

სატრანსპორტო ნაკადების ელემენტების რადიოლოკაციური გამოცნობის სისტემების მათემატიკური ამოცანების გამოკვლევა

ი. აბულაძე², ვ. წვერავა¹

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, მ. კოსტავას ქ. № 77, 0175

²საქართველოს საავტომობილო-საგზაო კოლეჯი, დ. სარაჯიშვილის გამზ. № 17, 0153

ანოტაცია

ნაშრომში განხილული და გაანალიზებულია, როგორც სატრანსპორტო ნაკადების ელემენტების ზემოდალ სიხშირეთა ასახვისა და ფორმირების სრულყოფის პროცესთა მათემატიკური მეთოდები და მოდელები, ასევე ინფორმაციის მიღების მოდელი, რომელიც უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს სახეთა გამოცნობის ამოცანათა ერთიან სისტემაში.

საკვანძო სიტყვები: სატრანსპორტო ნაკადები, ზემოდალი სიხშირეები, რადიოლოკაციური გამოცნობა, ტალღა, მათემატიკური ამოცანა.

შრომებში [1, 2, 3, 12] ნაჩვენებია, რომ ზემოდალ სიხშირეთა ოპტიკის მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია მიღებულ იქნას დაყოფილი ცალკეული ნიშნების, მაგალითად, თვითმფრინავების და ამასთანავე, სხვა ობიექტების რადიოლოკაციური გამოსახულებანი.

რადიოლოკაციური გამოსახულების მიღების მიზნით გამოიყენება ტომოგრაფიის მეთოდები. აღნიშნულ ნაშრომში ასევე გაანალიზებულია ის კონცეპტუალური საკითხი, რომ ბორნთან მიახლოებისას ობიექტის $\gamma(\vec{r})$ განზნევის ფუნქციის ფურცელს $\vartheta(\vec{P})$ გამოსახულება შესაძლოა მიღებულ იქნას ობიექტის აზიმუტურ-სიხშირული ან პოლარიზაციულ-სიხშირული ზონდირების პროცესის განხორციელების გზით. $\vartheta(\vec{P})$ -ის მიხედვით $\gamma(\vec{r})$ -ის აღსადგენად გამოიყენება რადონის თეორემა. აქვე უნდა აღინიშნოს იმ გარემოების შესახებაც, რომ მრავალმხრივი ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადასტურებულია, რომ ზემოდალსიხშირული გამოსახულების ე.წ. „ამოხსნადმა“ უნარმა შესაძლოა ერთ სანტიმეტრს მიაღწიოს. ამასთანავე, ხაზი უნდა გაესვას იმ მნიშვნელოვან გარემოებასაც, რომ $\vartheta(\vec{P})$ -ის გაზომვათა პროცესში გარდაუვალია თანმხლები ფაზური დამახინჯებანი, რომლებიც თავის მხრივ განპირობებულია ტალღის გავრცელებით. ამასთან, აქვე გასათვალისწინებელია ადგილობრივი საგნების (ობიექტების) გავლენაც, რომელთაც თავის მხრივ განაპირობებს რადიოლოკაციური ანტენის გვერდითი ფურცლოვანი ნაწილების არსებობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ სანტიმეტრიანი დიაპაზონის ტალღების გავრცელებაზე არსებით ზეგავლენას ახდენს ატმოსფერული ნალექების ნაწილაკები, კერძოდ კი წვიმის, სეტყვის და თოვლის სახით. ამასთან, რადიოლოკაციური საშუალებებით ობიექტების აღმოჩენის შესაძლებლობა მნიშვნელოვანწილად განპირობებულია რადიოტალღების გავრცელების პირობებით, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულია შემდეგ ძირითად ფაქტორებზე, კერძოდ კი [10]:

1. ატმოსფეროში რადიოტალღების ენერჯის (სიგნალის მიღების მანძილი) შესუსტებაზე;
2. დედამიწის ზედაპირიდან რადიოტალღების არეკვლაზე;
3. დედამიწის ზედაპირის სიმრუდეზე და ატმოსფერულ რეფრაქციაზე.

ი.პიტევის მიერ ჩამოყალიბებული და დანერგილი ზეგადაწყვეტის მათემატიკური ანალიზის მეთოდები და შესაბამისი მოდელები საშუალებას იძლევა არსებითად შემცირდეს ზემოხსენებულ ფაქტორთა ნეგატიური ზეგავლენა [4]. განვიხილოთ, მაგალითად, შრომებში [5, 6, 7] ჩამოყალიბებული ნაწილაკებისა და მოლეკულების განვრცობის გზაზე მათი განვრცობის არის შემცირების შეფასების ამოცანა.

