

## კოსმოსური დაბინძურების პრობლემები

### თ. ადვიშვილი

საქართველოს ეკოლოგიური მეცნიერებათა აკადემია  
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

*აბსტრაქტი. ნაშრომში წარმოდგენილია თანამედროვე რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის (რკტ) ექსპლუატაციის ეკოლოგიური პრობლემები. ლაპარაკია რაკეტული ტექნიკის მახლობელ სივრცეზე მავნე ზემოქმედების შემცირების გზებზე. გლობალური ეკოლოგიური პრობლემის გადაჭრის ასპექტში განიხილება განსაკუთრებით საშიში რადიოაქტიური ნარჩენების კომპლექსური „ჩამარხვის“ კონცეფცია.*

#### 1. შესავალი

გასული ასწლეული ატომისა და კოსმონავტიკის საუკუნეა, მაგრამ მის დასასრულს გაზეთებისა და ჟურნალების გვერდებზე სულ უფრო ხშირად დაიწყო საგანგაშო სიტყვის „ეკოლოგიის“ ხმარება. უდავოა, რომ პირველი ატომური ელექტროსადგურის შექმნამ და დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრის გაშვებამ პრაქტიკულად საფუძველი ჩაუყარეს მიწიერი ცივილიზაციის განვითარების ახალ ეტაპს. ატომური ენერგეტიკა და რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკა (რკტ) გახდა ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის განუყოფელი ნაწილი.

ენერგეტიკისა და ტექნიკის განვითარების ამ მიმართულებათა დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს ეკოლოგიის გლობალურ პრობლემებთან მათი კავშირი. ატომური ენერგეტიკა ზოგავს ძვირადღირებულ ნედლეულს - ორგანულ საწვავს (ნავთობს, ნახშირს, აირს, მერქანს), რომელთა მარაგები ერთობ შემოსაზღვრულია, მაშინ როცა თანამედროვე მიწიერი ენერგეტიკა, მის მოხმარებაზეა ორიენტირებული და განაპირობებს ჟანგბადის გარდაუვალ კლებას და ნახშირქანგის აირის კონცენტრაციის მატებას ატმოსფეროში, აქედან გამომდინარე, მთელი რიგი შედეგებით.

თანამედროვე კოსმონავტიკას შეუძლია ბუნებრივი გარემოს ანთროპოგენური ცვლილებების და არსებული რესურსების რაციონალური გამოყენების კონტროლი, რაც ხელს უწყობს უნარჩენო ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების განვითარებას და მომავალში რენტაბელური კოსმოსური ინდუსტრიის ხარჯზე უზრუნველყოფს დედამიწის ეკოლოგიურ განტვირთვას.

მაგრამ ამავდროულად ატომური ენერგეტიკის მასშტაბების ზრდა და კოსმოსური სივრცის ინტენსიური ათვისება განაპირობებს გარემოზე არსებით ზემოქმედებას, რომელთა შედეგები ძნელი საპროგნოზოა.

ატომური ენერგეტიკის განვითარების ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას ატომური ელექტროსადგურის ექსპლუატაციის უსაფრთხოების უზრუნველყოფასთან ერთად წარმოადგენს რადიოაქტიური ნარჩენების შენახვისა და უტილიზაციის პრობლემა [1, 2]. კოსმონავტიკის განვითარების მიხედვით წარმოიშობა ისეთი ნეგატიური პრობლემები, როგორცაა მახლობელი კოსმოსური სივრცის დაბინძურება რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის ფრაგმენტებით; რაკეტული საწვავის პროდუქტების მავნე ზემოქმედება დედამიწის ატ-

მოსფეროზე და მათ შორის ოზონის ფენაზე.

ამ სირთულეების გადალახვა მდგომარეობს ტექნოლოგიების შემდგომ სრულყოფაში. კერძოდ, ბირთვულ ენერგეტიკაში - ეს ისეთი ახალი ბირთვული რეაქტორების შექმნაა, რომელთაც გააჩნიათ ე.წ. შინაგანი უსაფრთხოება და ასევე ბირთვული საწვავის ციკლში წარმოქმნილი ნარჩენების რადიოქიმიური გადამუშავებისა და საიმედო იზოლაციის მეთოდების შემუშავება. განსაკუთრებით საშიში რადიოაქტიური ნივთიერებების გაუვნებელყოფის ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტია მათი კოსმოსურ სივრცეში გადატანა. რადიოაქტიური ნარჩენების კოსმოსური იზოლაცია მკაცრ მოთხოვნებს უყენებს სატრანსპორტო კოსმოსურ სისტემებს „ჩამარხვის“ ორბიტებზე ნარჩენებიანი კონტეინერების გაყვანის საიმედოობისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით. მნიშვნელოვან საკითხად რჩება რენტაბელობის ფაქტორი: ნარჩენების კოსმოსური გაუვნებელყოფის ხარჯები არ უნდა იწვევდეს ატომური ელექტროსადგურებიდან გამომუშავებული ელექტროენერჯის ღირებულების არსებით ზრდას. დღეისათვის „ჩელენჯერისა“ და „ჩერნობილის“ ტიპის ავარიები გვაძლავს საკმაოდ ფრთხილად მოვეპყროთ წარმოდგენილი იდეის რეალიზაციის შესაძლებლობებს. მაგრამ მომავალი რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის სრულყოფასთან ერთად ასეთი პროექტები უეჭველად დაიკავენ სათანადო ადგილს დედამიწისეული ენერგეტიკისა და ეკოლოგიის პრობლემების გადაჭრაში.

