

სატრანსპორტო კოსმოსური სისტემების გაშვების გავლენა დედამიწის ატმოსფეროზე

თ. ადგიშვილი, ნ. ბერძენიშვილი, გ. დადუნაშვილი, ხ. კიკალიშვილი
საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი. კოსმონავტიკის განვითარების პერსპექტივების განხილვისა და მათ შორის ისეთი მსხვილმასშტაბური ამოცანების ამოხსნისას, როგორცაა მრავალმიზნობრივი ორბიტული კომპლექსებისა და თანამგზავრული მზისიერი ელექტროსადგურების განლაგება, მთვარისიერი საბაზო სადგურების შექმნა, არ შეიძლება გარემოს ეკოლოგიური პრობლემების დავიწყება. კოსმოსის ინტენსიური ათვისება აუცილებლად გამოიწვევს კოსმოსური სივრცის არსებით დანაგვიანებას.

1. საფრენოსნო რაკეტა-მატარებლებიდან გამონაბოლქვი ნივთიერებები

პრობლემა უპირველეს ყოვლისა ეხება სატრანსპორტო კოსმოსურ სისტემებს (რაკეტა-მატარებლებსა და კოსმოსურ ბუქსირებს), რომელთა ოპერაციების მოცულობა განუხრელად იზრდება და ფართოვდება. თანამედროვე ეტაპზე კოსმოსში მსოფლიო ტვირთნაკადის რეალიზაციისას ყოველწლიურად სხვადასხვა ტვირთთავის მქონე 100-120 რაკეტა მატარებელია აუცილებელი. პერსპექტივაში ის შეიძლება რამდენჯერმე გაიზარდოს. რაკეტა-მატარებლების მასიურმა გაშვებამ დიდი რაოდენობის წვის პროდუქტების გამობოლქვით, დიდი გავლენა მოახდინა დედამიწის ატმოსფეროზე. აუცილებელია ასეთი ზემოქმედების შეფასება, რათა მომავალში თავიდან ავიცილოთ არასასურველი შედეგები.

წვის ჩაკეტილი პროდუქტების ატმოსფეროზე ზემოქმედების ეკოლოგიური საკითხების განსახილველად გამონაფრქვევების სიმაღლეზე დამოკიდებულების მიხედვით მიზანშეწონილია მისი სამ ფენად (სფეროდ) დაყოფა: ტროპოსფეროდ, სტრატოსფეროდ და იონოსფეროდ [1].

ტროპოსფერო - ატმოსფეროს ქვედა, ძირითადი ნაწილი გადაჭიმულია დედამიწის ზედაპირიდან 16-18 კმ სიმაღლეებამდე ტროპიკებში, 10-12 კმ სიმაღლეთა დიაპაზონში ზომიერ სარტყლებში და 8-10 კმ სიმაღლეებზე პოლარულ განედებზე. ის ხასიათდება სიმაღლის მიხედვით ტემპერატურის დაცემით ~6,5 გრად/კმ საშუალო ვერტიკალური გრადიენტით და განვითარებული ტურბულენტობით, რაც უზრუნველყოფს დაჭუჭყიანების სწრაფ შერევას როგორც ვერტიკალის, ისე ჰორიზონტალის მიმართულებით.

სტრატოსფერო - ატმოსფეროს ფენაა, რომელიც ლოკალიზებულია ტროპოსფეროს თავზე და გადაჭიმულია 50 კმ სიმაღლემდე. სტრატოსფეროს პრაქტიკულად ემთხვევა ოზონოსფერო - ოზონის მაღალი კონცენტრაციის ფენა, რომელიც საიმედოდ იცავს დედამიწის ზედაპირს და ყველა ცოცხალ არსებას მზის მოკლეტალლოვანი ულტრაიისფერი რადიაციის მავნე ზემოქმედებისაგან. ოზონის მაქსიმალური სიმკვრივე საშუალო განედებზე დაიკვირვება 24-26 კმ სიმაღლეებზე. სტრატოსფეროს მახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს აეროზოლური ფენა, რაც გავლენას ახდენს ატმოსფეროს სითბურ და დინამი-

კურ რეჟიმებზე.

იონოსფერო გადაჭიმულია ~70 კმ-დან ~400 კმ სიმაღლემდე. მასში დაიკვირვება დამუხტული ნაწილაკები (ელექტრონები და იონები), რომელთა ფარდობითი შემცველობა იზრდება სიმაღლის მიხედვით. იონოსფეროს თავისებურებას წარმოადგენს სხვადასხვა სიხშირული დიაპაზონების რადიოტალღების გავრცელებაზე გავლენის უნარი. ამ თვალსაზრისით იონოსფეროს მნიშვნელოვან მახასიათებლებად ითვლება თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია და შეჯახებების ეფექტური სიხშირე.

რაკეტა-მატარებლების გაშვების გარემოზე მოქმედ ძირითად მავნე ფაქტორებს მიეკუთვნება სტარტის დროს ატმოსფეროს მიწისპირა ფენებში (ტროპოსფეროში) წვის პროდუქტების დიდი გამონაბოლქვები, სტრატოსფეროში ოზონის კონცენტრაციისა და იონოსფეროში თავისუფალი ელექტრონების სიმკვრივის შემცირება. განვიხილოთ ეს გავლენა „მატლისა“ და „ენერჯის“ ტიპის ყველაზე მძლავრი რაკეტა-მატარებლების ექსპლუატაციის მაგალითზე. რაკეტული საწვავის პროდუქტების გამონაბოლქვების ტროპოსფეროზე ზემოქმედების ხარისხზე შეიძლება ლაპარაკი დაბინძურების სხვა წყაროებთან შედარებით.

ატმოსფეროში არსებული ნახშირორჟანგი (CO_2) გავლენას ახდენს დედამიწის რადიაციულ ბალანსზე. მისი შემცველობის გადიდება შეიძლება გამოიწვიოს სათბურის ეფექტი-დედამიწის ზედაპირისა და ჰაერის ტემპერატურის ზრდა.