ერთჯერად და არაკოგერენტულ განზნევისას მიახლოებისას არეკვლილი $\xi(\lambda)$ სიმძლავრის სპექტრული განაწილება ფრედჰოლმის პირველი რიგის შემდეგი განტოლებით ზომების მიხედვით დაკავშირებულია ნაწილაკების $f(r)$ ფუნქციასთან [5, 7].

$$\xi(\lambda) = \text{const} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} K(\lambda, r) f(r) dr, \quad (1)$$

სადაც $K(\lambda, r)$ არის r რადიუსის მქონე ბურთულაზე λ სიგრძის ტალღის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღის განზნევის კვითი. მაგალითისათვის საჭიროა ექსპერიმენტულად მიღებულ იქნას შემდეგი ფუნქციონალი

$$\theta(\lambda) = 0,43 \int \delta_{\text{ფეფ}}(\lambda, r) f(r) dr,$$

სადაც $\delta_{\text{ფეფ}}(\lambda, r)$ არის განზნევის კვითი; const -სადგურის პარამეტრების სამოდელირებელი მუდმივა.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ტალღის ფაზურ დამახინჯებათა ფუნქციონალის შემფასებელი პარამეტრების მიღების ამოცანაც ანალოგიურია.

ოპერატორული სახით 1-ელი განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს, როგორც:

$$\xi = Kf + v, \quad (2)$$

სადაც v - არის ადიტიური შიშინი.

ამასთან, საჭიროა შედგენილ იქნეს იქნას R ოპერატორი, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელი იქნებოდა ზემოქმედების მოხდენა ξ -ზე, ამ შემთხვევაში სავსებით დასაშვებია იქნებოდა შეგვეფასებინა Af , ანუ $R\xi \approx Af$ სადაც A ოპერატორის სახე განისაზღვრება ამოცანის ფიზიკური მნიშვნელობით.

ჩვენს მიერ გასაანალიზებელ შემთხვევაში ეს გახლავთ ტალღების განვრცობის არის შემცირების მატრიცა. ამ შემთხვევაში არეკვლილი $\xi(\lambda)$ სიმძლავრის შესწავლა $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ ინტერვალში საშუალებას იძლევა $[v_{\min}, v_{\max}]$ ინტერვალში მიღებულ იქნას $f(r)$ ზომის მქონე ნაწილაკების განზნევისა და მისი ფუნქციონალის შემფასებელი პარამეტრები.

R ოპერატორის შესადგენად გამოყენებულ უნდა იქნეს ი. პიტევის მიერ შემუშავებული რედუქციის მეთოდი. რედუქციის ოპერატორის ფორმულას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$R(\omega) = A(K^+ \delta K + \omega I)^{-1} K^+ \delta, \quad (3)$$

სადაც K^+ არის დაკავშირების K ოპერატორი; δ - v შემთხვევითი ვექტორით წარმოშობილი კორელაციური ოპერატორი.

განვსაზღვროთ შემდეგი ფუნქციები:

$$\begin{aligned} h(R) &= E\|Rv\|^2, \\ g(R, A) &= \|RK - A\|^2. \end{aligned} \quad (4)$$

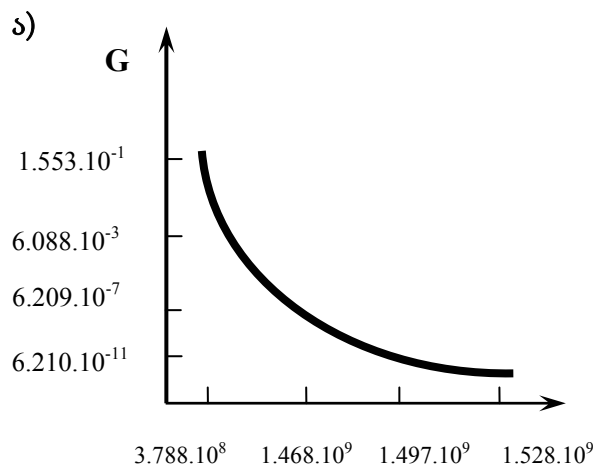
ამ შემთხვევაში g -დან h -ის დამოკიდებულებას ეწოდება ოპერატიული მახასიათებელი.

