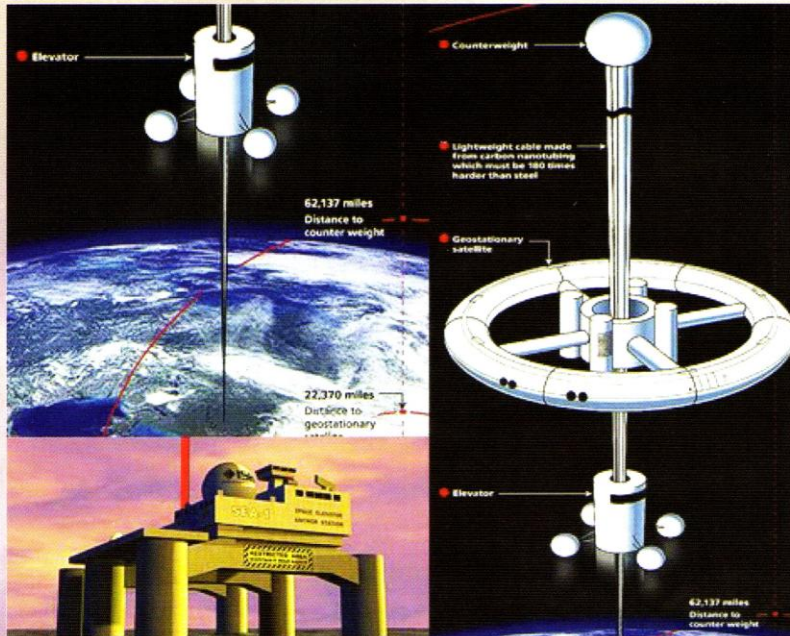




ЗАСТОСУВАННЯ НАНОТРУБОК ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОСМІЧНОГО ЛІФТА

БАШТА + ТРОС = КОСМІЧНИЙ ЛІФТ



Японська компанія *Obayashi Corporation* планує побудувати космічний ліфт з тросами з нанотрубок. Зображення з сайту <http://irsolo.ru/yaropscy-planiryuyut-postroit-kosmicheskij-lift/>

Ідея про космічний ліфт зародилася ще понад 100 років тому, але і до тепер залишається нереалізованою. Вперше її висунув видатний вчений Костянтин Едуардович Цюлковський. Задум полягав у створенні башти, що досягає космічних висот.

Проте така ідея ніколи не зможе бути реалізована навіть за наявності достатньо міцних матеріалів через нестійкість вертикальних конструкцій (навіть якщо мова йде про порівняно невеликі висоти!). В ті часи подібна теоретична розробка була більш фантастичною, ніж ідея про ракетний космічний транспорт. Саме тому впродовж багатьох років космічний ліфт був просто темою для фантастичних романів. В першу чергу це пояснювалося відсутністю технологій самого будівництва, матеріалів для тросу із необхідними характеристиками міцності, а також швидких підйомних засобів та багатьох інших необхідних речей.

Лише наприкінці 1990-х рр., у період розвитку кризи ракетних транспортних систем багаторазового використання, НАСА зацікавилось космічними ліфтами.

НАНОТЕХНОЛОГІЇ – ШЛЯХ ДО СТВОРЕННЯ ТРОСУ ДЛЯ ЛІФТУ

Внаслідок стрімкого зростає уваги до впровадження в повсякденне життя нанотехнологій. Так прийнято називати міждисциплінарну область фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів. До наноматеріалів відносять такі

НАШІ АВТОРИ



Золотих Євгеній
та його вчитель фізики
Буряк Юрій
Володимирович

Євгеній - учень Кіровоградського обласного загальноосвітнього навчально-виховного комплексу гуманітарно-естетичного профілю, в квітні 2012 році на III етапі конкурсу-захисту дослідницьких робіт Малої академії наук отримав диплом II ступеня в секції теоретичної фізики за роботу, яку ми наводимо в скороченому варіанті.

Захоплюється музикою, хореографією, живописом, художньою вишивкою, художнім випилюванням по дереву, і разом з цим поглиблено вивчає фізику, хімію, а також іноземні мови.



Ковальов
Юрій Григорович

Кандидат технічних наук, науковий керівник секції фізики в Кіровоградській Малій академії наук учнівської молоді, наставник Євгена, який допоміг йому підготувати роботу для участі в конкурсі-захисті Малої академії наук.