ყოველწლიურად საწვავის პროდუქტებთან ერთად ტროპოსფეროში ხვდება დაახლოებით 20000 მილიონი ტონა ნახშირორჟანგი მათ შორის ნავთობის წვიდან 1800 მილიონი ტონა წელიწადში, ქვანახშირიდან ~2300 მილ.ტ/წელი, გაზიდან ~2700 მილ.ტ/წელი, მერქნიდან ~1800 მილ.ტ/წელი. ნახშირორჟანგის წვლილი, არსებული რაკეტული სათბობის წვის პროდუქტებში, CO_2 -ის საერთო ტროპოსფერულ ბალანსში (~1011 მილ. ტ/წელი) ერთობ მცირეა თვით კოსმოსში პერსპექტიული ტვირთნაკადების რეალიზაციის დროსაც კი და არ შეუძლია გავლენა მოახდინოს ტროპოსფეროში მიმდინარე მოვლენებზე.

ნახშირორჟანგის (CO_2) ბუნებრივი წყაროები - ტყის ხანძრები (11 მილ.ტ/წელი) და ოკეანეთა გამონაყოფები (10 მილ.ტ/წელი) - შეადგენენ სტრატოსფეროში CO_2 -ს საერთო ნაკადის მხოლოდ 5-10%-ს. მის ძირითად წყაროს (300 მილ. ტ/წელი) წარმოადგენს სამრეწველო ღუმელებში, საქვაბე და საავტომობილო ძრავებში სათბობის არასრული წვა. ამრიგად, გასაშუალოებული გამოთვლებით ერთი ავტომანქანა წელიწადში მოიხმარს 2 ტონა ბენზინს და ტროპოსფეროში გამობოლქვავს 0,7 ტ ნახშირორჟანგს. აქედან გამომდინარე, „ენერჯის“ ტიპის ერთი მატარებლის გაშვება ნახშირორჟანგის გამოყოფის მოცულობით შევადაროთ მხოლოდ რამდენიმე ასეული ავტომანქანის წლიური ექსპლუატაციას.

წყლისა და წყალბადის გამოფრქვევა საერთოდ არ ახდენს გავლენას ტროპოსფეროზე. მოლეკულური აზოტი წარმოადგენს ატმოსფერული ჰაერის ბუნებრივ მდგენელს, ხოლო რაკეტა - მატარებლის გაშვების გამოყოფილი აირი ერევა ჰაერს და მისი კონცენტრაცია მცირდება ზღვრულ სიდიდეზე.

რაკეტა - მატარებლების სტარტის ზონაში ლოკალურ შედეგებამდე შეიძლება მიგვიყვანოს ქლორიდული წყალბადისა და ალუმინის ჟანგეულების გამონაბოლქვებმა, რო-

მელთაც შეიცავენ ზოგიერთი მატარებლის, კერძოდ „შატლის“ სათბობის წვის პროდუქტები. ეს გამონაბოლქვები შეიძლება გახდეს მჟავე წვიმების მოსვლის მიზეზი, მან გაზარდოს ჰაერში შეწონილი ნაწილაკების შემცველობა და ღრუბლების საფარის ტოქსიკური დაბინძურება, განაპირობოს ამინდის პირობების ცვლილება სასტარტო ადგილის მიმდებარე რაიონებში. მაგრამ აღნიშნული ეფექტები ხანმოკლეა, რამდენადაც მიწისპირა ატმოსფეროში ტურბულენტური დინებები განაპირობებს გამონაბოლქვი ქიმიური კომპონენტების სწრაფ შერევას და მათი კონცენტრაციების უსაფრთხო დონემდე დაცემას. უნდა აღინიშნოს, რომ გამონაბოლქვთა ასეთი მდგენელები წარმოიქმნებიან მყარი რაკეტული საწვავის მოხმარების დროს.

ატმოსფეროს დაბალი ფენებისაგან განსხვავებით, რომლებშიც ადგილი აქვს ძლიერ ტურბულენტურ პროცესებს, სტრატოსფეროში 15-50 კმ სიმაღლეებზე აიროვანი შედგენილობის მდგომარეობა თითქმის უცვლელია, ამიტომაც ამ ფენების ნებისმიერი დაბინძურება ატარებს ხანგრძლივ ხასიათს. ამ სიმაღლეებზე, მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ როლს ასრულებს ოზონის ფენა, რომელიც წარმოიქმნება ჟანგბადის ფოტოლისოციაციისა და მისი ატომების შემდგომი ურთიერთქმედებით მოლეკულებთან [2]. ოზონის დაშლის წყაროს წარმოადგენს კატალიზური რეაქციები. ატმოსფეროში მისი შემცველობა ძალზე არაერთგვაროვანია ტოლ სიმაღლეებზე ოზონის წარმომქმნელი და ოზონის დამშლელი რეაქციების განსხვავებული სიჩქარეების გამო. დედამიწის ატმოსფეროს საერთო მასიდან - $5 \cdot 10^{15}$ ტ ოზონის წილზე მოდის მხოლოდ - $3 \cdot 10^9$ ტონა, რამაც ნორმალური ატმოსფერული წნევისა და - ტემპერატურის დროს უნდა მოგვეცეს 3 მმ სისქის ფენა დედამიწის ირგვლივ. ამიტომ არაა გასაკვირი, რომ ოზონოსფერო ძალზე „მტკივნეული წერტილია“ დედამიწელებისათვის. დადგენილია, რომ ულტრაიისფერი გამოსხივების დონის გაზრდა, განპირობებულია ატმოსფეროში ოზონის შემცველობის შემცირებით, რაც თავის მხრივ იწვევს მოსახლეობის კანის კიბოთი დაავადებას. აქედან ჩანს, რამდენად მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში ოზონის კონცენტრაციის მუდმივობის შენარჩუნება [3].