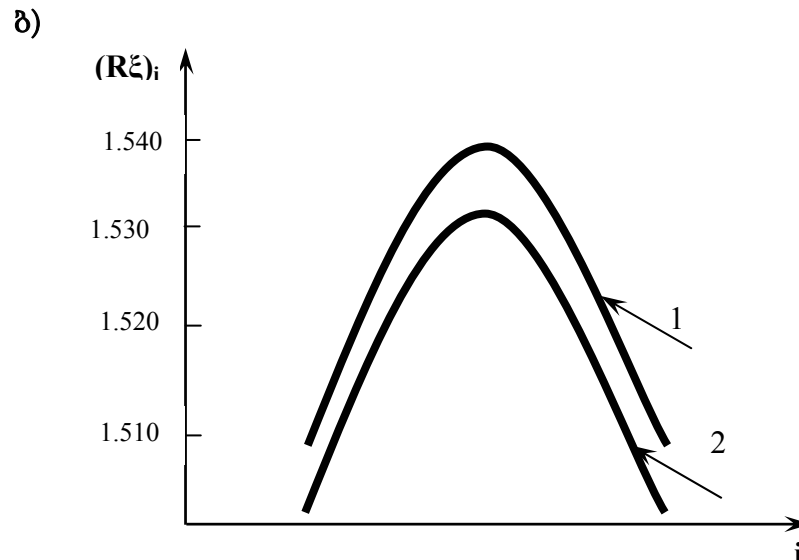
პირველ ნახაზე წარმოდგენილია ნაწილაკების განვრცობის სისწრაფის შემცირების აღდგენის ცნობილი რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები. რიცხვითი ექსპერიმენტის განხორციელებისას შედეგებად მიიღებოდა შემდეგი საწყისი მონაცემი: ტალღის სიგრძე λ ექსპერიმენტის დროს იღებდა ცხრა მნიშვნელობას 0, 006 მ-ის ტოლი საწყისიდან ბიჯით $h_\lambda = 0,0004$ მ. ამასთან, არეკვლილი ნაწილაკების რადიუსები იცვლებოდა $r_1 = 0,00001$ მ-ის ტოლი საწყისიდან 0,0035 მ-ის ტოლ ბოლო ნაწილაკამდე.

ამასთან ერთად, სივრცითი გადამწყვეტი უნარის ამოცანაში დასაშვებია რედუქციის მეთოდების გამოყენება მანძილის, კუთხური ცვლადებისა და გვერდითი ფურცლების ზემოქმედებისაგან განთავისუფლებით. შრომებში [4, 7] წარმოდგენილია დასმული პრობლემის ეფექტიანად გადაჭრის უნარის გაზრდის რიცხვითი ექსპერიმენტის ამოცანების შედეგები.

ნაშრომში [1] აგრეთვე ნაჩვენებია, რომ აზიმუტურ-სპექტრული ან პოლარიზაციულ-სპექტრული მახასიათებლების ექსპერიმენტული გაზომვების წარმოებისას თუკი იმავდროულად ფურიეს $\vartheta(\vec{P})$ სახის $\gamma(\vec{r})$ განზნევის ფუნქციისკენ გადასვლისას გამოყენებულია რადონის თეორემა, სავსებით შესაძლებელია რადიოდიაპაზონში აგებულ იქნას ობიექტების გამოსახულებები. განზნევის $\gamma(\vec{r})$ ფუნქცია ბორნთან მიახლოების ხარისხში თავის მხრივ წარმოქმნის განზნევის ცენტრების სასრულ რიცხვს.

კლასიკურ ნაშრომში [8] შესწავლილია კავშირი მიუღერის M მატრიცასა და განზნევას დაქვემდებარებულ ობიექტთა ფაზურ ცენტრებს შორის. აქედან გამომდინარე ასარეკვლი ობიექტების პოლარიზაციული მახასიათებლების მიხედვით სავსებით შესაძლებელია *სატრანსპორტო ნაკადების ელემენტების გამოცნობა*.





ნახ.1 ტალღების გავრცელების არის შესუსტების (მილევის მანძილის) აღდგენის რიცხვითი ექსპერიმენტების შედეგები:

ა) შესუსტების მატრიცისათვის რედუქციის ამოცანის ოპერატიული მახასიათებელი;

ბ) შესუსტების შემფასებელი პარამეტრების შედეგების მიღება - ჭეშმარიტი მნიშვნელობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ცალსახა დამოკიდებულება ამრეკვლების ფორმასა და მიუღერის M მატრიცას შორის შესწავლილია კლასიკურ ნაშრომში [8]. აღნიშნული თეორემა საშუალებას იძლევა მიუღერის M მატრიცის სტრუქტურის მიხედვით გამოცნობილ იქნას ასარეკვლი ობიექტები. ამ შემთხვევაში M მატრიცა წარმოადგენს მეოთხე რიგის სიმეტრიულ მატრიცას.

