

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ПРОМИШЛЕНОСТ ИЗВЪН ЗЕМЯТА

Павел Синилков

Институт по роботика – Българска академия на науките
e-mail: sinilkov@mail.com

Ключови думи: космическа промишленост, астероиди, метали, полезни изкопаеми

Резюме: Създаването на промишленост в космическото пространство е една от големите цели за прогреса на човечеството. В доклада са разгледани някои основни въпроси, свързани с възможността за добива на полезни изкопаеми от космически обекти и конкретно на редки метали от астероиди. Особен интерес представляват полиметалните астероиди с размери до около 0,1 km, които е възможно да бъдат транспортирани до орбита около Земята (или Луната), след което да бъдат доставени на земната или лунната повърхност за добив на метали от тях. Тези астероиди имат аналогично съдържание на материя, каквото е съдържанието на ядрото на нашата планета. Така вместо да сондираме на големи дълбочини за добив на руда с ниско съдържание на ценни метали от земните недра, то може тези метали да извлечем от руда от астероиди, в които концентрацията е значително по висока.

Условията на микрогравитация и физико-химичните процеси във вакумната среда на космоса, също позволяват да се произвеждат материали с уникални физико-механични характеристики, различни от тези, получени в земни условия.

OPPORTUNITIES FOR CREATING INDUSTRY OUTSIDE EARTH

Pavel Sinilkov

Institute of Robotics – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: sinilkov@mail.com

Keywords: space industry, asteroids, metals, minerals

Abstract: The creation of industry in outer space is one of the great goals for the progress of mankind. The paper examines some basic issues related to the possibility of extracting minerals from space objects, and specifically rare metals from asteroids. Of particular interest are polymetallic asteroids with sizes up to about 0.1 km, that can be transported to orbit around the Earth (or the Moon), and then delivered to the Earth or Moon surface for the extraction of metals from them. These asteroids have a similar content of matter to the content of the core of our planet. So instead of drilling at great depths to extract ore with a low content of valuable metals from the Earth's interior, we can extract these metals from asteroid ore, in which the concentration is significantly higher.

The conditions of microgravity and physico-chemical processes in the vacuum environment of space also allow producing materials with unique physico-mechanical characteristics different from those obtained in terrestrial conditions.

Въведение

Овлаждането на космическото пространство не е самоцел за човечеството. Космическото пространство предлага несметни богатства. Думата „богатство“ е земното отношение на хората към определени предмети и вещества. В космическото пространство, това биха били материали, с уникални характеристики, които са създадени благодарение на специфичните космически условия и които не е възможно да бъдат синтезирани в земни условия. Същото „богатство“ се отнася и за добива на редки за Земята метали, като злато, кобалт, никел и тези от платиновата група, например, добивът им от астероиди [1], а също добивът на гориво за космическите кораби и на енергия в космически условия.

Досега са осъществени само три мисии за вземане на проби от астероиди и връщането на пробите на Земята. Данните, оповестени за тези мисии в различните източници силно се различават, както за количеството проби, върнато на Земята, така и за стойностите на самите мисии. Това са мисиите:

- Hayabusa – около 100 mg астероиден прах е доставен на Земята (в някои източници се говори за 1500 пращинки с диаметър 10–100 μm , от които само 26 броя са предадени за изследване) [2];

- Hayabusa 2 – доставена проба от 5 g астероиден прах (5 g фрагменти от астероида Рюгу) [3];

- OSIRIS-REx – доставена проба от 121,6 g астероиден прах (проба от астероид Бену) [4].

Съществуващата понастоящем технология за пътуване в космическото пространство е основния фактор, който оскъпява мисиите. Икономически погледнато, от една страна стоят похарчените пари за тези мисии (\$200 милиона за Hayabusa [5], \$800 милиона за Hayabusa 2 и \$1,16 милиарда за OSIRIS-REx, стойността е приблизителна, защото мажоритарно е финансирана от фирмата Локхийд Мартин), а от друга страна резултата е само общо около 127g астероиден материал, т.е. изключително скъпо и неоправдаващо похарчените средства начинание. Тези три мисии показват, че съществуващите технологии за транспорт в космоса не могат да се използват за промишлен добив на полезни изкопаеми от Космоса, поради нерентабилност.

