к весу Земли (около $6 \cdot 10^{24}$ кг).

Стоимость материала (стали):

Цена = $38,5 \text{ руб./т} \cdot 10^{18} \text{ т} = 38,5 \cdot 10^{18} \text{ руб.} \sim 40$ тысяч триллионов рублей. Эта сумма только по стоимости материала недоступна на сегодняшний день для всех стран. Кроме того, недоступно также требуемое количество материала (в мире за год производится ~ 10^9 т железа).

Стоимость углерода (сырья графена):
Цена = $69 \text{ руб./кг} \cdot 100 \text{ кг} \sim 7000 \text{ руб.}$

Плюс стоимость печати на 3D принтере по известным нормам:

Цена = $20 \text{ руб./г} \cdot 100000 \sim 200000 \text{ руб.}$ Т.е. несопоставимо дешевле, чем затраты на металлический трос. Стоимость производства силицинового троса имеет тот же порядок.

Наконец время изготовления троса. При скорости производства троса 1 м/с понадобится время $100000000 \text{ м} : 1 \text{ м/с} = 10^8 \text{ с} \sim 1157 \text{ сут.} \sim 3 \text{ г} 2 \text{ мес.}$ При непрерывной скорости производства 3D принтером ленты троса до 10 м/с время изготовления и протяжки троса до поверхности Земли около 4 месяцев.

Основная стоимость затрат – это разработка технологии печати на принтере и изготовление специальных принтеров, печатающих наноленту. Стоимость уже обычных 3D принтеров в настоящее время составляет от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч рублей и становится доступной даже для домашнего использования 3D принтеров.

Таким образом, изготовление космического троса из графена или силицена стало доступно уже сейчас, и решение этой задачи зависит только от скорости разработки 3D принтеров, способных печатать наноленты длиной в сотни тысяч километров. Специалисты считают, что на разработку таких принтеров может понадобиться несколько лет.

Заключение

В результате проведенного в работе анализа показано:

– применение графена, силицена или их аналогов позволяет решить технические задачи, которые считались еще недавно нереальными. 3D принтеры позволяют создать недорогую технологию решения этих задач. Создание нового поколения тросов, в том числе космических, становится не фантастикой, а доступным проектом;

– массовое применение новые тросы получат в строительстве для подъема грузов, приведут к замене тяжелых и опасных подъемных механизмов в лифтах, особенно в высотных зданиях;

– время внедрения графеновых или силициновых тросов зависит только от скорости разработки технологии 3D печати нанотросов космической длины, разработки двигателей для перемещения лифта, создания систем энергоснабжения лифтов и космических модулей базовых станций.

Список литературы

1. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/182571>.
2. http://ru.science.wikia.com/wiki/Космический_лифт.
3. Глушенко А.А. Космический лифт: вместо железа – графен // Сборник тезисов работ участников XI всероссийского детского конкурса научно-исследовательских. – М.: НС «Интеграция», Государственная дума ФС РФ, Минобрнауки России, РОСКОСМОС, РАЕН, РАО, 2013. – С. 597–598.
4. Глушенко А.А., Глушенко В.А. Космический мусор // Сборник тезисов работ участников XIV всероссийского детского конкурса научно-исследовательских и творческих работ. – М.: НС «Интеграция», Государственная дума ФС РФ, Минобрнауки России, Минтранс России, Минсельхоз России, РОСКОСМОС, РАЕН, РИА, РАО, 2014. – С. 353–355.
5. Глушенко А.А. Космический мусор: что делать? // XI научно-практическая конференция учащихся «Первые шаги в науку»: Материалы конференции. – Самара, 2014. – С.9–10.
6. Глушенко А.А. Источники энергии для космического лифта // XII научно-практическая конференция учащихся «Первые шаги в науку». Материалы конференции. – Самара, 2015. – С.67–68.
7. Глушенко А.А. Источники энергии для космического лифта // Сборник тезисов работ участников XV всероссийского детского конкурса научно-исследовательских и творческих работ. – М.: НС «Интеграция», Государственная дума ФС РФ, Минобрнауки России, Минтранс России, Минсельхоз России, РОСКОСМОС, РАЕН, РИА, РАО, 2014. – С. 659–660.
8. Белецкий В., Левин Е. Тысяча и один вариант космического лифта // Техника молодежи. – 1990. – № 10. – С.2–6.
9. Пол Дэвис Чужие среди своих // В мире науки. – 2008. – №3. – <http://elementy.ru/lib/430578>.
10. www.modelin3d.ru.
11. 3D INDUSTRY. Все о 3D печати [Электронный ресурс]. – <http://www.3dindustry.ru/article/676/>.
12. Слюсар В.И. Фабрика в каждый дом // Вокруг света. – № 1. – 2008. – С. 96–102.

ЗЕРКАЛО С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ

Кириллова И.А.

Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, Самара,
e-mail: gag109646@yandex.ru

Зеркало с переменным фокусным расстоянием может быть использовано для фокусировки сложных

излучений и обеспечения высокого качества фокусировки. Сущность конструкции: в зеркале с переменным фокусным расстоянием отражающий элемент выполнен в виде металлизированной пластины монокристаллического кремния или сапфира с нежесткой заделкой по контуру.

Цель исследования – повышение качества фокусировки.

На чертеже представлено предлагаемое зеркало. Зеркало состоит из корпуса 1, в котором закреплен по периметру отражающий элемент 2. Крепление его осуществлено мягкой заделкой через прокладку 3.

Отражающий элемент 2 выполнен в виде металлизированной пластины из монокристаллического кремния или сапфира. Эксплуатационная стойкость зеркала достигается тем, что пластина имеет высший коэффициент отражения излучения, и возможно удаление пыли и копоти без нарушения геометрии поверхности (за счет высокой твердости).

В корпусе установлен сильфон 4, имеющий с ним общий объем, заполненный охлаждающей жидкостью 5 (любая жидкость с хорошей теплопроводностью, например глицерин), сильфон 4 нижним торцом прикреплен к выступу 6 внутри корпуса, а на его верхнем свободном торце укреплен пластина 7 из ферромагнитного материала с возможностью взаимодействия с электромагнитом 8, стержень 9 которого из ферромагнитного материала подпружинен пружиной 10. Управление зеркалом осуществляется программным устройством 11. Программное устройство 11 формирует напряжение, управляющее электромагнитом в соответствии с геометрией поверхности, и состоит из системы электронных преобразователей напряжения.

Зеркало работает следующим образом. В исходном состоянии отражающий элемент 2 не обладает кривизной поверхности и является плоским зеркалом. Когда программное устройство выдает напряжение на обмотку электромагнита 8, пластина 7 притягивается к нему и сильфон 4 расширяется, что приводит в конечном итоге к деформации отражающего элемента 2 и формированию отражающей поверхности заданной кривизны (а значит, и фокусного расстояния).

При изменении фокусного расстояния от 0,4–0,8 м прогиб в центре составит 1–0,5 мм, если радиус пластины ≈ 40 мм.

