

მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიის შედეგად მდინარის ესტუარიუმში შესაძლო ეკოლოგიური სტრესების პროგნოზირება

დ.ნამგალაძე, ი.ლომინაძე, ლ.შატაპიშვილი

განხილულია მაგისტრალურ ნავთობსადენებზე ავარიის შედეგად მდინარის ესტუარებში შესაძლო ეკოლოგიური სტრესების პროგნოზირების საკითხები, კერძოდ ესტუარში ჩაღვრილი ნავთობის ჭავლის ტრაექტორიის განსაზღვრა. ესტუარში, რომელიც წარმოადგენს მდინარის ერთტოტიან, ზღვის მიმართულებით გაფართოვებად შესართავს, ჩაღვრილი ნავთობის ჭავლის ტრაექტორიის განსაზღვრის პირველ ეტაპზე გამოყენებულია მდინარეში სიჩქარის განაწილების წრფივი იდეალიზაცია. ამ შემთხვევაში ჭავლის ტრაექტორიის რთული ფორმა გააჩნია, იგი ჯერ ჩადის ქვევით, ხოლო შემდეგ, როდესაც აღწევს წერტილს, სადაც ნაკადი იცვლის მიმართულებას, იცვლება ჭავლის სიძრუდის რადიუსი. ჭავლი აკეთებს მარჯვენა და მხოლოდ ამის შემდეგ ამოღის ნაკადის ზედაპირზე. მათემატიკური პროგრამა “აპლე 95” არ იძლევა ცხად მათემატიკურ ამონახსნს, რადგანაც ჭავლის მარჯვენა არსებობა ქმნის გარკვეულ განუზღვრელობებს. ამ სირთულის თავიდან ასაცილებლად დაიწერება მათემატიკური პროგრამა “აპლე 95”-ის მოდიფიცირებული ქვეპროგრამა, რომლის თანახმად ჭავლის კოორდინატების გაანგარიშება წარმოებს უბნების მიხედვით. კერძოდ, პროგრამა წყვეტს ანგარიშს და იწყებს ზედახალ გაანგარიშებას, როგორც კი ჭავლის ტრაექტორია იცვლის მიმართულებას. განსხვავება მიღებულ შედეგებსა და ნატურულ მონაცემებს შორის არ აღემატება 15-20%-ს. ამრიგად, ცხადია, რომ წინასწარი საინჟინრო შეფასებისათვის, შემოთავაზებული მეთოდი სავსებით მისაღებია.

საკვანძო სიტყვები: მაგისტრალური ნავთობსადენები, ესტუარი, სისტემური მიდგომა, ნაკადის ტურბულენტობა.

როგორც ცნობილია, ნავთობი წარმოადგენს ბლანტ ზეთისებრ სითხეს, რომელსაც გააჩნია ბუქი ყავისფერი ფერი და სუსტი ფლუორესცენცია. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები არიან მსოფლიო ოკეანის ყველაზე გავრცელებული დამაბინძურებელი ნივთიერებები. წინა საუკუნის 80-იან წლებში ოკეანეში ჩაიდვებოდა ნავთობის მსოფლიო მოპოვების 10,23%. ყველაზე დიდი რაოდენობის ნავთობის დაღვრა დაკავშირებულია მის ტრანსპორტირებასთან მოპოვების რეგიონიდან.

ესტუარი (ლათინური *uestuarium* – მდინარის შეტბორილი შესართავი) – წარმოადგენს მდინარის ერთტოტიან შესართავს, რომელიც ფართოვდება ზღვის მიმართულებით. ესტუარის წარმოქმნა ხდება მაშინ, როდესაც მდინარის მიერ ჩამოტანილი ნატანი წარიტაცება ზღვის დინებით ან მოქცევით, ხოლო შესართავის მიმდებარე ზღვის ნაწილს გააჩნია დიდი სიღრმეები. ამ შემთხვევაში ნატანის დაღეჟვა არ ხდება მათი ზღვაში დიდ მანძილზე გატანის შემთხვევაშიც კი. დიდი მდინარეების შესართავებში, მოქცევითი დინების სიჩქარე იკრებება მდინარის ნაკადის სიჩქარესთან. ამიტომ მოქცევისას იქმნება მძლავრი დინება მდინარიდან ზღვაში. ნატანი გაიტანება მდინარის შესართავის ფარგლებს გარეთ და მოქცევებისას ექვემდებარება მძლავრ წარეცხვას. ევროპის ყველაზე დიდ ესტუარს (ჟირონდას) გააჩნია 75 კმ სიგრძე. ჟირონდა (საფრანგეთი) წარმოადგენს მდინარეების გარონას და ღორდონის ერთობლივ შესართავს, რომელიც უერთდება ბისკაის ყურეს. მისი უმცირესი სიღრმე ფარვატერზე 8 მ-ია. ტიპური შესართავები ესტუარების სახით გააჩნია ისეთ მდინარეებს, როგორიცაა: ენისეი და ამური (რუსეთი), ტემზა (დიდი ბრიტანეთი), სენა (საფრანგეთი), იანბი (ჩინეთი). ესტუარის საწინააღმდეგო ტიპს წარმოადგენს დელტა – შესართავი, რომელიც დაშლილია რამდენიმე ნაკადად. კლასიკური დელტები გააჩნიათ ისეთ მდინარეებს, როგორიცაა: ნილოსი, ამაზონი, ვოლგა. ესტუარების ფორმირებისათვის აუცილებელია, რომ ზღვის უკუქცევის სიჩქარე ჭარბობდეს მოქცევითს და, ამასთანავე, უნდა