В космическото пространство съществуват три вида астероиди, в зависимост от материята, от която са образувани:

- астероиди с преобладаващо въглеродно съдържание. Те са най-голямата група и съставляват около 75-80% от всички астероиди в Слънчевата ни система;

- астероиди с преобладаващо силикатно съдържание. Те се срещат значително по-рядко от въглеродосъдържащите астероиди;

- третата и най-малка група астероиди са полиметалните. Те са около 7,5–8% от всички срещани астероиди. Те предизвикват най-голям интерес сред хората, тъй като тяхното съдържание е най-ценно за нас.

Срещат се астероиди и с друго съдържание на материята, като пример може да бъдат посочени астероиди със съдържание на вода (лед), астероиди със смесено съдържание (вода и силикати), и други. Към настоящия момент интересът на човечеството е насочен изцяло към полиметалните астероиди и тяхната преработка в космически условия.

В последно време астероидът Психея стана изключително интересен от гледна точка на добива на ценни метали от небесни тела, намиращи се край Слънцето, което е от решаващо значение за бъдещето на нашата цивилизация. Този астероид е един от най-големите и богати на метал в Слънчевата система. [6]



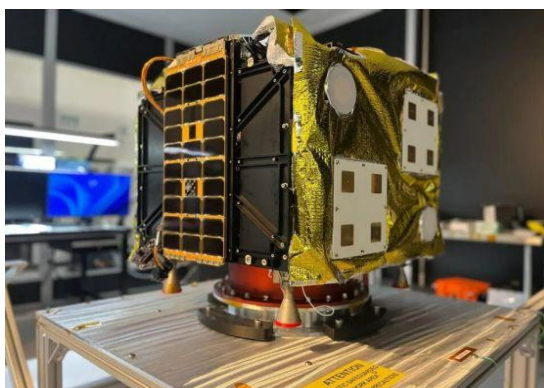
Фиг. 1. Астероидът Психея

Астероидът Психея се намира в основния пояс на астероидите, разположен между Марс и Юпитер с орбита 2,5–3,3 астрономични единици (АЕ) от Слънцето. Интересът към този астероид се подхранва от факта, че той е полиметален, като е богат на злато, платина, никел, желязо и др. Стойността на златото на астероида е оценено на повече от 4 квадрилона долара ($\$4.10^{15}$), а на желязото – над 100 квадрилона долара ($\$100.10^{15}$) [7].

Досега космически апарати не са били изпращани към астероида Психея. Мисията се подготвя от 2014 г. и NASA има договор със SpaceX за изстрелване с Falcon Heavy, космическият апарат “Психея” трябва да навлезе в орбитата около астероида през януари 2026 г., като по време на полета ще се използва и гравитацията на Марс. Предвижда се апаратурата, монтирана

на борда на космическия кораб, да изучава характеристиките на астероида най-малко 21 месеца. Корабът ще се доближи най-близо до 85 km от повърхността на астероида, с цел да съберат данни за магнитното поле, да направят снимки на повърхността и да измерят гама-лъчението и потока неутрони.

След изследването на астероида Психея, отново се заговори за възможността за добив на полезни изкопаеми от космическите тела, намиращи се в слънчевата система [8]. Калифорнийската стартъп компания AstroForge ще даде своя принос за комерсиализиране на минното дело в космоса с първата частна мисия Odin за кацане на друго тяло извън системата Земя-Луна. Тя има предишни мисии, като първата демонстрационна мисия на компанията през април 2023 г., Brokkr-1, мисия на стойност 10 милиона долара, която тества технологията за извличане и рафиниране на платина от астероид с помощта на слънчева енергия [9].