ამჟამად დამტკიცებულია, რომ უკანასკნელ ათწლეულში დედამიწის ატმოსფეროში მიმდინარეობს ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირება და ამის უალბათესი მიზეზია სტრატოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურება. ასეთი დაბინძურების ერთ-ერთ წყაროს წარმოადგენს ფრეონები, რომლებიც გამოიყენებიან აეროზოლურ დანადგარებში და მაცივრებსა და კონდიციონერებში სიცივაგენტების სახით. როგორც თავისთავად მედეგები ისინი სტრატოსფეროში ხვდებიან ჰაერის ნაკადებთან ერთად, სადაც ხელს უწყობენ ოზონის დაშლას. უნდა აღინიშნოს, რომ სტრატოსფეროში მოხვედრილი მინარევეები გადანაწილდებიან ჰაერის ნაკადებით და შეუძლიათ ოზონზე ზემოქმედება ლოკალური დაბინძურების ზონებიდან რამდენადმე შორს. ამრიგად, ვარაუდობენ ოზონის „ხვრელის“ ანტარქტიდის თავზე წარმოშობის მიზეზად ფრეონის მოლეკულებს. მრავალი ქვეყნის მიერ ხელმოწერილ მონრეალის პროტოკოლში განსაზღვრულია ფრეონის წარმოების შეზღუდვისა და ატმოსფეროში მისი გამონაბოლქვის შემცირების გზები. თუმცა ეს ზომები არაა ამომწურავი. არსებობს სხვა ნივთიერებების დიდი რაოდენობა, რომელთა ატმოსფეროში გამოფრქვევა იწვევს ოზონის ფენის რღვევას.

კერძოდ, ოზონის ფენაზე გავლენას ახდენს რაკეტა-მატარებლის წვის პროდუქტები. თავისი მასით არ შეესაბამებიან სამრეწველო დამბინძურებლებს, მაგრამ მათგან განსხვავებით რაკეტული მატარებლები ახდენს მათ გამობოლქვას ატმოსფერულ სიმაღლეთა ფართო დიაპაზონში [4]. პრაქტიკულად, ნებისმიერი რაკეტა-მატარებლის ფრენის დროს ოზონის ფენაში წარმოიშობა „ფანჯარა“, რომელიც დროთა განმავლობაში ფართოვდება. რაკეტა-მატარებლის ნაკვალევს ეკოლუცია ხორციელდება ატმოსფერული ცირკულაციისა და ჰაერსა და წვის პროდუქტებს შორის მიმდინარე რეაქციების გავლენით. რაკეტული გამოწვების გავლენით ოზონის ფენაში ცვლილებების რაოდენობრივი შეფასება შეიძლება დამუშავებული ფოტოქიმიური მოდელების საშუალებით, რომლებიც საკმაოდ ზუსტად აღწერენ ფოტოქიმიურ გარდაქმნათა მთელ კომპლექსს ტროპოსფეროში და სტრატოსფეროში. ამ დროს აუცილებელია ვიცოდეთ რაკეტის მიერ გამობოლქვილი წვის პროდუქტების შედგენილობა და რაოდენობა ფრენის ტრაექტორიის სიმაღლეზე.

ოზონი ირღვევა წყლის ორთქლის ზემოქმედების შედეგად, რომელსაც მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს ყველა თხევადი რაკეტული ძრავის წვის პროდუქტები და ასევე აზოტის ჟანგეულები, რომლებიც წარმოიქმნიან ჰაერის აზოტისა და ჟანგბადისაგან, რაკეტის ძრავების ალში მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით. ასეთი ფანჯრების ზომები იზრდება, თუ რაკეტა-მატარებლის შემადგენლობაში გამოიყენება მყარ სათბობზე მომუშავე ძრავები. ჰაერიდან აზოტის ჟანგეულების ანალოგიური წარმოშობის გარდა, მათ რეაქციულ ჰაველებში შედის ქლორწყალბადის დიდი რაოდენობა, რომელიც ვენის კონვენციის თანახმად (1985 წ) მიაკუთვნეს განსაკუთრებით აქტიურ ოზონდამშლელ ნივთიერებას. ქლორის ყოველი ატომი არღვევს ათასჯერ მეტ ოზონის მოლეკულას, ვიდრე აზოტის ჟანგის ერთი მოლეკულა. ამიტომ ეკოლოგიური თვალსაზრისით დიდი ტვირთნაკადების რეალიზაციის დროს მიზანშეწონილია თხევადი რაკეტული ძრავების მქონე რაკეტა-მატარებლების გამოყენება.

ოზონის ფენაზე რაკეტა-მატარებლების ფრენის გავლენის შეფასება ხორციელდება „მატლისა“ და „ენერჯის“ ტიპის ხომალდებზე ძალზე დიდი დროის მანძილზე [5].

„ოზონის ფენის რღვევის დინამიკა რაკეტა-მატარებლების ერთჯერადი გაშვების დროს მიმდინარეობს შემდეგნაირად. რამდენიმე ასეული მეტრის დიამეტრის რაკეტის ნაკვალევში ოზონის ფენა სრულად ირღვევა თითქმის მყისიერად. მაკროტურბულენტური დიფუზიის გავლენით გამობოლქვილი ნივთიერებები გადაადგილდებიან რამდენიმე კილომეტრის დიამეტრის სვეტში რამდენიმე საათის განმავლობაში. 16-24 კმ სიმაღლეთა დიაპაზონში ამ სვეტში არსებული ოზონის შემცველობა მცირდება 15-20%-ით ორი საათის განმავლობაში, ხოლო შემდეგ მიმდინარეობს წარმოქმნილი გვირაბის თანდათანობითი გაწოვა. თუმცა, სტრატოსფეროში, რაკეტიდან გამონაბოლქვი ღრუბელი ერთი კვირის შემდეგ მოიცავს რამდენიმე ასეული კილომეტრის მასშტაბებს. ამ ღრუბელში ოზონის ფენის მაქსიმალური რღვევა ხდება 24-30 კმ სიმაღლეებზე სტარტიდან დაახლოებით 24 დღის შემდეგ. ამავდროულად ტროპოსფეროში და ზედა სტრატოსფეროში მიმდინარეობს ოზონის წარმოქმნა. მაკომპენსირებელი დადებითი ეფექტის გათვალისწინებით რაკეტა-მატარებლის გაშვების რაიონში ოზონის შემცველობა მცირდება 1,7%-ით სტარტიდან 24 დღის

შემდეგ, ანუ მასური დამოკიდებულებით 27 ათასი ტონით. ამრიგად, რაკეტა-მატარებლის ერთჯერადი გაშვბა ოზონის ფენაზე ახდენს არსებით გავლენას.