ექსპერიმენტულად მიუღერის M მატრიცის საპოვნელად საჭიროა ამოხსნილ იქნას შემდეგი შებრუნებული ამოცანა [7]:

$$P(\vec{S}(\varphi_i), \vec{S}(\varphi_j)) = [M\vec{S}(\varphi_i), \vec{S}(\varphi_j)]. \quad (5)$$

სადაც $\vec{S}(\varphi_i)$ არის სტოქსის ზონდირებული ტალღის ვექტორი;

$\vec{S}(\varphi_j)$ – სტოქსის მიმღები სადგურის ვექტორი.

მე-(7) განტოლებიდან M -ის საპოვნელად გამოყენებულ უნდა იქნეს არაკორექტულ ამოცანათა თეორია. აღნიშნული ამოცანა შესწავლილია შრომებში [5, 9].

თუკი რადიოლოკაციურ ერთიან გამოცნობად მოცულობაში იმყოფება N ობიექტები, მაშინ კავშირი $P(\vec{S}(\varphi_i), \vec{S}(\varphi_z))$ დაფიქსირებულ სიმძლავრესა და მიუღერის მატრიცას შორის აღიწერება განტოლებით:

$$P(\vec{S}(\varphi_i), \vec{S}(\varphi_z)) = \sum_{i=1}^n n_i [M_i \vec{S}(\varphi_i), \vec{S}(\varphi_z)], \quad (6)$$

სადაც $\vec{S}(\varphi_i)$ არის სტოქსის ზონდირებული სადგურის ვექტორი;

$\vec{S}(\varphi_z)$ – სტოქსის მიმღები სადგურის ვექტორი;

M_j – j -ური კლასის ობიექტის მიუღერის მატრიცა.

ერთი ობიექტიდან არეკვლილი სიმძლავრის გამოსათვლელი განტოლება აღებულია ჰიუნენის ნაშრომიდან [8].

აქვე ხაზი უნდა გაესვას იმ მნიშვნელოვან გარემოებას, რომ სატრანსპორტო ნაკადების ელემენტების პარამეტრების შეფასების ამოცანისათვის მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს მე-(6) განტოლებიდან აღებული მონაცემები და შესაბამისად გადაწყდეს ობიექტების გამოცნობის ამოცანები.

ზემოხსენებულიდან გამომდინარე მე-(6) განტოლება სამართლიანი იქნება ტალღის ნებისმიერი სიგრძისათვის, რის, ანუ ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში, ტალღების სიგრძეთა აუცილებელი რიცხვის დასადგენად საჭირო იქნება ექსპერიმენტების სერიის განხორციელება, რაც შესაბამისად განსაზღვრულ უნდა იქნეს დასმული ამოცანით.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ შრომებში [10, 11] ექსპერიმენტულად დადასტურებულია, რომ რადიოლოკატორის მიერ გამოსხივებული და მიღებული რადიოტალღების ელექტრომაგნიტური ენერგია ნაწილობრივ შთაინთქმება და განიბნევა ატმოსფერული ჟანგბადის მოლეკულებისა და წყლის ორთქლის, ამავედროულად ატმოსფერული ნალექებისა და მტვრის ნაწილაკების, და, ამასთანავე, ატმოსფეროს არაერთგვაროვნების სხვადასხვაგვარი მიზეზებით.

ცნობილია რადიოლოკაციური სისტემის ტალღის სიგრძისაგან ატმოსფეროში ჟანგბადის, წყლის ორთქლისა და ნალექების მოლეკულებით გამოწვეული რადიოტალღების შესუსტების დამოკიდებულება. რადიოტალღების ენერგიის შემცირება ხასიათდება მილევის δ კოეფიციენტით, რომელიც გვიჩვენებს ერთი მიმართულებით რადიოტალღების გავრცელების კუთრ მილევას [11].

ამასთანავე რადიოტალღის მილევის მკვეთრი ზრდა შეინიშნება ჟანგბადისათვის 0,25 და 0,5 სმ, ხოლო წყლის ორთქლისათვის შესაბამისად 0,18 და 1,35 სმ სიგრძის მქონე ტალღების სიახლოვეს, რაც აიხსნება შესაბამის სიხშირეთა სიახლოვეს ენერგიის რეზონანსული შთანთქმით [11].