Вуглецеві нанотрубки під електронним мікроскопом

структури: ліпосоми, дендримери, фулерени, наностержні, нановолокна, нанополімери, біологічні наноматеріали, вуглецеві нанотрубки та деякі інші. До найбільш перспективних наноматеріалів відносяться вуглецеві нанотрубки – циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів, що складаються з однієї

або декількох згорнутих в трубку гексагональних графітових площин (графенів). Саме їх вчені у найближчому майбутньому планують впровадити практично у всі галузі промисловості. Такі плани світових масштабів зумовлені широким спектром унікальних властивостей цих речовин. В даному дослідженні ґрунтовно розглядається одне з наймасштабніших застосувань нанотрубок: створення на їх основі тросу для космічного ліфту, прогноз потенційно перспективної моделі застосування нанотрубок як матеріалу для функціональних вузлів космічного ліфту та її математичне обґрунтування.

Вперше ідея про таку тросову систему зародилася ще понад сто років тому, однак лише в останньому десятилітті ХХ ст. з'явилися реальні перспективи її реалізації. Адже саме у 1991 році японським професором Суміо Ідзімою було відкрито карбонові нанотрубки. За останні роки вони інтенсивно досліджуються вченими світу. Варто згадати, що лише у другій половині ХХ ст. було встановлено, що для вуглецю, крім відомих на той час трьох, характерна ще і четверта модифікація – фулерит. За експериментальне відкриття фулеренів та встановлення їх хімічної структури у 1985 році, через 11 років, у 1996 році англійському вченому – хіміку Гарольду Крото, а також американським вченим – хімікам Роберту Керлу і Ричарду Сморлі присуджено Нобелівські премії в області хімії. Щодо властивостей нанотрубок, то вони обумовлені, в першу чергу, високою міцністю вуглець-вуглецевих зв'язків, сітчастою гексагональною будовою і відсутністю дефектів, а також тим, що довжина нанотрубок в десятки разів перевищує діаметр.

Наприкінці 1990-х рр. у світі почала розвиватися криза ракетних транспортних систем багаторазового використання. Саме тоді НАСА стала однією з перших організацій, які зацікавились реальними перспективами створення космічного ліфту.

ГЕОСТАЦІОНАРНА ОРБИТА ТА ПРИНЦИПОВА КОНСТРУКЦІЯ ЛІФТУ

Космічний ліфт у сучасних проектах - це комплекс, що складається із супутника на геостационарній орбіті та тросу, що в основному повторює проєкт Ю.М. Арцутамова.

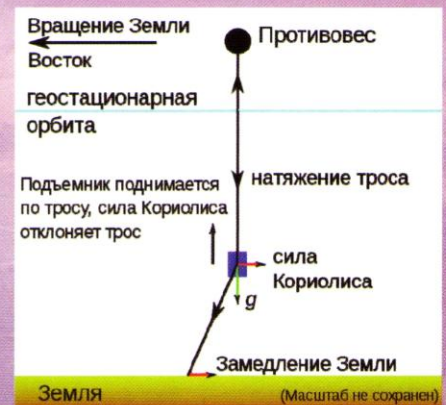
Отже, можна розмістити досить великий супутник на навколосемній геостационарній орбіті над екватором Землі так, що період обертання супутника на ній буде рівним періоду обертання нашої планети (тобто добі).

Застосування законів Ньютона дозволяє визначити формулу для радіусу геостационарної орбіти:

$$R_{geo} = R_z + H = \sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}}, \text{ де } \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ - кутова}$$

швидкість обертання Землі.

Звідси легко підрахувати, що геостационарна орбіта знаходиться на висоті $H = 35895$ км над поверхнею Землі. Отже, супутник весь час буде знаходитись над однією точкою над поверхнею Землі, і з нього теоретично можливо спустити трос на Землю (див. рис.). Такий трос, закріплений на супутникові, буде обертатися разом з нашою планетою з її кутовою швидкістю, а на відповідній висоті (трохи вище цієї орбіти) баланс-противага завдяки доцентровій силі, що більша сили тяжіння Землі, буде утримувати трос у вертикальному положенні. Якщо доставляти вантажі на супутник, використовуючи трос, то подальше



Принципова схема космічного ліфту
Рисунок з Вікіпедії
(<http://ru.wikipedia.org/wiki/>)

не буде спричиняти екологічної шкоди.