რაკეტა-მატარებლის ყოველთვიური გაშვების დროს გარკვეული დროის შემდეგ ატმოსფეროს შედგენილობა ჰაერის მასების ცირკულაციის ზემოქმედებით გადადის ახალ წონასწორულ მდგომარეობაში დაახლოებით 11 წლის განმავლობაში. ატმოსფეროში ოზონის მაქსიმალური დეფიციტი (0,4-0,6%) აღინიშნება ჩრდილო განედის 40⁰-ის ჩრდილოეთით. რაკეტა-მატარებლის ყოველკვირეული გაშვებისას, რაც მოითხოვება ისეთი მსხვილბასშტაბური ამოცანის გადაჭრისას, როგორცაა ორბიტაზე მზის ელექტროსადგურების განთავსება, ოზონის საერთო დანაკარგი კიდევ უფრო გაიზრდება. აუცილებელია სპეციალური გამოკვლევების ჩატარება ამ შეფასებების დასაზუსტებლად და რაკეტა-მატარებლის გაშვებათა ზღვრულად დასაშვები ინტენსიობის განსაზღვრისათვის, რათა შენარჩუნებულ იქნას დედამიწის ოზონის ფენის წონასწორული მდგომარეობა.

არ პროცესები სდევს თან იონოსფეროში რაკეტა-მატარებლების გაშვებას.

ჯერ კიდევ გასული საუკუნის სამოციან წლებში სპეციალისტთა ყურადღება მიიპყრო იონოსფეროში წარმოქმნილმა სპეციალურმა მოვლენებმა მძლავრი რაკეტა-მატარებლის გაშვების დროს. რაკეტის ნაკვალევის მახლობლობაში იონოსფეროში წარმოიშობა „ხვრელი“, რომელიც არსებობდა რამდენიმე საათის განმავლობაში. მაშინ ივარაუდეს, რომ გაიშვიათებული იონოსფერული პლაზმა „გამოიდევნებოდა“ რაკეტის ფრენის დროს გამოტყორცნილი აირებით.

რაკეტის იონოსფეროზე ზემოქმედების შთამბეჭდავი ეფექტი დარეგისტრირდა 1973 წლის მაისში დედამიწის მახლობელ ორბიტაზე ამერიკული სადგურის „სკაილების“ გაყინვის დროს. გაშვება ხორციელდებოდა მძიმე რაკეტა-მატარებლის „სატურნ-5“ მეშვეობით, რომლის ძრავები მუშაობდნენ 300-400 კმ სიმაღლეებზე, სადაც ხდება იონოსფეროს მაქსიმალური იონიზაცია. შეინიშნებოდა, რომ სადგურის გაშვების დროს იონოსფეროში ელექტრონების კონცენტრაცია ორჯერ შემცირდა და შემფოთების ფართმა მიაღწია 1 მილიონ კმ²-ს. ე.წ. სკაილებ-ეფექტი იონოსფეროში განმეორდა 1979 წლის სექტემბერში „ატლას-ცენტავრი“ რაკეტა-მატარებლით ასტროფიზიკური ობსერვატორიის გაშვების დროს. მაშინ წარმოიშვა იონოსფერული „ხვრელი“, რომლის ფართობმა 3 მლნ. კმ² - ს მიაღწია. გაზომვებმა გვიჩვენეს, რომ იონებისა და ელექტრონების 80% გაქრა რაკეტის გავლიდან ორი წუთის განმავლობაში.

ჟანგბადი - წყალბადის საწვავზე ჩვეულებრივ მომუშავე რაკეტა-მატარებლების წვის ძირითად პროდუქტს იონოსფეროში ფრენის დროს წარმოადგენს წყალი. დიდ სიმაღლეებზე წყლის არარსებობის გათვალისწინებით, ეს უჩვეულო მოვლენა ასევე შეგვიძლია შევაფასოთ როგორც ბუნებრივი გარემოს დამაბინძურებელი ფაქტორი, რაც თავისთავში მალავს ბუნებრივი წონასწორობის რღვევის პოტენციალურ შესაძლებლობას. მართლაც, 70-90 კმ სიმაღლეებზე, სადაც ატმოსფეროს ყველაზე დაბალი ტემპერატურაა, წყლის მოლეკულები სწრაფად კონდენსირდებიან და ფორმირდებიან ცინულის კრისტალებად. ამის შემდეგად შეიძლება წარმოიშვნენ ვერცხლისფერის მსგავსი ხელოვნური ღრუბლები, რომლებიც იონოსფეროში წარმოქმნიან ყველაზე მაღალ ღრუბლოვან საფარს. იონოსფეროს კი-

დევ უფრო მაღალ დონეებზე, დაიკვირვება წყლის ორთქლის ურთიერთქმედება იონოსფერულ პლაზმასთან, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ელექტრონთა შენცირებული სიმკვრივის ზონები, რომლებსაც თან ახლავს სხვადასხვა სახის ანომალიები იონოსფეროს ნათებაში, რადიოტალღების გავრცელებაში და სხვა.

გარდა რაკეტა-მატარებლებისა, დედამიწის იონოსფეროზე გავლენის მოხდენა შეუძლია კოსმოსური ბუქსირების ფრენებს, რომლებიც მუშაობენ თხევადი და ელექტრონული რაკეტული ძრავების ბაზაზე. მათ მუშაობას თან მოსდევს კოსმოსურ სივრცეში წყლისა და წყალბადის მოლეკულების ან არგონის იონებისა და ელექტრონების გამოტყორცნა, რამაც ასევე შეიძლება შექმნას იონოსფერული „ხვრელები“, ხოლო მაგნიტოსფეროში ე.წ. ტრიგერული მოვლენები - ამ არამდგრადი გარემოს ტალღებისა და ნაწილაკების დინამიკური წონასწორობის დარღვევა.

კოსმოსური ბუქსირების იონოსფეროზე შესაძლო ზემოქმედების მასშტაბების შეფასებისათვის მოვიყვანოთ რამდენიმე ციფრი, რომლებიც მიღებულია სპეციალისტების მიერ პერსპექტიული ორბიტული სატრანსპორტო აპარატებისათვის. ამრიგად, გამოთვლების მიხედვით ჟანგბად-წყალბადის საწვავზე მომუშავე ბუქსირებს თან ახლავს იონოსფეროში $10^{31} - 10^{31} - H_2$ და $-H_2O$ -ს მოლეკულების ინჟექტირება, რაც იწვევს იონოსფერული „ხვრელის“ წარმოშობას 20 მლნ. კმ² ფართობით. გეოფიზიკური პირობების მიხედვით ასეთი „ხვრელის“ არსებობა შეიძლება გაგრძელდეს 16 საათამდე. ჩრდილო რაიონებში ეს „ხვრელი“ შეიძლება იყოს გაცილებით დიდი. ამრიგად რაკეტა - მატარებლებისა და კოსმოსური ბუქსირების მასიურ გაშვებებზე გადასვლამ შეიძლება გამოიწვიოს გლობალური იონოსფერული ზემოქმედებები და მათი შედეგები ჯერ კიდევ ბოლომდე არაა შესწავლილი.