გარემოზე რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის მავნე ზემოქმედების შემცირება პერსპექტივაში შეიძლება დაუზუგავშიროთ სრულიად მრავალჯერად სატრანსპორტო კოსმოსურ სისტემებზე გადასვლას, რომლებიც იყენებს ეკოლოგიურად უსაფრთხო საწვავის კომპონენტებს. უკან დასაბრუნებელი საფეხურების მქონე სისტემების გამოყენება გამორიცხავს მიწების გაუდაბურებას დაცემის რაიონებში და მახლობელი ორბიტების შემდგომ განადგურებას. უახლოეს მომავალში კოსმონავტიკის ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრა იგულისხმება რიგი საორგანიზაციო-ტექნიკური ღონისძიებების ხარჯზე, რომელიც კერძოდ, მიმართული იქნება გაშვების ტრასების შემოკლებისაკენ და რაკეტა-მატარებლების დაშვების რაიონების შემცირებისაკენ, მატარებლებზე საწვავის ტოქსიკური კომპონენტების უარყოფისაკენ, ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტებზე კოსმოსური ობიექტების წინასწარმეტყველი და თვითნებური აფეთქების აკრძალვისაკენ, რაც, კოსმოსური ნაგავის“ ძირითად წყაროა და ა.შ.

#### 1. ორბიტალური ფრაგმენტები და კოსმოსში შეჯახების საშიშროების ფაქტორები.

კოსმოსური სივრცის დაბინძურება დაიწყო დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრებისა და რაკეტების გაშვებისთანავე. კოსმოსური ერის დადგომიდან დღემდე დედამიწის მახლობელ ორბიტებზე დარეგისტრირდა 50 ათასზე მეტი ხელოვნური წარმოშობის კოსმოსური ობიექტი, რომელთა ზომები 10 სმ-ზე მეტი იყო და მათი თვალყურის მიდევნება შეიძლებოდა თანამედროვე მიწიერი საშუალებების მეშვეობით. ესენია რაკეტული მატარებლების უკვე ფუნქციონირებული ზედა საფეხურები, ვადაგასული კოსმოსური აპარატები (კა) და თვითნებური აფეთქებიდან ან ობიექტთა შეჯახების შედეგად წარმოქმნილი ფრაგმენტები.

ამ ობიექტთა და ფრაგმენტთა ნაწილი, დროთა განმავლობაში, მათი ორბიტისა და

მასის მიხედვით შედიან ატმოსფეროს მკვრივ ფენებში და აბსოლუტური უმრავლესობა იწვება და მხოლოდ უმცირესი ნაწილი აღწევს დედამიწის ზედაპირამდე. მოცემულ მომენტში კოსმოსურ სივრცეში 10 ათასამდე ხელოვნური ობიექტია დაკვირვებული და მათგან მხოლოდ 5%-ია მოქმედი კოსმოსური აპარატი, ხოლო დანარჩენები არსებითად „კოსმოსურ ნაგავს“ წარმოადგენს.

სამწუხაროდ კოსმოსური ნაგავი არ შემოიფარგლება მხოლოდ დარეგისტრირებული ობიექტებით. არსებული მოდელების საფუძველზე ჩატარებული ექსტრაპოლაცია უჩვენებს, რომ რამდენიმე სანტიმეტრის რიგის ზომების ფრაგმენტთა რიცხვი, წარმოქმნილი ობიექტების რღვევისას, შეადგენს უკვე რამდენიმე ათეულ ათასს, ხოლო ერთი სანტიმეტრისა და მასზე ნაკლები ზომების ნამსხვრევების რაოდენობა ასეულ ათასობითაა [3].

ორბიტური ნამსხვრევების რიცხვის ზრდასთან ერთად დამახასიათებელია კოსმოსური სივრცეში მათი გავრცელების სფეროს გაფართოება. როგორც დაკვირვებები გვიჩვენებს, ობიექტთა თვითნებური აფეთქების შედეგად ნამსხვრევები თავს იყრის საკმაოდ ვიწრო ზომის რგოლებში, რომლებიც მცირედ განსხვავდებიან დახრის კუთხეებით. თუმცა დროთა განმავლობაში ორბიტათა სიბრტყეები იწყებენ განტოლვას და ჯამში ნამსხვრევები ნაწილდებიან კოსმოსური სივრცის მთელ სფეროში. მათი ფრენის ტრაექტორიები მცირე ზომების გარსით მოიცავენ მთელ დედამიწას და თავისუფალი რჩებიან მხოლოდ ორივე პოლუსი.

კოსმოსური სივრცის მზარდი დაბინძურება საშიშროებას ქმნის დედამიწის მკვიდრთათვის. კოსმოსური ობიექტების ნარჩენების ცვენიდან ჩვენ გვიცავს ატმოსფეროს მკვრივი ფენები, რომლებიდანაც ისინი იწვებიან. მაგრამ ისინი საშიშია ამ სიმაღლეებზე მფრინავი ზებგერთი სატრანსპორტო ავიაციისათვის. შესაძლებელია ისეთი შემთხვევებიც როცა კოსმოსური ობიექტების ცვენისას მათი ნამსხვრევების ნაწილი ვერ ასწრებს ატმოსფეროში დაწვას და ეცემიან დედამიწის ზედაპირზე. ამ თვალსაზრისით სერიოზული საფრთხე შექმნა ამერიკული ორბიტალური სადგურების „სკაილების“ გაუთვალისწინებელმა სწრაფმა დაშვებამ [4]. საბედნიეროდ, სადგურის დაუწველი ნამსხვრევები ავსტრალიის მცირედ დასახლებულ რაიონებში ჩამოცვივდა და ზიანიც არ მოუტანია. 1991 წელს ასეთივე საშიშროება დაკავშირებული იყო საბჭოთა ორბიტული სადგურის „სალუტ-7“ ჩამოვარდნასთან, რომლის ფრაგმენტები შემოიჭრა ატმოსფეროს მკვრივ ფენებში სამხრეთ ამერიკის ტერიტორიის თავზე.