Фиг. 2 Космическият кораб Odin на AstroForge

AstroForge се стреми да стане първата фирма, която ще добие метали от астероид. Компанията обяви две мисии, свързани с добив на метали от небесно тяло, които са планирани да стартират в рамките на една календарна година. Компанията си партнира с други фирми, включително OrbAstro, Dawn Aerospace и Intuitive Machines.

В космоса има милиони или милиарди подобни метеорити с различен размер и различен състав на метално съдържание. Както беше отбелязано вече, достигането до космическото пространство, само по себе си е скъп процес. Все още извеждането на космически кораб в околоземна орбита е сложен и скъп процес. Известните досега технологии не са в състояние да осигурят ефективен транспорт при евентуално начинание за създаване на промишленост за добив на метали и други полезни изкопаеми от астероиди и други небесни тела. През последните години обаче все повече се публикуват изследванията, свързани с предлагането на ракетни двигатели, работещи на нови физически принципи, на усъвършенствани методи на филтриране на метали в условията на космоса, на нови методи за скачване с астероиди и т.н.

Транспортна дейност между Земята, Луната и космически обекти

Когато става въпрос за транспортна дейност, която да обслужва космическа промишленост на извънземни обекти, преимуществено астероиди, то трябва да се има предвид, че това не са екстремни машини по смисъла на [10]. Тук става въпрос за космически кораби, които да се използват многократно, като стартират от Земята или Луната и имат възможност да излитат и кацат от и на различни космически обекти, които да могат да преодоляват огромни разстояния и да са енергийно ефективни. Транспортната дейност не трябва да изисква използването на огромни и скъпо струващи космодруми, обслужвани от голям персонал и скъпа обслужваща техника.

Космическите кораби, когато кацат на космическо тяло където няма създадена база, независимо дали е изследователска или промишлена, е необходимо да имат битово-команден модул с неголяма размери, подходящ за ограничена по време работа на космонавтите, които ще извършват подготвителна дейност за добив на метали и други полезни изкопаеми, след което тази работа се поема от роботи. При решаването на тази задача се изхожда от нужното пространство с което трябва да се увеличи обема на космическия летателен апарат, кацайки върху грунда на космическото тяло и начина на увеличение. При необходимост за по-продължително пребиваване на космонавтите, то е необходимо да бъде създадена постоянно обитаема база на космическия обект.

Промишлена дейност на космическия обект

Промишлената дейност се осъществява на съответното космическо тяло (астероид, луна на планета и др.) на определен участък. Когато се говори за промишлена дейност, то се има предвид преди всичко за промишленост без участието на космонавти, т.е. цялата дейност да се извършва автоматично, с използването на роботи. Присъствие на космонавти се предполага да има само на първоначалните етапи по подготовката на самото производство (добив на полезни изкопаеми), а също в пилотираните космическите кораби, които осъществяват доставката на добитите материалите до Земята.

Гравитационните сили, както и атмосферното налягане, играят ключово значение при добива на метали и други полезни изкопаеми, особено на транспортната дейност върху космическия обект. В условията на астероид с незначителна гравитация, където силата на тежестта е незначителна, не биха могли да се използват транспортни средства от втори клас на контакт с грунда [11], тоест колесно или верижно движение. Трябва да се има предвид, че най-големият наблюдаван досега астероид Психея, има гравитация от $0,06 \text{ m/s}^2$, т.е. 6 хиляди пъти по-малка от тази на Земята. Незначителна гравитация изключва възможността за стабилна нормална реакция, а от там и така нужните сили на триене. Тази разлика в силите на триене е само един от аспектите, с които условията на астероид се различават от тези при земните условия.

В Роботиката се застъпва идеята, че роботите са транспортни средства. Тяхната основна задача е да манипулират материали в пространството. Разбира се съществуват промишлени роботи, които изпълняват и технологични задачи, но такива, че тези технологични задачи пак са пречупени през призмата на манипулацията. В космическата промишлена дейност манипулацията на материали е широко застъпена. Като се започне от захващането на малки космически обекти, премине се през позициониране на технологична техника и подготовка и складиране на готовата продукция за транспорт, и се стигне до проучвателни действия на нови терени.