კოსმოსურ სივრცეში ანთროპოგენური მოვლენების პროგნოზისა და გამოკვლევების მიზნით ტარდება აქტიური მართვადი ექსპერიმენტები [6,7]. ტრადიციული პასიური დაკვირვებებისაგან განსხვავებით, როცა იზომება მხოლოდ კოსმოსური სივრცის პარამეტრები, ამ ექსპერიმენტებში შეისწავლება გარემოს რეაქცია კონტროლირებად შემფოთებებზე, რომლებიც ხორციელდება პლაზმის, ნეიტრალური ნივთიერებებისა ნაწილაკთა კონებისა, და ა.შ. ინჟექციით ატმოსფეროს ზედა ფენაში.

განსხვავებენ კოსმოსურ აქტიურ ექსპერიმენტთა ორ ჯგუფს. პირველს მიეკუთვნება სამიზნე ატომთა ტიპის ექსპერიმენტები, რომლებიც ძირითად ახდენენ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე პროცესების „ტრანსირებას“, რისთვისაც რაკეტის ბორტიდან ხორციელდება ტუტე მეტალების ორთქლის ინჟექცია რომლებიც დაიკვირვებიან მნათი ღრუბლების სახით [8].

ექსპერიმენტთა მეორე ჯგუფი მოიცავს გარემოს ლოკალური დოზირებული შემფოთების განხორციელებას. მაგალითად, გაზოდინამიკური, პლაზმური და აეროდინამიკური პროცესების შესასწავლად იონოსფერული „ხვრელების“ წარმოქმნისათვის განხორციელდა აქტიური მოდელური ექსპერიმენტები იონოსფეროში სპეციალური კომპონენტების (H_2, H_2O, CO_2 და სხვა) გაშვებით, რაც საგრძნობლად ამცირებდა მასში ელექტრონთა კონცენტრაციას. ამ ექსპერიმენტთა შედეგებმა საშუალება მოგვცა უფრო ღრმად გარკვეულიყო

იონოსფერული „ხვრელების“ წარმოშობის მექანიზმები და შემოქმედულიყო კოსმოსური სივრცის ხელოვნური შეშფოთების არსებული მოდელები. ამავდროულად აქტიური ექსპერიმენტები იძლევა ინფორმაციას ანთროპოგენური ზემოქმედებისა და მისი შედეგების მასშტაბების შესაფასებლად და კოსმოსურ სივრცეში ადამიანის მოღვაწეობის „ეკოლოგიური საზღვრების“ დადგენის საშუალებას იძლევა.

ამრიგად, უნდა აღინიშნოს რომ ატმოსფეროს დაბუნძურება სატრანსპორტო კოსმოსური სისტემების მხრიდან, ჯერ-ჯერობით ლოკალური ხასიათისაა, თითქმის კონტროლირდება და არ წარმოადგენს არსებით საფრთხეს კაცობრიობისათვის. კოსმოსური საფრენოსნო აპარატების წვის პროდუქტების გლობალურ მასშტაბებში ატმოსფეროში გამონაბოლქვები შედარებით მცირეა, სამრეწველო გამონაბოლქვებთან შედარებით, მაგრამ ამ უკანასკნელთაგან განსხვავებით ისინი გარემოზე ზემოქმედებენ სიმაღლეთა ფართო დიაპაზონში და განსაკუთრებული ეფექტურობით ვლინდებიან ატმოსფეროს მაღალ ფენებზე - სტრატოსფეროზე და იონოსფეროზე. ატმოსფეროზე რაკეტულ - თანამგზავრული გამონაბოლქვების ზემოქმედების ასეთი თავისებურებები მოითხოვს შემდგომ ღრმა შესწავლას არასასურველი შედეგების დროულად აცილების მიზნით. ამიტომ პერსპექტივაში სატრანსპორტო კოსმოსურმა სისტემებმა უნდა გაიაროს ეკოლოგიური პასპორტიზაცია, ხოლო მსხვილმასშტაბური ამოცანების გადაწყვეტის შესაბამისი საპროექტო გამოკვლევები უნდა ტარდებოდეს გარემოზე ეკოლოგიური მოსალოდნელი ზემოქმედების შესაბამისი შეფასებით.

2. რაკეტა - მატარებლის დაშვების ზონების მასშტაბების შემცირების პრობლემები

როგორც ცნობილია, ამჟამად შექმნილი და ექსპლუატირებული სატრანსპორტო საშუალებები კოსმოსურ ორბიტებზე სასარგებლო ტვირთების გაყვანის შესახებ შესრულებულია მრავალსაფეხურიანი სქემით.

გარემოზე რაკეტა-მატარებლების მავნე ზემოქმედების ერთ-ერთ ფაქტორს წარმოადგენს ნამუშევარი საფეხურებისა (რაკეტული ბლოკების) და კონსტრუქციების სხვა განშორებული ელემენტების იმ ტერიტორიებზე ვარდნა, რომლებიც განლაგებულია ფრენის ტრასების გასწვრივ. სათბობის გამომუშავების შემდეგ თანდათან ხდება სასტარტო ამჩქარებლების, საფეხურების განშორება, ცვივა სათაო გარსმდენები, მომდევნო საფეხურების გარდამავალი ნაკვეთურები და სხვა. მაგალითად, სამსაფეხურიანი რაკეტა-მატარებლის „სატურნი-5“-ის ორბიტაზე გადაყვანისას, რომელიც აღჭურვილი იყო „აპოლონის“ ხომალდით (აშშ), მას ჩამოშორდა კონსტრუქციის ხუთი მსხვილი ელემენტი: 1. S-IC საფეხური 165 ტ მასით, ავარიული გადარჩენის სისტემა (აგს) 4ტ მასით, S-IC და S-II საფეხურების გადამყვანი, 4 ტ მასით; S-II საფეხური 43 ტ მასით და S-II და SVB საფეხურების გადამყვანები 4 ტ მასით.