კოსმოსურ სივრცეში იზრდება „ნაგავის“ ნამსხვრევებთან შეჯახების ალბათობა, რამაც მომავალში შეიძლება არსებითი გავლენა მოახდინოს ორბიტული სადგურებისა და პილოტირებული სატრანსპორტო ხომალდების ფრენებზე და ასევე ავტომატური დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ფუნქციონირების ხანგრძლივობაზე. „კოსმოსური ნაგავის“ ძირითადი საფრთხე დაკავშირებულია ორბიტული ფრაგმენტების კოსმოსურ საფრენოსნო აპარატებთან შეჯახების ერთობ მალალ სიჩქარეებთან. მაგალითად, ორბიტაზე დაკარგულ ჩვეულებრივ სამაგრ ჭანჭიკთან შეხვედრა მისი 10 კმ/წმ ფარდობითი სიჩქარით მოძრაობისას კოსმოსური აპარატის ზარბაზნის ბირთვთან შეჯახების ტოლფასია, როცა ეს უკანასკნელი 300 მ/წმ, სიჩქარით მოძრაობს. 0,5 მმ დიამეტრის ნაწილაკმა, კოსმოსში გადაადგი-

ლებსას, შეიძლება გახვრიტოს კოსმოსური სკაფანდრი, მაშინაც კი, თუ ის დამზადებულია მრავალფენოვანი მტკიცე მასალისაგან. მასზე, როგორ საფრთხეს წარმოადგენს კოსმოსში, ასეთი, ადამიანის თვალსაზრისით თითქმის განურჩეველი მიკრონამსხვრევები, მოწმობს ილუმინატორების ეროზიული დაზიანებები „სალუტ-7“, „მირ“ და „მატლის“ ორბიტულ სადგურებზე.

ფრაგმენტების ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია დაიკვირვება 300±1500 კმ სიმაღლეთა დიაპაზონში, სადაც წვრილ ნამსხვრევთან კოსმოსური აპარატის შეჯახების ალბათობა მიუახლოვდა იმავე ზომების მეტეორიტთა შეჯახების ალბათობას.

უდავოა, რომ მომავალში აუცილებელი გახდება კონსტრუქციის დამატებითი წონები ორბიტული სადგურებისა და კოსმოსური აპარატების „კოსმოსური ნაგავისაგან“ დასაცავად. ასევე საჭირო იქნება სპეციალური ღონისძიებები ამ ორბიტების დაბინძურების შესამცირებლად.

დაბინძურებამ, საფრთხის გარდა, შეიძლება ნეგატიურად იმოქმედოს „კოსმოსური სივრცის“ კონტროლის ამოცანის შესრულებაზე. ის ქმნის დამატებით ფონს კოსმოსური ობიექტების ოპტიკური, რადიოლოკაციური და სხვა საშუალებებით აღმოჩენისა და იდენტიფიკაციისათვის და თვით კოსმოსური აპარატების შრომისუნარიანობისათვის. გარდა ამისა ორბიტული ნამსხვრევებიდან არეკლილმა სინათლემ ასტრონომებს შეუძლია ხელი შეუშალოს მუშაობაში.

განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს გეოსტაციონარული ობიექტების (გო) „კოსმოსური ნაგავით“ დაჭუჭყიანება. 1963 წლიდან დღემდე ამ ორბიტაზე გაშვებულია 400-ზე მეტი კოსმოსური აპარატი. ამ დროს გეოსტაციონარული ორბიტის ცალკეული უბნები სხვადასხვა მოთხოვნილებების გამო კავშირის კოსმოსური ხაზებში გადატვირთული ხდება. ვადაგასული გეოსტაციონარული თანამგზავრების დრეიფის გამო ორბიტაზე შესაძლებელია მათი 10 კმ-ზე ნაკლები მანძილით მიახლოება. ამ ფაქტს პერსპექტივაში შეუძლია დამაკავშირებელ საშუალებებში პარაზიტული სიგნალების შექმნა, რაც პერსპექტივაში გეოსტაციონარული ორბიტების გამოყენებას ართულებს.

დაბალი ორბიტების მექანიკურ დაბინძურებასთან ერთად სერიოზულ საშიშროებას წარმოადგენს რადიოზოტოპებითა და ბირთვული ენერგოდანადგარებით აღჭურვილი კოსმოსური აპარატების ავარიები, რომლებმაც შეუძლია გამოიწვიოს დედამიწის ზედაპირის, მისი ატმოსფეროსა და მახლობელი კოსმოსური სივრცის რადიოაქტიური დაბინძურება. მაგალითად, 1964 წელს ამერიკულმა ნავიგაციურმა თანამგზავრმა „ტრანზიტმა“, რომლის ბორტზე განლაგებული იყო ენერჯის რადიოზოტოპური წყარო ვერ შეძლო ორბიტაზე გასვლა. პლუტონიუმ-238-ის შემცველი მოწყობილობა დაიშალა ატმოსფეროში და რადიოაქტიური ნარჩენები კანადის ჩრდილო-დასავლეთ რაიონებში გატყორცნა, რაც შემდეგ თითქმის მთელ დედამიწაზე გავრცელდა.

ნარჩენთა სუფთა ეკოლოგიური უტილიზაციის პრობლემა ბირთვული საბორტო საწვავის მქონე დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ნორმალური ფუნქციონირების დროსაც რჩება. ითვლება, რომ დედამიწის მახლობელ ორბიტებზე დღეისათვის იმყოფება რამდენიმე ათეული დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი, რომელთა ბორტზე განთავსე-

ბულია ერთ ტონამდე ურან-235 და სხვა დაშლის პროდუქტები. ამ ობიექტთა უმეტესობა ბრუნავენ ყველაზე დაბინძურებულ ზონებში განლაგებულ ობიექტებზე და ნამსხვრევებთან შეჯახებისას ექცევიან დაშლის საფრთხის ქვეშ. სულ უფრო ხშირად სპეციალისტები მოითხოვენ კოსმოსურ აპარატებში ბირთვული ენერგოდანადგარების გამოყენების შეზღუდვას. ისინი გამოყენებული შეიძლება იქნენ მხოლოდ სხვა პლანეტებისაკენ გაგზავნილ კოსმოსურ ხომალდებში, სადაც არ არის ენერჯის სხვა წყაროები.

