



## კესლერის სინდრომის თავიდან აცილების მეთოდი

კოტიშაძე მ., ფხაკაძე ნ., გოდოლაძე ლ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
 სპს ლევან შავლაყაძე ხონის ტექნიკური შემოქმედების გიმნაზია  
 სსიპ ქ. ქუთაისის მე-12 საჯარო სკოლა

**ანოტაცია:** სტატიაში განხილულია თანამედროვე კოსმოსური ეკოლოგიის უმწვავესი პრობლემა კოსმოსური ნაგავი და მისი განადგურება. აღნიშნულია, რომ კოსმოსური ნაგავის ყველაზე მრავალრიცხოვანი 1 - 100 მმ ფრაქციის გაკონტროლება ძალიან ძნელია. ამჟამად მსოფლიოში არც ერთ კოსმოსურ სააგენტოს არ გააჩნია ეფექტური მეთოდები მათ გასანადგურებლად. ავტორების მიერ შემოთავაზებულია ეფექტური ხერხი კოსმოსური ნაგავის მცირე და საშუალო ფრაქციის გასანადგურებლად. მეთოდი გამყარებულია შესაბამისი გამოთვლებით. აღნიშნულია, რომ შემოთავაზებულ მეთოდს ანალოგები არ გააჩნია.

**საკვანძო სიტყვები:** კოსმოსური ეკოლოგია, კესლერის სინდრომი

### შესავალი

უახლოეს მომავალში გლობალური ეკოლოგიის ერთ-ერთ უდიდესი პრობლემა იქნება კოსმოსური ნაგავი, რომელიც წარმოადგენს დედამიწის ახლო ორბიტაზე მოძრავ ხელოვნურ ობიექტებს ან მათ ფრაგმენტებს და რომლებიც არ გამოიყენებიან სასარგებლო მიზნების შესასრულებლად.

ევროპული კოსმოსური სააგენტოს მონაცემებით დედამიწის ირგვლივ ბრუნავს (ნახ.1):

- 10 სმ-ზე მეტი ზომის დაახლოებით 29000 ნამსხვრევი
- 1 სმ-დან 10 სმ-მდე დაახლოებით 670000 ნამსხვრევი
- 1 მმ-დან 1 სმ-მდე დაახლოებით 170 მილიონი ნამსხვრევი

ნამსხვრევების საერთო მასა 6300 ტონამდეა, ხოლო სიჩქარემ შეიძლება მიაღწიოს 14 კმ/წმ - ს.

ნებისმიერი ზომის ნამსხვრევის შეჯახება კოსმოსურ აპარატთან, ან ადამიანთან, შეიძლება საბედისწერო აღმოჩნდეს (1 მმ სიდიდის ნამსხვრევმა შეიძლება წყობიდან გამოიყვანოს თანამგზავრი. მაგ. 0,7 მმ სიდიდის საღებავის ანაფტყვენმა შეჯახებისას საკმაოდ დიდი ზომის ჩაღრმავება გააჩინა და კინაღამ ჩამსხვრია შატლის ილუმინატორის მინა).

კოსმოსური ნაგავი ყოველწლიურად მნიშვნელოვნად იზრდება და მომავალში, კოსმოსში ადამიანის აქტივობის ზრდის შესაბამისად, მისი მკვეთრი ზრდაა მოსალოდნელი. იმდენად მკვეთრი, რომ შესაძლებელია წარმოიშვას ე.წ. **კესლერის სინდრომი** (დედამიწის ახლო ორბიტების გამოყენება შეუძლებელი იქნება მისი ნაგავით დაბინძურების გამო).

კოსმოსური სააგენტოები (ნასა, ევროპული კოსმოსური სააგენტოს და სხვა) თვალ-

ყურს ადევნებენ და განსაზღვრავენ 10 სმ-ზე მეტი ზომის თითოეული ნამსხვრევების ტრაექტორიას და სიჩქარეს. მაგრამ უფრო მცირე ობიექტების ტრაექტორიაზე თვალყურის დევნება პრაქტიკულად შეუძლებელია. თუმცა, როგორც აღვნიშნეთ, ისინი არანაკლებ საშიში არიან.