ყველა ეს ელემენტი სისტემას შორდება სხვადასხვა დროს, განსხვავდებიან მასით, კონფიგურაციით და კინემატიკური პარამეტრებით, სტარტის წერტილიდან დაშორებით, სიჩქარით, სიმაღლით, დედამიწის ზედაპირისადმი ტრაექტორიის დახრის კუთხით. ამ მახასიათებელთა კონკრეტული ასხმა განსაზღვრავს მოსაცილებელი ელემენტის ფრენის სიშორესა და პირობებს. მაგრამ ფრენის პირობები ხომ სხვადასხვაა ყოველი გაშვების

დროს - იცვლებიან გაყვანის ტრაექტორიის ტიპები, მასა და საფეხურების მოძრაობის პარამეტრები მოშორების მომენტში, ფრენის პირობები და მოძრაობის ხასიათი მოშორების შემდეგ. ყველაფერ ამას ერთობლიობაში მივყავართ მოშორებული ნაწილებიდან და მისი ფრაგმენტების (დაშლის შემთხვევაში) მნიშვნელოვან გაფანტვამდე.

სტარტის წერტილიდან გარკვეულ მანძილებზე ~2500 კმ-მდე სამსაფეხურიანის გაყვანისას წარმოიქმნება „ლაქა“ 1500-5000 კვ.კმ - ფართობით. თუ ამ დროს გავითვალისწინებთ, რომ დედამიწაზე გამოყენებული 12 კოსმოდრომიდან რეგულარულად უშვებენ ოცამდე სხვადასხვა ტიპის საფეხურიან რაკეტა-მატარებელს 0-200⁰ გაშვების აზიმუტური კუთხის შემთხვევაში, მაშინ დედამიწის ზედაპირზე აღინიშნება მრავალი „მკვდარი ზონა“, რომლის საერთო ფართი მილიონობით კვადრატულ კილომეტრს შეადგენს და ისინი მიღებულია გარემოზე მავნე ზემოქმედების ზონად.

განსაკუთრებით მწვავედ ეს პრობლემა დგას იქ, სადაც რაკეტა-მატარებლის ფრენის ტერიტორია გაივლის ხმელეთზე, რამდენადაც ამ შემთხვევაში დაცემის ზონაში უნდა აიკრძალოს მოსახლეობის სამეურნეო და სხვა სახის საქმიანობა და რითაც არსებითი ზარალი ადგება ბუნებრივ ლანდშაფტს, ფლორასა და ფაუნას. აქ უნდა ვაღიაროთ, რომ გეოგრაფიული თავისებურებების გამო ზოგ ქვეყანაში ეს პრობლემა ერთობ მწვავეა.

როგორია მისი გადაჭრის გზები იმ პირობებში, როცა კოსმოსური ფრენების შეწყვეტა სულ მცირე უჭკუობაა, რამდენადაც კოსმონავტიკა უკვე „ორგანულად შეერწყა“ ჩვენს ცხოვრებას კავშირგაბმულობის, ნავიგაციის, ტელევიზიის, ჰიდრომეტეოროლოგიის, ავარიული და სხვა ეფექტური კოსმოსური სისტემების სახით და შემდგომში უზრუნველყოფს პრაქტიკული განვითარების შესაძლებლობებს.

3. პრობლემების გადაჭრის გზები

უპირველეს ყოვლისა განვიხილავთ ორგანიზაციულ-ტექნიკურ ღონისძიებებს. თუ ავიღებთ ყოფილი საბჭოთა კავშირის დეპეშათა სააგენტოს ცნობებს რაკეტა - მატარებლებისა და თანამგზავრების გაშვების შესახებ: აქ ნაჩვენებია პოლიგონის, რაკეტა-მატარებლის, თანამგზავრის, ორბიტის პარამეტრების მონაცემები დახრილობისა და აზიმუტის ჩათვლით.

რა არის უფრო მომგებიანი - დაცემის დიდი რაიონებისათვის გაწეული მუდმივი ხარჯები თუ მცირე ფართობის რაიონების გამოყენება და განცალკეული ნაწილების იშვიათად დაცემის შემთხვევაში შესაბამისი ზარალის ანაზრაურება სპეციალურად დაარსებული დასაზღვევო ფონდის მიერ. აუცილებელია დეტალური ტექნიკურ-ეკონომიური ანალიზი პრობლემის ამ ასპექტების კუთხით. ასევე საინტერესოა ვარდნის რაიონების ზომები. როგორც წესი, ერთი ტიპის განცალკეების ნაწილები გაშვებიდან გაშვებამდე ეცემიან ერთმანეთის მახლობლად. ამიტომ უნდა ჩატარდეს განცალკეების ნაწილების გაფანტვის სტატისტიკის სპეციალური ანალიზი, შეფასდეს ამა თუ იმ რაიონის გამოყენების პირობები, სადაზღვევო ფონდის შექმნის შესაძლებლობები და სხვა.

შემდგომ, განხილულ უნდა იყოს პრობლემის გადაჭრის სუფთა ტექნიკური გზები. თუ გამოსაყენებელი რაკეტა - მატარებლებისათვის მათი არსებითი სრულყოფის გარეშე გამოყენებული იქნება მხოლოდ ზემოგანხილული საორგანიზაციო ტექნიკური ხერხები

ვარდნის რაიონების შემცირების მწვავე პრობლემების გადაჭრისათვის. მომავალში, ახალი რაკეტა-მატარებლის ხანგრძლივი პერპექტივით გამოყენების მიზნით, ნაპოვნი უნდა იყოს ვარდნის რაიონების რაოდენობისა და ზომების შემცირების მეთოდები და საშუალებები. რაკეტა-მატარებლების ტრადიციული სქემების მიმართ შესაძლებელია კვლევებისა და ტექნიკური სრულყოფის მთელი რიგი მიმართულებები.

პირველი - რაკეტა-მატარებლების ორსაფეხურიან სქემებზე გადასვლა ფრენისას ჩამოყრდინი მოცილებული ნაწილების რაოდენობის მაქსიმალური შემცირებით. მაგალითად, სათავო გარსაცმების სარტყლები შეიძლება დამაგრდეს ქვედა ვადაგასულ საფეხურებზე და სხვა.