თანამედროვე ეტაპზე კოსმოსური აპარატების გაშვების არსებული ტემპის დროს ორიტებზე ფრანგმენტების რაოდენობა საშუალოდ 5%-ით იზრდება წელიწადში. თუ მათი რიცხვის შემცირების ღონისძიებები არ გატარდა, მაშინ დროთა განმავლობაში ორბიტაზე შეიქმნება რთული სიტუაცია, ურთიერთშეჯახების შედეგად ნამსხვრევების რაოდენობამ შეიძლება კასკადურად გაიზარდოს. ეს რომ არ მოხდეს აუცილებელია დაუყოვნებლივ განხორციელდეს სამუშაოთა კომპლექსური პროგრამა კოსმოსური სივრცის დაბინძურების ღონის შემცირების შესახებ.

## 2. შესაძლო ღონისძიებების პროგრამა.

ასეთი პროგრამის ტექნიკური ნაწილი უნდა შედგებოდეს სამი განყოფილებისაგან. პირველ განყოფილებაში მიზანშეწონილია ჩაირთოს სამუშაოები კოსმოსური სივრცის თანამედროვე მდგომარეობის დაზუსტებისა და მისი შემდგომი დაბინძურების პროგნოზის კუთხით პოლოტირებული და ავტომატური კოსმოსური აპარატების „კოსმოსურ ნაგავთან“ შეჯახების საშიშროების შეფასებით. „კოსმოსური ნაგავის“ რეგისტრირებული ფრაგმენტების კატალოგების გაფართოებისათვის განყოფილებაში გათვალისწინებული უნდა იქნეს კოსმოსური ობიექტების აღმოჩენის მეთვალყურეობის და კონტროლის საშუალებათა სრულყოფის კვლევები. ასევე უნდა იყოს დაგეგმილი გაზომვის მეთოდები, შედეგების დამუშავების და მონაცემების მართვის ამოცანები უახლოესი ეგმ-ების გამოყენებით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ნამსხვრევთა ორბიტების მუდმივი გაზომვა და დაინტერესებული მხარეებისადმი „სათანადო ინფორმაციის“ მიწოდება ძალზე რთულია თვით დღეისათვის ცნობილი მსხვილი ფრაგმენტების რაოდენობის პირობებშიც კი. რაც შეეხება წვრილ, პირდაპირი აღმოჩენებისათვის მიუწვდომელ, ფრაგმენტებს, მათი ტრაექტორიების პროგნოზირება საერთოდ არარეალურია. მცირე ზომების ფრაგმენტების თვალის მიდევნების შეზღუდულ შესაძლებლობებს მივყავართ კოსმოსური ობიექტების შეჯახებებისა და რღვევების მოდელირების აუცილებლობამდე. სწორედ ასეთი პროცესია ძირითადი წყარო ნამსხვრევების წარმოშობაში. ტექნიკური ნამსხვრევები, რომლებთანაც შესაძლებელია ორბიტული შეჯახებები, განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან მასალათა სიმკვრივით, ზომებით, ფორმითა და შესაჯახებელი ობიექტის მიმართ ორიენტაციით. მოდელირებას შეიძლება საფუძვლად ედოს თანამედროვე მიწის ზედა დანადგარებზე ჩატარებული ექსპერიმენტები და ანალიზური მეთოდები. გამოკვლევათა შედეგები უნდა გამოვიყენოთ სხვადასხვა სახის კოსმოსური კონსტრუქციების დაშლის გათვლების თეორიებისა და საინჟინრო მეთოდების შემუშავების დროს.

ორბიტაზე წვრილი ნამსხვრევების რაოდენობის შეფასებისა და მოდელირების შედეგების დადასტურებისათვის საჭირო მონაცემების სხვა წყაროს წარმოადგენს კოსმოსუ-

რი დაკვირვებები. დღეისათვის კოსმოსის ტექნიკური დაბინძურებისა და მეტეორული მდგომარეობის შესწავლა მიმდინარეობს ორბიტული სადგურების კონსტრუქციებზე და სატრანსპორტო ხომალდებზე მიკრონაწილაკების ზემოქმედების შედეგების მიხედვით, სადაც გამოიყენება: ა) სხვადასხვა სისქის მგრძნობიარე შემონაფენების მქონე კონდენსატორული მზურღავი დეტექტორი; ბ) კონსტრუქციული მასალების ნიმუშების შემცველი დედამიწაზე დასაბრუნებელი, მოცულობითი კასეტები; გ) კოსმოსური სადგურების ღია ლითონის ზედაპირებისა და ილუმინატორების გარეგანი დათვალიერება.

ნიმუშებს შემდეგ იკვლევენ ლაბორატორიულ პირობებში მიკროსკოპებისა და მას-სპექტრომეტრების საშუალებით. ნაწილაკთა ნარჩენების ელემენტური ანალიზის მეშვეობითა და სკანირებადი ელექტრონული მიკროსკოპის გამოყენებით შეიძლება გავარჩიოთ ბუნებრივი მეტეორიტების დარტყმითი ნაკვალევი ხელოვნური წარმოშობის ნაწილაკების ნაკვალევისაგან.

კოსმოსური ტექნოგენური დაბინძურების შესახებ ინფორმაციას გვაძლევდა „მატლის“ ტიპის მრავალჯერადი ორბიტული ხომალდის მეშვეობით დედამიწაზე დაბრუნებული თანამგზავრებიც. ასე მაგალითად, ამერიკულ თანამგზავრ-პლატფორმაზე-LDEF, რომელიც დედამიწაზე დაბრუნდა ორბიტაზე თითქმის 6-წლიანი მუშაობის შემდეგ, აღმოჩნდა 500-მდე ამონახეტი, რომლებიც გამოწვეული იყო 0,01 სმ და მეტი ზომის ხელოვნური წარმოშობის ნაწილაკებით.