Очевидно, що створення такої колосальної споруди космічних масштабів пов'язано з багатьма складностями, які одночасно характеризуються як теоретичними аспектами, так і практичною реалізацією даного проекту. Основна із складностей щодо побудови космічного ліфта полягає в необхідності використання надзвичайно міцних матеріалів для створення тросу космічного ліфта. Трос необхідної довжини практично з будь-якого сучасного матеріалу просто не витримає власної ваги.

НАНОТРУБКИ ПРОКЛАДУТЬ МАРШРУТ НА ОРБИТУ

Порівняймо характеристики різних матеріалів, які можливо використовувати для створення тросу. Зазвичай використовуються такі величини:

- гранична питома міцність γ_p : $\gamma_p = \frac{\sigma_p}{\rho}$,

де ρ - густина матеріалу; σ_p - розривна міцність матеріалу (таблична величина);

- L_p - розривна довжини, тобто довжина нитки з даного матеріалу, яка розривається під дією власної ваги при вертикальному підвішуванні в однорідному полі тяжіння біля поверхні Землі, де прискорення земного тяжіння, як завжди дорівнює g ;

- гранична питома міцність γ_p може бути визначена також як $\gamma_p = gL_p$.

Нескладно дійти до висновку, що найдоцільнішою для троса змінного перерізу буде конструкція, що характеризуватиметься незмінністю механічної напруги троса (тобто величини сили натягу на одиницю площі) в будь-якому його перерізі. Це означає, що площа перерізу тросу повинна змінюватися по мірі віддалення від земної поверхні. Розрахунки показують, що максимальна площа перерізу тросу на певній висоті S_m пов'язана з площею тросу біля поверхні Землі S_0 співвідношенням

$$\frac{S_m}{S_0} = \exp \frac{4,940}{L_p}$$

Наведемо характеристики для різних матеріалів, які у різні роки були «кандидатами» для створення тросу космічного ліфта у вигляді таблиці.

Таблиця 1. Характеристики матеріалів для тросу

Матеріал	сталь	кевлар (синтез. волокно)	Spectra-2000 Zylon		нанотрубки		
			300	600	1000	3000	6000
L_p , км	40	200	300	600	1000	3000	6000
S_m/S_0	$4,32 \times 10^{53}$	$5,33 \times 10^{10}$	$1,42 \times 10^7$	3764	140	5,19	2,28

Оскільки механічну напругу в тросі можна розкласти на складові, пов'язані з вагою тросу та вагою оснащення, і в припущенні про однаковий розподіл



по висоті додаткової маси та маси тросу, а також враховуючи необхідність в запасі міцності, можна припустити що ефективна розривна довжина складе ≈ 1000 км.

За таблицею 1 відношення площі максимального перерізу троса до початкового становить ≈ 140 , що конструктивно можливе для реалізації. Теоретично можливо побудувати несучу конструкцію з нанотрубок у вигляді окремих циліндричних секцій, що дозволяє використання однакових порівняно коротких відрізків ниток (наприклад, довжиною 50 м - 500 м). Сила натягу (на поверхні Землі) повинна забезпечувати, щонайменше, підйом кабіни ліфта з масою ≈ 1 т. Оціночні розрахунки, з використанням даних таблиці 1, дають величину маси тросу, що не перевищує 15 тис. т (оцінка була взята по максимальному перерізу). Для балансу-противаги можна використати невеликий навколосемний астероїд необхідних розмірів для початкового спускання з нього нитки. Враховуючи, що розривна довжина досягає 6000 км, а теоретично вирахована розривна довжина волокон з вуглецевих нанотрубок може дорівнювати ≈ 10000 км (як можлива досяжна величина в найближчому майбутньому), то згідно табл. 1 нитка не розірветься при опусканні на поверхню Землі. При площі поперечного перерізу $S_0=1$ мм² загальна маса нитки, що доставлена на ГСО і спущена на поверхню Землі, становитиме ≈ 7900 кг.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТРУБОК

Для ефективного функціонування тросу на ньому має бути встановлено додаткове обладнання, зокрема інші елементи конструкції транспортної системи (підйомники з тросами, обслуговуюче обладнання, кабелі електричного живлення), обладнання енергетичної системи і т.п. Використання вуглецевих нанотрубок значною мірою може зменшити вимоги до конструкції.