По-конкретно, при задълбочен конструктивен анализ се забелязва, че крачното мобилно движение е универсално движение за реализиране на локомоция на различни космически тела за места без пътища [12]. Съществува и още едно предимство на крачното мобилно движение – устройствата, с които се осъществява, така наречените манипулатори (крака), могат да осъществяват и други функции [13]. Това са:

- някои обслужващи функции на корпуса на транспортното средство;
- стабилно и надеждно закрепване към грунда;
- подбор на точка за контакт с грунда;
- омекотяващ контакт и т.н.

Развитието на роботиката в последните години [14] изведе този отрасъл на много високо ниво. Въведоха се много нови материали, технологии и методи на управление. Докато преди около тридесет години един промишлен робот се управляваше от електроника поместена в табла с огромни размери, то днес управляващата електроника се помещава обикновено в някое от механичните звена на самия робот. Математическото управление се свежда до промяна на стойностите на Трансформационни матрици, което занижава значително изискванията към хардуера и дава възможност за пресмятане в реално време. С помощта на роботиката могат да се решават редица задачи в космонавтиката и конкретно в промишлената дейност на космически обекти.

Друга възможност е производството на материали с уникални качества в космически условия, които е невъзможно да бъдат синтезирани в земни условия. Това е възможно поради специфичните условия в Космоса - микрогравитация и отсъствието на атмосферно налягане.

На „лов“ за астероиди

Астероидите са сравнително малките космически тела с размери до 1 000 km. Интерес представляват тези, с размери до около 0.1 km, които е възможно да бъдат транспортирани до орбита около Земята (или Луната), след което да бъдат доставени на земната или лунната повърхност за добив на полезни изкопаеми от тях.

Както бе отбелязано по-горе, особен интерес представляват полиметалните астероиди. Предполага се, че този тип астероиди са късове материя, обособили се в космическото пространство след сблъсък или поредица от сблъсъци на големи космически обекти. По този начин много от астероидите имат аналогично съдържание на материята, каквото е съдържанието на ядрото на нашата планета. Така вместо да сондираме на големи дълбочини за добив на руда с ниско съдържание на ценни метали от земните недра, то може тези метали да бъдат извлечени от руда от астероиди, в които концентрацията е значително по-висока.

Космическата промишленост на първо място се нуждае от база. Това е място, където да се осъществява самата дейност. Мястото се подбира в зависимост от редица критерии и обикновено то не съвпада с местонахождението на източника на материала (астероида). Всичко това показва, че за да съществува космическа промишленост е необходимо да съществува надеждна логистична система, надеждно технологично оборудване и надежден енергиен източник.

В космическото пространство съществуват огромен брой и различни по размери астероиди. Много от тях са с малки размери и могат да бъдат захванати и складирани в товарния отсек на космическия кораб, след което тези астероиди могат да бъдат транспортирани до:

- Земята, за извличане на полезните вещества от тях;
- околоземна орбита, като вид складово стопанство, в контейнери, преди да бъдат спуснати на Земята за обработка;
- Луната, където да бъдат обработени и само полезните елементи да бъдат доставени на Земята, а отпадъците да останат на повърхността на Луната;
- хелиоцентрична орбита, където да има изградена орбитална преработвателна промишленост, използвайки безграничната енергия на Слънцето за рафиниране на полиметалното съдържание.

Заклучение

Към момента изключителен интерес представлява добивът на метали от астероиди, като злато, кобалт, никел, както и метали от платиновата група. Както вече бе споменато, логистиката играе важна роля в реализирането на тази дейност. Връзката на космонавтиката с роботиката, двигателостроенето, ядрената физика и други науки, ще даде нов облик на конструкциите на космическите кораби, които ще бъдат използвани за космическо производство на метали и на други материали. Ще се промени напълно начина им на излитане и кацане при значително съкращение на разходите. Космодрумите ще се променят инфраструктурно и функционално. Бъдещите космически технологии ще позволят да бъдат снижени значително разходите за пътуване в космическото пространство. Това ще позволи да бъдат добивани ценни редки метали и други суровини, които са необходими на дейността на човека.