დღეისათვის არსებობს დიდი ზომის ნამსხვრევებთან ბრძოლის რამოდენიმე მეთოდი (ლაზერი კოსმოსიდან და დედამიწიდან. შეგროვება კოსმოსური აპარატის მეშვეობით, მეგნიტური ლასო და სხვა), მაგრამ, ჩვენს მიერ ჩატარებული ინტერნეტძიების მიხედვით, მცირე ზომის ობიექტების გასანადგურებლად არ არსებობს არცერთი ეფექტური იდეა თუ არ ჩავთვლით ნასას იდეით ვოლფრამის დაქუცმაცებული ნაწილაკების გაშვებას ორბიტაზე [[https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_debris](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris)], რომლებთანაც შეჯახების შედეგად ნამსხვრევები შეიცვლიან ორბიტას და შევლენ ატმოსფეროში, სადაც მოხდება მათი დაწვა. მაგრამ შემდგომში ვოლფრამის ნამსხვრევები თავად იქცევიან ნაგვად ორბიტაზე.



ნახ. 1.

შესაბამისად, კოსმოსური ნაგავის, განსაკუთრებით კი მისი 1მმ-დან 10 სმ-დე ფრაქციის, განადგურება უაღრესად აქტუალური ამოცანაა და მოითხოვს დაუყოვნებლივ გადაჭრას.

აქედან გამომდინარე კვლევის მიზანია შეიქმნას კესლერის სინდრომის თავიდან აცილების ეფექტური მეთოდი, რომელიც გამოყენების შემდეგ თავად არ დატოვებს კოსმოსურ ნაგავს.

#### **ამოცანის ანალიზი და მეთოდი**

განვიხილოთ იმ სივრცის ბუნებრივი პირობები, სადაც თავმოყრილია ნაგავის დიდი წილი.

ძირითადი კოსმოსური ნაგავი თავმოყრილია 2000 კმ-ზე ნაკლები რადიუსის მქონე ორბიტებზე. მათგან ყველაზე დაბალი სტაციონარული (რამდენიმე წელი) ორბიტა მდებარეობს 350 კმ-ზე [4]. ტემპერატურა დაბალ ორბიტებზე (200 – 500 კმ), სადაც კოსმოსური ნაგავის დიდი წილია თავმოყრილი, იცვლება  $+4^{\circ}\text{C}$  - დან (მზის მხარე)  $-160^{\circ}\text{C}$  - მდე (დედამიწის ჩრდილი), ხოლო ატმოსფეროს სიმკვრივე ძალიან დაბალია, მიახლოებით  $10^{-3} - 10^{-10}$  გ/ლ [<https://ru.wikipedia.org/wiki/>].

კოსმოსური ნაგავის მცირე და საშუალო ფრაქციის (1 მმ - 100 მმ) გასანადგურებლად არსებობს სამი რეალური გზა:

1. შემცირდეს ნაგავის სიჩქარე ორბიტაზე, რაც ხელს შეუწყობს მის შემოსვლას ატმოსფეროში და იქ დაწვას.
2. განადგურდეს ნაგავი ორბიტაზევე (იქცეს აირად ან დაიშალოს მიკრო ნაწილაკებად, რომლებიც არ წარმოადგენენ საფრთხეს) .
3. გაიზარდოს ნაგავის სიჩქარე და გადავიდეს დაშორებულ ორბიტებზე, სადაც ის ნაკლებ საფრთხეს წარმოადგენს კოსმოსური აპარატებისთვის.

ჯერჯერობით, თანამედროვე ტექნოლოგიების შესაძლებლობის გათვალისწინებით, იდეალური იქნებოდა პირველი ორი გზის რეალიზაცია, რადგანაც მესამე გზის განხორციელებას დასჭირდება დიდი რაოდენობის ენერჯია.