კოსმოსურ სივრცეში მიკრონაწილაკთა მახასიათებლების ეფექტური გაზომვა შეიძლება ჩატარდეს სპეციალური მცირე თანამგზავრების მეშვეობით, რომელიც ორბიტაზე ადის როგორც დამატებითი სასარგებლო დატვირთვა სერიულ კოსმოსურ აპარატებთან ერთად. ეს არსებითად აუმჯობესებს გამოკვლევების არეს ახლო კოსმოსის მეტეორულ-ტექნოგენური დაბინძურების კუთხით და ამცირებს გაწეულ ხარჯებს. მეტეორული ან ტექნოგენური ნაწილაკის შეჯახების ფაქტის რეგისტრაცია ხორციელდება თანამგზავრის გასაბერი გარსის სექციის ამონახეტიების დროს, რაც თავისთავად კონდენსატორული ტიპის გადამწოდებს წარმოადგენს. ამ ნაწილაკთა მასა და სიჩქარე განისაზღვრება იონური გადამწოდის დახმარებით. საბორტო სამეცნიერო აპარატებიდან მიღებული ინფორმაცია რეგისტრირდება პირველადი დამუშავების შემდეგ და დედამიწაზე გადმოეცემა თანამგზავრის რადიომხედველობის ზონაში არსებობის დროს.

მსხვილი და წვრილი ფრაგმენტებით კოსმოსური სივრცის დაბინძურების კომპლექსური მოდელირება და კონტროლი კოსმოსურ ნაგავთან “საფრენოსნო აპარატების შეჯახების საშიშროების დონის პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

ერთ-ერთ ასეთ ღონისძიებას წარმოადგენს ორბიტულ ნასხვრევებთან შეჯახებისას კოსმოსური აპარატების დაზიანებისაგან საბორტო დაცვის დამუშავება. ყველაზე მისაღები მეთოდები - კონსტრუქციების ეკრანირება და კოსმოსური აპარატების რეზერვაცია - ადრეც გამოიყენებოდა მეტეორული ნაწილაკებისაგან დაცვის მიზნით. მაგრამ ტექნოგენური ნაწილაკები თავისი ზომებით აღემატებიან მეტეორულს და მოითხოვენ უფრო საიმედო და ეფექტურ დაცვას:

უმეტეს შემთხვევაში საერთო ეკრანული დაცვა გამოიყენება წვრილი ნამსხვრევები-

საგან დაცვის დროს, რომლებიც აზიანებენ, მაგრამ ვერ შლიან კოსმოსურ საფრენოსნო აპარატებს. უფრო საიმედო საშუალებები განიხილება მგრძნობიარე აპარატების დაცვის შემთხვევაში. მაგალითად, გამოიყენება მესრული ან ჟალუზური სისტემა, რომლებიც შეჯახებისას ფარავენ სამეცნიერო-ტექნიკურ აპარატურას. არსებობს „კოსმოსური ნაგვისაგან“ ხომალდის დაცვის სხვა მეთოდებიც, მაგრამ ყველას განხილვა საკმაოდ რთული და შრომატევადი პროცესია.

კოსმოსური აპარატის „გადარჩენის“ უზრუნველყოფა მახლობელი კოსმოსური სივრცის ტექნიკური დაბინძურების დროს მეტად მნიშვნელოვანია და შესაბამისი სამუშაოების ჩატარებას მოითხოვს.

პროგრამით გამიზნული მეორე მიმართულება უნდა ეხებოდეს ჩაკეტილ-კოსმოსური ტექნიკის ფრაგმენტებით კოსმოსის დაბინძურების თავიდან აცილებას.

ამ კუთხით ძალზე პერსპექტიულად გვეჩვენება უნივერსალური კოსმოსური პლატფორმების (უკპ) შექმნა, რომელთაგან თითოეულს შეუძლია რამდენიმე სპეციალიზირებული თანამგზავრის შეცვლა. მეორე მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს კოსმოსური საფრენოსნო აპარატების რიცხვის შემცირება და ორბიტაზე მათი აქტიური არსებობის რესურსისა და ვადის გაზრდა. ასეთი სახის ობიექტებზე გადასვლისათვის დიდ შესაძლებლობებს უჩვენებს რაკეტა-მატარებელი „ენერჯია“ და „ჩელენჯერი“.

მახლობელი კოსმოსური ორბიტების დაბინძურების დონის შემცირება შეიძლება ასევე განაპირობოს კონსტრუქტორულმა პროექტებმა რაკეტულ ბლოკებზე და კოსმოსურ აპარატებზე განლაგებული საშუალებების გამოყენებისა და ორბიტულ ფრენებზე სამტატო ელემენტების კონსტრუქციის გამორიცხვით. ორბიტული ობიექტების ტექნოლოგიური ნაწილაკების გამორიცხვის დროს აუცილებელია ისეთი კონსტრუქციებისა და დაფარვების გამოყენება, რომლებიც მედეგია მახლობელი კოსმოსური სივრცის ზემოქმედებისადმი. ამასთან ერთად მნიშვნელოვან მოთხოვნილებას წარმოადგენს ორბიტული ძრავებისათვის ისეთი საწვავის გამოყენება, რომელიც თავისუფალია ლითონური და სხვა სახის მინარევებისაგან და მათი წვა არ იწვევს მყარი ჟანგეული ნაწილაკების წარმოშობას [5].

როგორც უკვე აღინიშნა „კოსმოსური ნაგვის“ დიდ ნაწილს წარმოადგენს კოსმოსური აპარატებისა და რაკეტის საფეხურების აფეთქებისა და დაშლის შედეგად წარმოქმნილი ფრაგმენტები. 1961 წლიდან, როცა დაფიქსირდა კოსმოსში ობიექტის პირველი რღვევა, ორბიტაზე აფეთქდა 150-მდე ობიექტი. ძირითადად აფეთქებები მიმდინარეობდა უპროგნოზო ავარიების შედეგად. გამიზნული აფეთქება ზოგჯერ ხდება კოსმოსური ობიექტის მსხვილი დაუწველი ნაწილის ჩამოვარდნის თავიდან ასაცილებლად.