Започналата дейност по създаване на компактни рафинерии за метали в космическото пространство, води началото към една нова индустрия. Това е индустрия за създаване на технологично оборудване за условията на Вселената. По-точно за конкретните условия на избраното място за създаване на космическа промишленост.

Освен добива на метали от астероиди, нужно е и производството на горива и енергия за добива, логистиката и за промишлената преработка на полезните изкопаеми от астероидите. Тук слънчевата енергия е на първо място, като източник на енергия, а също и водата на космически обекти, която да се използва за добива на кислород и водород. Тези нови разработки ще допринесат за заместване на земните източници на енергия с космически такива. Така логистиката в космическото пространство няма да се налага да се реализира с заредени горивни резервоари от началната точка на старта и да приключи с връщане обратно без презареждане.

Литература:

1. Mining asteroids: A new method to extract metals from asteroids https://phys.org/news/2023-10-asteroids-method-metals.html#google_vignette
2. Surfaces of Small Particles Preserved over the Four-billion-year History of Asteroid Itokawa, <https://www.isas.jaxa.jp/en/topics/000546.html>
3. Проби от астероида Рюгу хвърлят нова светлина върху историята на Слънчевата система, <https://nauka.offnews.bg/kosmos/probi-ot-asteroidea-riugu-hvarliat-nova-svetlina-varhu-istoriata-na-sla-193518.html>
4. Surprising Phosphate Finding in NASA's OSIRIS-REx Asteroid Sample <https://www.nasa.gov/missions/osiris-rex/surprising-phosphate-finding-in-nasas-osiris-rex-asteroid-sample/>
5. Hayabusa asteroid-sample capsule recovered in Outback, <https://www.bbc.co.uk/news/10307048>
6. Asteroid Psyche. A Unique, Metal Rich World <https://science.nasa.gov/solar-system/asteroids/16-psyche/>
7. Залог за квадриллиони долари: Компанията, която иска да извлича метали от астероиди, <https://www.economic.bg/bg/a/view/zalog-za-kvadrilioni-dolari-kompanijata-kojata-iska-da-izvlicha-metali-ot-asteroidi-> (достъп на 20.10.2024 г.);
8. Наблизо има астероид на стойност 100 000 квадрилона долара. Защо не го експлоатираме, <https://hicomm.bg/news/nablizo-ima-asteroid-na-stoinost-100-000-kvadriliona-dolara-zashcho-ne-go-eksplotirame.html>
9. Първата частна мисия до астероид ще бъде на стартъп за добив на ценни метали <https://nauka.offnews.bg/kosmos/parvata-chastna-misia-do-asteroid-shte-bade-na-startap-za-dobiv-na-tce-200701.html>

10. Синилков, П., Екстремните машини като част от роботиката, Международна научна конференция "Роботика и Мехатроника 2024", София, 2024 г.
11. Синилков П., Някои възможности на транспортните средства при добива на полезни изкопаеми от космически тела, 66-та Международна конференция на МГУ, София, 2023.
12. Синилков, П., Необходимостта от връзка на космонавтиката и роботиката при добива на полезни изкопаеми от космически тела, Международна научна конференция "Роботика и Мехатроника 2024", София, 29–30 Октомври 2024.
13. Синилков, П., Аналитичен синтез на механизми за крайници на крачещи мобилни роботи, Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене, XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника, 2011, ISSN 1310–3946, гр.Варна 19–21 Септември, 2011.
14. Синилков, П., Аналитичен синтез на механизми за крайници на крачещи мобилни роботи, Научни известия на научно-техническия съвет по машиностроене XXI Международна Конференция Роботика и Мехатроника, 2011, ISSN 1310–3946, гр.Варна 19–21 Септември, 2011.