ნაგავის სიჩქარის შესამცირებლად ერთ-ერთი გზაა ნაგავის შეჯახება ნივთიერებასთან, რის შედეგადაც შემცირდება მისი სიჩქარე და იგი შემოვა დედამიწის ატმოსფეროში, სადაც დაიწვება ეკოლოგიისთვის შესამჩნევი ზიანის გარეშე. მაშასადამე საჭიროა გარკვეული ნივთიერების გატანა ორბიტაზე ნაგავის მოძრაობის საწინააღმდეგო გზით. რა თქმა უნდა არ გამოდგება ჩვეულებრივი მყარი ნივთიერები (მაგ. NASA-ს მიერ შემოთავაზებული ვოლფრამის მცირე ნაწილაკების მასა [[https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_debris](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_debris)]), რადგანაც შეჯახების შემდეგ ისინი თავად იქცევიან ნაგავად. საჭიროა ორბიტაზე გატანილი იქნეს ნივთიერება აირადი სახით ან მყარი სახით შემდგომში აირად სწრაფად ქცევის თვისებით. ამიტომ ჩვენი არჩევანი შეჩერდა აირზე, რომელიც უნდა გავიტანოთ ორბიტაზე და განვალაგოთ ნაგავის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით შესაბამისი სიჩქარით ( $V > 7$  კმ/წმ). თავად ნამსხვრევების სიჩქარე ასევე მეტია 7 კმ/წმ - ზე. შესაბამისად მოხდება ნამსხვრევების გავლა აირში 14 კმ/წმ - ზე მეტი ფარდობითი სიჩქარით, რაც დიდი ალბათობით უზრუნველყოფს მცირე ზომის ნამსხვრევების განადგურებას და დიდი ზომის ნამსხვრევების, როგორც მინიმუმ, სიჩქარის შემცირებას, რაც გამოიწვევს მათ შემოსვლას ატმოსფეროში და იქ დაწვას.

მაქსიმალური ეფექტის მისაღებად აირს უნდა ჰქონდეს დიდი სიმკვრივე. ასეთი აირები გვხვდება ფტორიდების რიგიდან. მაგალითად:

1. **გოგირდის ჰექსაფტორიდი  $SF_6$**  (ელეგაზი) - სიმკვრივე = 6,164 გ/ლ; მოლური მასა = 146 გ/მოლ; სუბლიმაციის (ნივთიერების გადასვლა მყარი მდგომარეობიდან პირდაპირ აირადში) ტემპერატურა =  $-63,9$  °C [[https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur\\_hexafluoride](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride)].
2. **სელენის ჰექსაფტორიდი  $SeF_6$**  - სიმკვრივე = 7,887 გ/ლ; მოლური მასა = 192,9 გ/მოლ; სუბლიმაციის ტემპერატურა =  $-46,6$  °C. შედარებისთვის ჰაერის სიმკვრივე 20 °C - ზე = 1,2 გ/ლ [[https://en.wikipedia.org/wiki/Selenium\\_hexafluoride](https://en.wikipedia.org/wiki/Selenium_hexafluoride)].

ჩვენს მიერ შერჩეული ნივთიერებების კოსმოსში გატანა და ორბიტაზე განლაგება შესაძლებელია კოსმოსური აპარატების საშუალებით სამი ხერხით:

1. **შეკუმშული აირი გაგვაქვს ორბიტაზე და თანამგზავრიდან ვუშვებთ ნაგავის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.**

**საფრთხეები:** აირი გაიფანტება ძალიან სწრაფად და ვერ მოასწრებს ნაგავთან შეჯახებას. აირი ორბიტაზე უნდა იყოს მინიმუმ ნახევარი საათი მაინც (350 კმ-ანი ორბიტის სიგრძე 42000კმ-ა), რომ დიდი ალბათობით მოასწროს ნაგავთან შეჯახება.