მეორე - ვარდნის რაიონების ზომების შემცირება გაშვების ტრასის მიხედვით გაფანტვის შემცირების სპეციალური ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით. ამ რანგში შეიძლება განვიხილოთ: აქტიურ უბანზე მატარებლის მიერ მართვის სისტემის მუშაობის სპეციალური ალგორითმი, რომელიც უზრუნველყოფს განცალკევებული ნაწილის „მოცემულ რაიონში მოხვედრის ფუნქციონალის“ მიხედვით ჩამოვარდნას; უკვე დაბრუნების უბანზე ნამუშევარი საფეხურების სტაბილიზაციის პასიური (აეროდინამიკური) საშუალებები; სპეციალურ საწვავზე მომუშავე განცალკევებული საფეხურების სტაბილიზაციის აქტიური საშუალებები და სხვა.

მესამე სხვადასხვა ტრასებზე გაშვების დროს ნამუშევარი ვადაგასული საფეხურების ვარდნის რაიონების რაოდენობის შემცირება მართვადი დაბრუნების სპეციალური ტექნიკური საშუალებების ხარჯზე, ან მეორე საფეხურის მუშაობის უბანზე სივრცითი მანევრებისას ეს საშუალებები შეიძლება აიგოს აეროდინამიკური ან რეაქტიული მართვით. ამ დროს ხდება მანევრირება არა მარტო ფრენის სიშორით, არამედ, აზიმუტის მიხედვითაც. ამის შედეგად აზიმუტთა რაღაც დიაპაზონში შეიძლება განხორციელდეს ნამუშევარი საფეხურების დაშვება. ანალოგიური ეფექტი მიიღწევა, თუ ფრენის ტრასა პირველი საფეხურის მუშაობის დროს უცვლელია და მასზე აირჩევა ვარდნის რაიონი, ხოლო პირველი საფეხურის განცალკევების დროს ხორციელდება მეორე საფეხურის სივრცული მანევრი მოცემული დახრილობის ორბიტაზე გასაყვანად.

4. ახალი ტექნოლოგიების გამოყენების პერსპექტივა

ჩამოთვლილ ღონისძიებებს შეუძლია უზრუნველყოს ტვირთების ჩამოყრის რაიონების მწვავე პრობლემის დროებითი შესუსტება, მაგრამ მისი კარდინალურად გადაწყვეტის შესაძლებლობა არა აქვს. ამისათვის საჭიროა პრინციპულად ახალი ტექნიკური გადაწყვეტილებები. ორსაფეხურიანი მატარებლის ჩარჩოებში ვარდნის (დაშვების) რაიონების სრული გამორიცხვის აუცილებელ პირობას ფრენის ტრასაზე წარმოადგენს სტარტის ადგილას პირველი საფეხურის დაბრუნება.

დასაბრუნებელი პირველი საფეხური შეიძლება აიგოს როგორც რაკეტული ისე სავიაციო პრინციპზე. საპროექტო კუთხით დამახასიათებელია შემდეგი ვარიანტები: ვერტიკალური სტარტის დასაბრუნებელი რაკეტული ბლოკი, რომელიც განშორების შემდეგ ასრულებს დაბრუნებისა და დაშვების რაკეტოდინამიკურ მანევრებს; ვერტიკალური სტარტის, ფრთოსანი დასაბრუნებელი რაკეტული ხომალდი, რომელიც განშორების შემდეგ ას-

რულებს შემობრუნებისა და უკუფრენის აეროდინამიკურ მანევრს; ჰორიზონტული სტარტის დასაბრუნებელი თვითმფრინავ-ამაჩქარებელი, რომელიც აღჭურვილია სამარშო საკაერო-რეაქციული ძრავით.

განხილული ვარიანტების ტექნიკურ დეტალებში ჩაუღრმავებლად, შევეცადოთ ავირჩიოთ მიზანშეწონილი ტექნიკური კონცენტრაცია, რომელიც საიმედოდ იქნებოდა რეალიზებული ხანმოკლე დროში მისაღები ხარჯებითა და ექსპლუატაციის დროს გარკვეული ეფექტურობის მიღწევით. ცხადია, რომ ახალი მანქანის შექმნაზე გაწეული დანახარჯები და ვადები მით უფრო მაღალია რაც უფრო მეტია ახალი ტექნიკური გადაწყვეტილების რიცხვი და ტექნოლოგიების რაოდენობა. ამ აზრით უბრალო ინჟინრული შეფასება გვიჩვენებს, რომ I და III სქემებს პრაქტიკულად არ გააჩნია რეალიზებული ანალოგები, და აქედან გამომდინარე, მათ პროექტებში უნდა ჩაიდოს ახალი ტექნოლოგიების არსებითი წილი.

სქემა 2-ის მიხედვით ორსაფეხურიანი მატარებლის საფუძვლად მიღებით, თავიდან უნდა აგვეცილებინა გამოყენებული პირველი საფეხურის ვარდნა, ხოლო მეორე საფეხური სასარგებლო ტვირთთან ერთად, გაგვეყვანა ორბიტაზე. ალბათ, ვარდნის ზონების პრობლემა ამით უნდა გადაწყვეტილიყო, მაგრამ ეს მთლად ასე არ არის. უნდა გავერკვეთ, ნუთუ ასეთი „უწყინარია“ მეორე საფეხურის დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტაზე გადაყვანა. ერთი მხრივ, რაკეტა - მატარებლის გამოყენებული ზედა საფეხურებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს კოსმოსური ნაგავის პრობლემაში და მეორეს მხრივ, ისინი სავსებით არ წყვეტენ არსებობას ატმოსფეროს მკვრივ ფენებში შესვლისას, კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტები ბოლომდე არ იწვიან და პრაქტიკულად არაპროგნოზირებად წერტილებში ეცემიან დედამიწის ზედაპირზე. მაგრამ, აქაც ყველაფერი არაა დაკარგული. არსებობს პეობლემის გადაჭრის დროითი და კარდინალური მეთოდები. დროითი ხერხი უკვე რეალიზებული იყო სატრანსპორტო სისტემებზე „სპეის შატლი“, „ენერჯია“ და „ბურანი“. ამ მატარებლების ორბიტაზე გამყვანი ტრაექტორიები ისეთნაირად იყო აგებული, რომ საკიდი სათბობი რეზერვუარი („სპეის შატლი) და რაკეტული ბლოკი („ენერჯია“ – „ბურანი“) მეორე საფეხურებისათვის მუშაობას წყვეტენ თანამგზავრის ორბიტაზე გადაყვანამდე და ორბიტულ ხომალდებს ცილდებიან მოძრაობის ისეთი კინემატიკური პარამეტრების დროს, საბოლოოდ, გაშვების ნებისმიერი აზიმუტისას ეშვებიან სტარტის ანტიპოდურ წერტილებში, რომლებიც ძირითადად განლაგებული არიან მსოფლიო ოკეანის აკვატორიაში. სამუშაო ორბიტებზე გაყვანა უზრუნველყოფილია ორბიტული ხომალდის (ობ) საბორტო ძრავების მეშვეობით. თუ კი ორბიტული ხომალდი არ შედის მატარებლის შემადგენლობაში, მაშინ გათვალისწინებულია სპეციალური სარაკეტო ბლოკების ან კიდევ კოსმოსური აპარატის გამყვანი საკუთარი ძრავული დანადგარის გამოყენება.