აუცილებელია გარკვეული სამუშაოების ჩატარება ორბიტალური ობიექტების თვითნებური აფეთქებების თავიდან ასაცილებლად და მათი ორბიტიდან მართული გაყვანის განხორციელების მიზნით. ზოგიერთი კოსმოსური აპარატის თავისთავადი აფეთქების ყველაზე ალბათურ მიზეზად მიჩნეულია ბუფერული ქიმიური ბატარეების მქონე თერმოკონტეინერების აფეთქება მათი გადამუხტვის დროს. ამ მიმართულებით ჩატარებული სამუშაოების ეფექტურობა დადასტურდა შემდგომი კოსმოსური აპარატების წარმატებული ექსპლუატაციით. კოსმოსური ობიექტების აფეთქების მეორე მიზეზი გამოვლინ-

და „დელტა“ რაკეტა-მატარებლების ვადაგასული ზედა საფეხურების რღვევის ანალიზის დროს.

მათი რღვევის მექანიზმი შემდეგში მდგომარეობდა. სარქველების დახურვისას ძრავის მუშაობის დამთავრების შემდეგ რეზერვუარებში წნევა იზრდებოდა მანამ, სანამ ერთ-ერთი მათგანი არ აფეთქდებოდა. წარმოქმნილი ნამსხვრევები აზიანებდნენ მეორე რეზერვუარს, საწვავის თვითაღებადი კომპონენტები ერეოდნენ ერთმანეთში და ხდებოდა საფეხურის აფეთქება. ძრავების გამორთვისას ოპერაციათა თანმიმდევრობის ისეთნაირად შეცვლამ, რომ არ მომხდარიყო სათბობის ავზებიდან გამოსასვლელად ნახვრეტთა გადაფარვა, განაპირობა ინციდენტების თავიდან აცილება.

სათბობისა და აირების შედინება შეიძლება ისე მოხდეს, რომ ამ შემთხვევაში საფეხური იძენდეს სამუხრუჭე იმპულსს, რომელიც ამცირებს მისი ორბიტაზე ყოფნის დროს. ამ მიმართულების სამუშაოთა ლოგიკური დასრულება, რაც უზრუნველყოფს კოსმოსური სივრცის დაბინძურების კლებას, წარმოადგენს კოსმოსური აპარატიდან საფეხურის მოცილების შემდეგ მისი ორბიტიდან მიმართული გადაყვანა.

რაც შეეხება თვით კოსმოსურ აპარატს, გეოსტაციონარულ ორბიტაზე არსებული ობიექტების აქტიური მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ გათვალისწინებულია საბორტო ძრავის უფრო გარეგან ორბიტებზე გადაყვანა, ხოლო დაბალორბიტული კოსმოსური აპარატებისათვის ორბიტიდან მოხსნა და წყნარი ოკეანის აკვატორიაში ჩამარხვა.

და ბოლოს, სამუშაოთა მესამე მიმართულება ეძღვნება „კოსმოსური ნაგავისაგან“ მახლობელი კოსმოსური სივრცის გასუფთავების შესაძლო ხერხებისა და საშუალებების კვლევასა და შექმნას. აქ ძირითადად ლაპარაკია ადრეულ წლებში რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის ექსპლუატაციის შედეგების გაუვნებელყოფაზე. თუმცა, გარემოს დაბინძურებისაგან თავის დაღწევა მნიშვნელოვნად რთულია, ვიდრე მისი თავიდან აცილება [6].

პერსპექტივაში კოსმოსურ სივრცეზე სატრანსპორტო დატვირთვების შემცირებისა და მისი გაწმენდითი სამუშაოების მოწესრიგების მიზნით შეიძლება გათვალისწინებული იქნეს ორბიტული კოსმოსური პორტების, როგორც თავისებური გადასაჯდომი მიზნით განლაგება. ასეთი კოსმოპორტის დედამიწასთან კავშირი უზრუნველყოფილი იქნება მრავალჯერადი სატრანსპორტო კოსმოსური სისტემის რეგულარული რეისებით, ხოლო ორბიტებშია გადაზიდვები კოსმოპორტში ბაზირებული სპეციალური ბუქსირებით [5].

უფრო რთულ ამოცანას წარმოადგენს „კოსმოსური ნაგავის“ მცირე ნაწილაკების მოგროვების ორგანიზაცია და კოსმოსიდან გატანა. დღეისთვის ცნობილია ასეთი ამოცანის გადაწყვეტის მრავალი პროექტი. ერთ-ერთი მათგანი ითვალისწინებს წვრილი ნამსხვრევების გზაზე დიდი აქაფული წარმონაქმნის ჩამოყალიბებას, რომელიც შთანთქმავს ნაწილაკთა კინეტიკურ ენერგიას, რის შემდეგაც ისინი ეშვებიან დაბლა და შედიან ატმოსფეროს მკვრივ ფენებში. მაგრამ ასეთი სახის დაბრკოლებები ზიანს აყენებს კოსმოსური აპარატების ფუნქციონირებას. მეორე პროექტის თანახმად შემოთავაზებულია წვრილი ნაწილაკების ორბიტიდან გატანა მათი ლაზერული სხივის ან ნეიტრალური ნაწილაკების კონების დასხივების მეშვეობით.

მაგრამ, ამ მეთოდებით „კოსმოსური ნაგავის“ ფრაგმენტების ორბიტიდან მოშორება



დაკავშირებულია დიდ ენერგეტიკულ და ეკონომიკურ დანახარჯებთან და მოითხოვს ღრმა გააზრებულ ნაბიჯებს. ჯერ-ჯერობით კოსმოსის „გასუფთავება“ ხდება ნაწილობრივ ბუნებრივი გზით, ზედა ატმოსფეროში ნამსხვრევების დამუხრუჭებით და მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია მის აქტიურობის ციკლზე, რომლის გავლენით ატმოსფერო ექცევა დიდი ფლუქტუაციების ქვეშ და ამით ფართოვდება ორბიტულ ფაქტორზე მისი ზემოქმედების არე [6].