აირის გაფანტვას ხელს შეუშლის მისი გაცივება (დაახლოებით  $-160$  °C - მდე) და დედამიწის ჩრდილში გაშვება. ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოთვლების შედეგად მივიღეთ, რომ  $+20$  °C-ზე ასეთი აირების მოლეკულათა საშუალო სიჩქარე 222,5 მ/წმ-ა, ხოლო  $-160$  °C - ზე კი 138 მ/წმ.

აირის გაფანტვის მეორე ხელისშემშლელი ფაქტორია მისი კინეტიკური ენერგია (სიჩქარე ტოლია 7000 მ/წმ), რომელიც გაცილებით მეტია (თითქმის 1000 - ჯერ), ვიდრე მოლეკულების კინეტიკური ენერგია ქაოტური მოძრაობისას. გარდა ამისა ვიანგარიშით ასეთი სიმკვრივის აირის დიფუზიის სიჩქარე ორბიტის პირობებისთვის და მეტი დამაჯერებლობისთვის სიმკვრივე ორბიტაზე 0-ს ტოლი ავიღეთ. შედეგად მივიღეთ, რომ აირის ღრუბელი 2 კმ-დე გაფართოვდებოდა 16 წუთის განმავლობაში. აქ გათვალისწინებული არ ყოფილა აირის ღრუბელზე მინიჭებული სიჩქარე, ანუ კინეტიკური ენერგია. შესაბამისად ასეთი აირის ორბიტაზე მეტნაკლები კონცენტრაციის ღრუბლის შენარჩუნება დაახლოებით 30 წთ მაინცაა შესაძლებელი, რაც სავსებით საკმარისია იმისთვის, რომ კოსმოსური ნაგავი დიდი ალბათობით შეეჯახოს ამ ღრუბელს, შემცირდეს მისი სიჩქარე და შევიდეს ატმოსფეროში, სადაც იგი დაიწვება.

**2. ფტორიდები ორბიტაზე გაგვაქვს მყარი სახით, მცირე დიამეტრის (0,003 მ-დე) ბურთულების ფორმით.**

ასეთი ბურთულების დიდი რაოდენობით გაშვება თანამგზავრიდან ერთდროულად ხდება დედამიწის ჩრდილში (-160 °C) და ისინი მოძრაობენ ორბიტაზე, ეჯახებიან ნაგავს და ამცირებენ მათ სიჩქარეს, ხოლო ნამსხვრევების ან ბურთულების სუბლიმაცია (აირად ქცევა) მოხდება ერთი სრული ბრუნის განმავლობაში, რის შემდეგაც წარმოქმნილი აირის ღრუბელი იმოქმედებს პირველი შემთხვევის ანალოგიურად.

**3. ფტორიდები ორბიტაზე გაგვაქვს მყარი სახით ნაწილობრივ დაქუცმაცებული მტვრის სახით.**

პირობები და მოქმედება იგივეა რაც მეორე შემთხვევისას.

აღნიშნული მეთოდით კოსმოსური ნაგავის განადგურება არ არის რთული განსახორციელებელი არ მოითხოვს განსაკუთრებით დიდ ხარჯებს.

## დასკვნა

შემოთავაზებულია კესლერის ეფექტის თავიდან აცილების ორიგინალური ხერხი, რომელსაც ანალოგი არ გააჩნია და რომელიც უზრუნველყოფს დედამიწის ახლო ორბიტების გაწმენდას მცირე ზომის (1მმ-10 სმ) ნაგავისაგან. მისი პრაქტიკული განხორციელება არ არის დაკავშირებული დიდ ხარჯებთან და განსაკუთრებულ სიმძნელებთან.

## ABOUT PREVENTION METHOD OF KESLER SYNDROMES

**Kotishadze M., Pkhakadze N., Godoladze L.**

*Summary: In this article one most actual problem of modern space ecology of destructe the cosmic litter is considered. The difficulties of controlling particles up to 100 millimeters of cosmic litter have been investigated. An effective method to destroy them by the small and medium fraction of the cosmic litter including to corresponding calculations is proposed.*