განხილული მეთოდი ყველგან გამოყენების შემთხვევაში უზრუნველყოფს რაკეტა--მატარებლების მეორადი (უკანასკნელი) საფეხურების ჩამოვარდნის ზონების მინიმალურ რიცხვსა და ფიქსირებულ კოორდინატებს, რაც ამ საფეხურებს გამორიცხავს კოსმოსური ნაგავისაგან და წყვეტს დედამიწაზე რაკეტა-მატარებლების კონსტრუქციის ელემენტების ვარდნის არაპროგნოზირებულ პრობლემას [9,10].

რაკეტა - მატარებლის მეორე საფეხურის უტილიზაციის პრობლემის სრული გადაჭრა შესაძლებელია, ისე როგორც პირველი საფეხურის შემთხვევაში, მისი ორბიტიდან დედამიწაზე დაბრუნების გზით. კონსტრუქციულად, ასეთი საფეხური შეიძლება გამოიყურებოდეს როგორც „სპეის შატლის“ სისტემის ორბიტული ხომალდი, რომელიც მოიცავს არა მარტო სამარშო ძრავულ მოწყობილობას, არამედ მეორე საფეხურის საწვავიან რეზერვუარს. ორსაფეხურიანი რაკეტული მატარებლის ტიპიურ მაგალითს, ვარდნის ელემენტების კონსტრუქციის გარეშე, წარმოადგენს პროექტი „შატლ-2“. საბოლოოდ, შესაძლებელია განცალკევებული ელემენტების კონსტრუქციის პრობლემის გადაჭრა სრულიად დასაბრუნებელი ერთსაფეხურიანი მატარებლის შექმნის გზით [9].

მაგრამ დაბრუნებადი მეორე (ორბიტული) საფეხურიანი ეფექტური მატარებლის შექმნა გაცილებით ძნელია თვით რაკეტა-მატარებლის კონსტრუქციასთან შედარებით, რომელიც იყენებს მხოლოდ პირველ დაბრუნებად საფეხურს. ძირითადად ეს იმით აიხსნება, რომ ორბიტული საფეხურის ნებისმიერი დამძიმება მოითხოვს სასარგებლო ტვირთის შემცირებას, ხოლო დაბრუნებადი ორბიტული საფეხურის დამძიმების ფაქტორები ერთსაფეხურიანთან შედარებით საკმარისად ბევრია: საჭიროა ორბიტიდან „ჩამოსვლის“ უზრუნველყოფა; ზუსტი დაჯდომის სანავიგაციო ამოცანის გადაჭრა; გაშვების და დაჯდომის დროს მართვადი მოძრაობის უზრუნველყოფა; აეროდინამიკური გადახურებისაგან კონსტრუქციის თბური დაცვა; დაშვების ტექნიკური საშუალებების უზრუნველყოფა და სხვა [10]. ყველაფერი ეს იწვევს „მშრალი“ მასის გაზრდას. დამძიმებული დასაბრუნებელი საფეხურის გამართვის მოცულობის გაზრდის გათვალისწინებით ეკვივალენტური ენერგეტიკული შესაძლებლობების მისაღწევად უნდა მოხდეს მთელი სისტემის მასისა და ზომების შემდგომი ზრდა.

ზემოხსენებულიდან გამომდინარეობს ფუნდამენტური დასკვნა ეფექტური დაბრუნებადი მატარებლების შექმნის შესაძლებლობის შესახებ. ამ მიმართულებით აღსანიშნავია ამერიკის შეერთებულ შტატებში და ჩინეთში მიმდინარე სამუშაოები ერთსაფეხურიანი აეროკოსმოსური საფრენოსნო აპარატების შექმნის შესახებ. მათ მომავალ პროექტებში გათვალისწინებული უნდა იყოს პრინციპულად ახალი კომბინირებული ძრავებიანი სისტემა, რომელიც შეიცავს ჰიპერბერით კონტურს ზებერითი წვით; ახალ კონსტრუქციულ მასალებს - ტიტანის ალუმინიდებს, ლითონის მატრიცებიან კომპოზიტებს და სხვა; აქტიურად გაციებად კონსტრუქციებს და სხვა სახის სუპერტექნოლოგიებს.

ამაშია ტექნიკური პროგრესის მთელი არსი, რომელიც მართალია წარმოშობს კოსმოსურ სივრცეზე მავნე ზემოქმედების წყაროებს, მაგრამ ამასთან გამოიმუშავებს ასეთი გავლენის ლიკვიდაციის გზებსა და საშუალებებს.

ლიტერატურა

1. ადეიშვილი თ. გეოფიზიკა ტ. 2, პირველი ნაწილი, ქუთაისი 2018
2. ადეიშვილი თ. გეოფიზიკა, ტ. 2, მეორე ნაწილი, ქუთაისი, 2018
3. ადეიშვილი თ., ჯიქია მ., ადეიშვილი მ. მედიცინის საბუნებისმეტყველო საფუძვლები, ტ. 111, ქუთაისი, 2016