ატმოსფეროს სამუხრუჭო თვისების გამოყენებით შეიძლება შევამციროთ კოსმოსური აპარატებისა და რაკეტული საფეხურების ორბიტაზე პასიური არსებობის დრო მათი აეროდინამიკური წინააღმდეგობის შემცირებით, მაგალითად, გასაბერი ბატონის მეშვეობით.

### 3. პრობლემის სამართლებრივი ასპექტები და თანამშრომლობის საკითხები.

რამდენადაც „კოსმოსური ნაგავის“ პრობლემა ეხება კოსმოსის ათვისებაში მონაწილე ყველა ქვეყნის ინტერესებს, მისი გადაწყვეტა საჭიროებს საერთაშორისო სამართლებრივ საფუძველს და მჭიდრო თანამშრომლობას. ამ სფეროში გადაწყვეტილების მისაღებად აუცილებელია, რომ პრობლემის აქტუალურობას ცნობდეს საერთაშორისო საზოგადოება. დედამიწის მახლობელი ორბიტების არსებული დანაგვიანებისას არ შეიძლება დავუშვათ სიტუაციის შემდგომი არაკონტროლირებადი განვითარება.

კოსმოსური სამართლის არსებული საერთაშორისო შეთანხმება ზოგადი ფორმით ეხება კოსმოსური მოღვაწეობის პოტენციურად მავნე შედეგების აღკვეთის საკითხებს. ეს მოიცავს კოსმოსური სივრცის დაბინძურება-დანაგვიანებას, განსაკუთრებით ენერგიის საბორტო ბირთვული წყაროების მეშვეობით. ამიტომ „კოსმოსური ნაგავის“ პრობლემის გადაწყვეტის ტექნიკურ და სამართლებრივ ასპექტებს დიდი ყურადღება ექცევა მთელ რიგ ქვეყნებში და ასევე გაეროსა და არასამთავრობო საერთაშორისო ორგანიზაციებში-საერთაშორისო ასტრონომიული ფედერაციაში MAP და კოსმოსური სივრცის კვლევის კომიტეტში (KOSPAR) და სხვა.

ამრიგად, ასეთი სახის საერთაშორისო სამართლებრივი აქტების მიღებას საფუძველი ჩაეყარა 1980 წლის ზაფხულში ქ. ბუდაპეშტში გამართულ კოსპარის XXIII საერთაშორისო კონგრესზე, რომლის მუშაობაში მონაწილეობდა ამ სტრიქონების ავტორიც, რომელმაც ორი მოხსენება წარადგინა ამ სამეცნიერო ფორუმზე აქტიური კოსმოსური ექსპერიმენტების საკითხებზე [7,8]. ასე, რომ კოსპარის მიერ შექმნილი საერთაშორისო საექსპორტო ჯგუფმა კოსმოსური სივრცის დაბინძურების პრობლემის შესწავლის მიზნით, თავის 1981 წლის 30 იანვრის დოკუმენტში, გააკეთა მთელი რიგი დასკვნები სხვადასხვა დანიშნულების ვადაგასული თანამგზავრების თავიანთი ორბიტებიდან გაყვანის მიზნით. 1982 წელს გამართულ გაეროს II კონფერენციაზე, რომელიც მიემდგვნა კოსმოსური სივრცის მშვიდობიან გამოყენებას, დაბინძურების შემცირების მიზნით „კოსმოსურ სახელმწიფოებს“ რეკომენდაციები მისცა გამოეყოთ განსაზღვრული ორბიტები „ჩასამარხი ორბიტების“ სახით, მოეწყოთ ნაგავშეგროვების“ ფრენები, ხოლო ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირს დაავალა თავის ნორმებში ჩაერთო დებულებები გეოსტაციონარული ორბიტებიდან ვადაგასულ თანამგზავრთა გაყვანის შესახებ.

1988 წელს გერმანიაში კოსმოსური სამართლის საკითხებზე გამართული კოლოქვიუმის მონაწილეებმა გამოთქვეს მთელი რიგი წინადადებები ამ დარგში არსებული პრობლემების შესწავლის მიზნით ექსპერტთა საერთაშორისო ჯგუფის შექმნის შესახებ; კოსმოსურ სივრცეში ობიექტთა მოძრაობის მარეგულირებელი წესების შემუშავების შესახებ; აფეთქების მეშვეობით ორბიტებზე კოსმოსური ობიექტების გამიზნული დაშლის აფეთქების თაობაზე და სხვა. ამ დროს გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო მიღებული დებულებების დარღვევისას მოსალოდნელი პასუხისმგებლობა. ენერჯის ბირთვული საბორტო წყაროების მქონე კოსმოსური ობიექტების გამოყენების სამეცნიერო - ტექნიკური და სამართლებრივი ასპექტების კომპლექსი წარდგენილ იქნა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის კოსმოსური კომიტეტისა და ქვეკომიტეტის 1988-1990 წლებში გამართულ სესიებზე განსახილველად.

პრობლემის გლობალური ხასიათს და მისი ერთობლივი ძალისხმევით გადაჭრას ხაზი გაესვა დიდი კოსმოსური სახელმწიფოების, სპეციალისტების 1989 წლის დეკემბერში ქ. მოსკოვში გამართულ შეხვედრაზე. მაქსიმალური ალბათობით ამ კუთხით საერთაშორისო თანამშრომლობის ჩამოყალიბებაში წამყვანი როლი უნდა შეესრულებინა მოწინავე კოსმოსურ ქვეყნებს (აშშ, საბჭოთა კავშირი, ჩინეთი, ინგლისი, იაპონია და სხვები), რომელთაც გააჩნდათ მაქსიმალური პოტენციალი კოსმოსური სამუშაოების შესრულებაში.