ატმოსფერული ნალექების მიერ რადიოტალღების ენერგიის შემცირება დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე, ტემპერატურაზე, ტენიანობასა და ჰაერის ატმოსფერულ წნევაზე, აგრეთვე ნაწილაკების პარამეტრებზე, რომლებიც შთანთქმავს და განაბნევის ელექტრომაგნიტურ ენერგიას. მცირე ზომების ნაწილაკების (მაგალითად ნისლი) დროს ძირითადად ადგილი აქვს ენერგიის შთანთქმას, ხოლო მსხვილი ნაწილაკების დროს კი-განბნევას. თოვლი და სეტყვა კი ტალღის გავრცელებაზე გაცილებით უფრო მცირე და ნაკლებად მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ვიდრე ამავე ინტენსიურობის წვიმა და აქედან გამომდინარე როგორც წესი მხედველობაში არ მიიღება.

ამასთან 0-დან 40°C-მდე (საქართველოში წელიწადის დროთა სეზონურობის მიხედვით ძალზე ხშირად ვხვდებით ასეთ ტემპერატურათა დიაპაზონს) ტემპერატურის ზრდისას რადიოტალღების მილევა მცირდება სამჯერ და უფრო მეტად. აქ ჟანგბადის მოლეკულების მიერ ენერგიის შთანთქმა გარემომცველი წნევის კვადრატის პროპორციულია, ხოლო წყლის ორთქლის შემთხვევაში კი-სინოტივის პროპორციული. ვინაიდან 10 სმ-ზე მეტი სიგრძის მქონე რადიოტალღების ენერგიის შემცირება და ამავედროულად შესუსტებაც სავსებით უმნიშვნელოა, ამ შემთხვევაში იგი მეტრული და დეციმეტრული დიაპაზონის მქონე რადიოლოკაციური სისტემებისათვის შეიძლება არც იქნას გათვალისწინებული.

ვმსჯელობთ რა δ [დბ/კმ] რადიოტალღების ენერგიის შემცირებაზე მათი l სიგრძის მქონე (პირდაპირი და უკუ მიმართულებით) ატმოსფეროს უბნის გავლაზე, შეიძლება ჩავწეროთ

$$10 \lg (E_s/E_{s0}) = 2/\delta_a \quad (7)$$

სადაც, E_s/E_{s0} -არის შესაბამისად, მიმღებების შესასვლელელებზე სიგნალის ენერგია შემცირებითა და შემცირების გარეშე.

მე-(7) განტოლების გარდაქმნით კი მივიღებთ

$$E_{s0} = E_s e^{-0,46\delta_a l} \quad (8)$$

ანუ, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ატმოსფეროში რადიოტალღების ენერგიის შემცირება (მიღევა) ატარებს ექსპონენციალურ ხასიათს.

ამგვარად, ცალკეული შემთხვევებისათვის სატრანსპორტო ნაკადების ელემენტების რადიოლოკაციური გამოცნობის სისტემის არსებული მათემატიკური ამოცანების პრაქტიკული რეალიზაცია გაცილებით უფრო ეფექტურს გახდის მთელ სატრანსპორტო სისტემას, და კერძოდ, სატრანსპორტო ნაკადების მართვას, რაც სამომავლოდ ქვეყნის მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების, და, ამასთანავე ეკონომიკური ეფექტურობის მაჩვენებელთა მკვეთრად ამაღლების მნიშვნელოვანი საწინდარი გახდება.

ლიტერატურა

1. Фархат Н. Х. Формирование радиолокационных изображений методом разнесения в диапазоне СВЧ и автоматизированная идентификация целей, основанная на использование моделей нейронных сетей. М., ТИИЭРБ 1989. Т.77.
2. К. Фу. Структурные методы в распознавании образов. Изд-во Мир, М., 1977
3. А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. Построение систем распознавания. М., Советское радио, 1974.
4. Задача увеличения разрешающей способности метеорологического радиолокатора. Труды международной конференции. Новочеркасск, 2000.
5. Пытьев Ю. П. И др. Метод учета ослабления в эксперименте по многочастотному радиолокационному зондированию облаков Труды всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований М., 1983.
6. Пытьев Ю. П. Методы анализа и интерпретации эксперимента. М., Изд-во МГУ, 1990.
7. Толмачев В. В., Пытьев Ю. П. О возможности использования поляризационной модуляции для увеличения информативности метеорадиолокатора. Труды ВШ. М., 1989, вып.72.
8. Huynen J. R. Phenomenological theory of radar targets. Technical university delft. The Netherlands, 1970
9. Толмачев В. В. Задача оценки матрицы Мюллера по данным зондирования радиолокатора с использованием поляризационной модуляции. Труды международной конференции. Новочеркасск, 2000.
10. В. А. Абчук, В. Г. Суздаль. Поиск объектов. М., Советское радио, 1974.
11. Радиолокационные устройства. Под ред. Григорина-Рябова В. А. М., Советское радио, 1970.
12. А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. Методы распознавания. М., Высшая школа, 1989.