Такі властивості нанотрубок, як **висока густина струму і низький електричний опір** дозволяють використовувати їх одночасно і як кабелі електроживлення.

Для інтелектуального **управління** тросом частину несучої конструкції тросу можна використовувати як **елементи мікропроцесорної техніки**, зважаючи на те, що досить успішно йде процес розвитку створення елементів мікроелектроніки на основі нанотрубок.

Для забезпечення **електричного живлення систем** тросу можна використати розробки створення сонячних батарей на основі нанотрубок. При цьому акумулювання енергії можливе за рахунок створених суперконденсаторів з даного матеріалу, щодо чого зараз проводяться інтенсивні розробки. Для отримання різноманітних керуючих сигналів із поверхні Землі можна використовувати **мініатюр-**

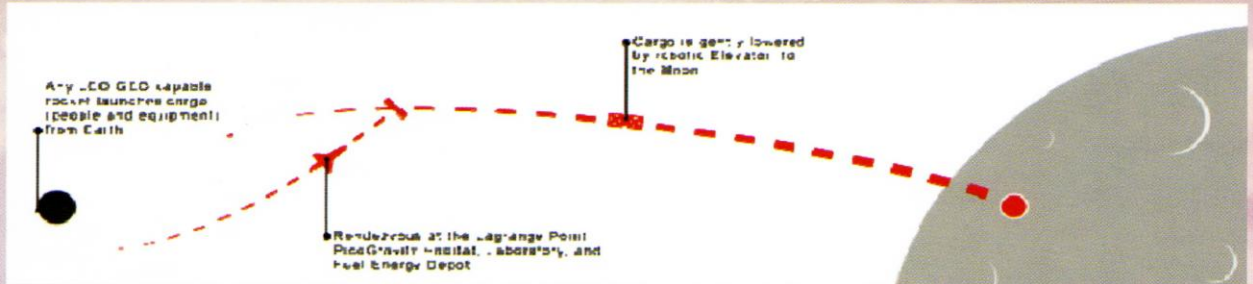


Схема створення космічного ліфту з базою на Місяці. Матеріал з сайту <http://habrahabr.ru/post/>

ні радіоприймачі, які також у перспективі можуть бути створені на основі нанотрубок.

Крім того, в нанотрубках спостерігається достатньо **сильний п'єзоефект**, що є перспективним для **генерування електричної енергії** за рахунок змін механічних напруг самого тросу. Все це дозволяє зменшити кількість кабелів електроживлення, що призведе до полегшення всієї конструкції.

Існують проекти, що дещо по-іншому пропонують будувати космічні ліфти.

Так, наприклад, у США пропонується зробити ліфт з базою не на Землі, а на Місяці, при чому роз-

почати будівництво ліфту з точки Лагранжа (точки, де напруженість гравітаційного поля між Землею та Місяцем дорівнює нулю). Для цього за допомогою спеціальних роботів планується на Місяць закинути якір. Компанія LiftPort оцінює вартість такого проекту до 1,5 млрд. доларів при розрахунковому навантаженні роботів 40-240 кг. Будівництво може тривати до 25 років.

Отже, шановні друзі, є сподівання, що ми скоро з вами зможемо замовити космічну мандрівку на ліфті!

**ПЕРЕДПЛАТА ЖУРНАЛУ «Школа юного вченого»:
ПОШТОВА – ЗА КАТАЛОГОМ ПЕРІОДИЧНИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ
ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС 49246**

**ЯКЩО ВИ НЕ ВСТИГЛИ ПЕРЕДПЛАТИТИ ЖУРНАЛ ВЧАСНО,
ПЕРЕДПЛАЧУЙТЕ ЙОГО З БУДЬ-ЯКОГО МІСЯЦЯ, А ЗА ПОПЕРЕДНІ
НОМЕРИ СПЛАЧУЙТЕ РЕДАКЦІЇ ЖУРНАЛУ
Вартість одного номеру журналу – 35 грн.**