განხილულ პრობლემაში საერთაშორისო თანამშრომლობა უნდა ემყარებოდეს განსაზღვრულ ძირეულ პრინციპებს. მათ რიცხვს შეიძლება მიეკუთვნებოდეს:

1. სამართლებრივი ნორმებისა და დებულებების დამუშავება მიმართული უნდა იყოს არა იმდენად რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის გამოყენების შემზღვევით ზომებისაკენ, არამედ მისი სრულყოფისაკენ კოსმოსური სივრცის შემდგომი დაბინძურების თავიდან აცილების მიზნით. კოსმოსური სივრცის „სისუფთავე“ უმთავრესად მიღწეული უნდა იყოს მისი თავდაპირველი გაუჭუჭყიანებლობით.

2. პერსპექტივაში, შედარებით ხანგრძლივ ორბიტაზე გაყვანილი ყოველი ობიექტი მიზანშეწონილია აღიჭურვოს ისეთი საშუალებებით, რომლებიც მისი ფუნქციონირების დამთავრებისას უზრუნველყოფს ატმოსფეროს მკვრივ ფენებში დაბრუნებასა და განადგურებას ან კიდევ საერთაშორისო შეთანხმებით დადგენილ შორეულ კოსმოსურ ზონებში გაყვანას.

3. რაკეტულ-კოსმოსური საშუალებების გამომყენებელმა ქვეყნებმა ამ საკითხში უნდა გაცვალოს ინფორმაცია, რაც დაკავშირებული იქნება კოსმოსური სივრცის დაბინძურებასთან, მათ შორის:

- საპროექტო, საკონსტრუქტორო, ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებებისა და საექსპლუატაციო ღონისძიებებზე, რომელიც მიღებულია კოსმოსის დაბინძურების შემცირების მიზნით;
- კოსმოსური სივრცის დაბინძურების ფაქტიური სავარაუდო მდგომარეობით, რომელიც მიღებულია მოწინავე ქვეყნებში თვალთვალისა და მოდელირების შედეგების საფუძველზე;

- იმ გამოკვლევებზე, რომლებიც მიღებულია კოსმოსურ აპარატებზე ორბიტული ნამსხვრევების ზემოქმედების დაკვირვებითა და ამ ნამსხვრევებისაგან ობიექტების დაცვის საშუალებების გაანალიზებით.

4. „კოსმოსურ ქვეყნებს“ შორის საერთაშორისო თანამშრომლობა მახლობელი კოსმოსური სივრცის დაბინძურების შემცირების დარგში უნდა წარიმართოს კოსმოსის მშვიდობისათვის გამოყენების მიზნით. გაეროს კომიტეტში მოითხოვება ტექნიკური, საორგანიზაციო და სამართლებრივი საკითხების გადამწყვეტი სპეციალური ჯგუფის ნაყოფიერი მუშაობა. საერთაშორისო თანამშრომლობის პროცესში უნდა გამომუშავდეს განსახილველი პრობლემების გადაჭრის საერთაშორისო დეკლარაციები და შეთანხმებები.

5. საერთაშორისო თანამშრომლობის დარგში პირველი ნაბიჯების გადადგმის დროს მიზანშეწონილია „კოსმოსურმა სახელმწიფოებმა“ გამოიმუშაონ ერთობლივი კონცეფცია კოსმოსური სივრცის დაბინძურების შემცირების შესახებ, რომელიც იქნებოდა ბაზა ყველა დანარჩენი, ამ პრობლემით დაინტერესებული, ქვეყნისათვის. ალბათ, საერთაშორისო კონცეფციებსა და შეთანხმებებს წინ უნდა უსწრებდეს ეროვნული პროგრამების დამუშავება.

6. უნდა აღინიშნოს, რომ კოსმოსური სივრცის დაბინძურების კვლევის პროგრამით განსაზღვრული ღონისძიებები და საშუალებები, დამყარებულია რაკეტულ-კოსმოსური ტექნიკის კონვერსიაზე. ეს მიეკუთვნება კოსმოსის თვალთვალისა და კონტროლის საშუალებებს, „კოსმოსური ნაგავის“ წარმოშობის პროცესების მოდელირების ექსპერიმენტულ საშუალებებს, ორბიტაზე თანამგზავრთა მომსახურების სისტემებს, შორ მანძილებზე ენერჯის გადაცემის პერსპექტიულ საშუალებებს და სხვა. კოსმოსური სივრცის დაბინძურების პრობლემის გადაჭრის ერთობლივი სამუშაოების ჩატარება ფაქტიურად ამ საშუალებათა დამუშავებასა და გამოყენებას დასვამს საერთაშორისო კონტროლზე და ამავდროულად უზრუნველყოფს შემდგომ პროგრესს რაკეტულ - კოსმოსური ტექნიკის განვითარებაში.

#### ლიტერატურა

1. ადეიშვილი თ. კოსმოსური ეკოლოგიის ძირითადი პრობლემები. „სამრეკლო საქართველოსი“ №1, 2001
2. Новиков Л., Петров Н., Романовский Ю. Экологические аспекты космонавтики. М.: Знание, 1986
3. Книжников Ю. Аэрокосмическое стереомоделирование. М.: Научный мир, 2015
4. Власов М. Антропогенное воздействие на ближний космос. Природа, №11, 1998
5. Назаров Р., Рязанов Е., Сагдеев Р., Суханов А. Анализ процесса самоочищения космоса от «Мусора». Препринт ИКИ АН СССР №1670, 1990
6. Зеленый Л. Космос сегодня – исследования и освоение. Экология и жизнь, №7, 2009
7. Sagdeev R.Z., Managadze G.G., Mayrov A.D., Adeishvili T.G. et al. Space Research. V.1 Great Britain. 1981.
8. Sagdeev R.Z. Managadze G.G., Martinson A.A. Adeishvili T.G. et al. Space Research. V1. Great Britain, 1981.

#### PROBLEMS OF SPACE POLLUTION

Adeishvili T.

Summary

Orbital Fragment and collision risk factors are discussed in the paper. A program of possible measures is developed and the main legal aspects of the problem are presented.