არსებობდეს შესართავში ნატანის დეფიციტი. ამის ნათელი მაგალითია ჩინეთის ორი დიდი მდინარის – იანძისა და ხუანხეს შეღარება. მათი თხევადი ჩამონადენები შესაბამისად 126 და 690 კმ³-ია წელიწადში, ხოლო მყარი – 1887 და 501 მლნ. ტ. ამიტომ იანძის შესართავში წარმოიქმნება დისპროპორცია მყარ და თხევად ჩამონადენებს შორის და ფორმირდება ესტუარი, ხოლო ხუანხეს შესართავში დაიშორება ნატანის სიჭარბე, რომელიც ფორმირდება დელტით.

ესტუარში მტკნარი და ზღვის წყლების ურთიერთქმედებისას, მოქცევის როლის შესაფასებლად, მოკლედ განვიხილოთ ესტუარული ცირკულაციის სხვადასხვა ტიპი და ფაქტორი, რომლებიც ყველაზე მნიშვნელოვანია მის ფორმირებაში. ჰიდროდინამიკის თვალსაზრისით, ესტუარების კლასიფიკაცია, რომელიც განსაზღვრავს ესტუარულ ცირკულაციას და ახდენს მოქმედი ძალებისა და პროცესების დიდი ნაწილის იდენტიფიკაციას, შეიცავს უამრავ პარამეტრს, რომელთაგან უმრავლესი – უცნობია. გამოყენებითი თვალსაზრისით, უფრო მარტივია ესტუარების ემპირიული კლასიფიკაცია, რომელიც ემყარება მხოლოდ ერთ, R/V უგანზომილებო პარამეტრს, სადაც R და V შესაბამისად არის მტკნარი წყლის და მოქცევის დროს ესტუარში შემავალი ზღვის წყლის მოცულობები [1,2].

R/V შეფარდების სიდიდის მიხედვით, ყველა ესტუარი შესაძლებელია დაიყოს ოთხ ტიპად (ცხრ. 1). თუ მოქცევის მოცულობა V მცირეა მტკნარი წყლის მოცულობასთან შედარებით, ე.ი. $R/V > 1$, მაშინ მტკნარი წყალი იცურავს უფრო მკვერივი მარილიანი წყლის ზედაპირზე მნიშვნელოვანი შერევის გარეშე და ფორმირდება ესტუარი მარილიანი სოლით. იგი შედგება წყლის ორი ფენისაგან: მტკნარი ზედაპირზე და მარილიანი ქვედა ფენაში. წყლის მარილიანობა დაახლოებით ერთნაირია ესტუარის მთელი სიგრძის გასწვრივ. გაცვლა ფენებს შორის შემოსაზღვრულია ფენებს შორის ფრონტალური ზონით, რომელშიც მთავარ როლს ასრულებს ტურბულენტობის ინტენსივობა. თუ მოქცევის მოცულობა ტოლია ან მეტი მდინარის ჩამონადენზე, მაშინ შეფარდება $R/V \equiv 0,1 - 1,0$ და ესტუარი გარდაიქმნება ძლიერად სტრატეფიცირებულ ან ნაწილობრივ შერეულ ესტუარად. ძლიერი მოქცევითი დინების ზედა ფენაში მტკნარი წყლის მოძრაობა ქმნის წანაცვლებას გამყოფ ზედაპირზე, რაც ალაგზნებს არასტაბილურობას, პერიოდულად წარმოქმნილი და ნგრევადი შიდა ტალღების სახით. ნგრევადი ტალღების ქიმები ცილდებიან გამყოფ ზედაპირს და გადააქვთ მარილიანი წყალი ზევით, წატაცების სახით. როდესაც $R/V \equiv 0,005 - 0,1$, მაშინ ესტუარი გადაიქცევა სუსტად სტრატეფიცირებულ ესტუარად, რომელსაც ხშირად უწოდებენ ნაწილობრივ შერეულ ესტუარს. მოქცევითი დინება ამ დროს იმდენად ძლიერია, რომ წყლის მთლიანი მასის მოძრაობა ხდება ტურბულენტური. ამის შედეგად, ზედა და ქვედა ფენებს შორის ხდება მასისა და მარილის ცვლა, ორივე მიმართულებით. როდესაც მოქცევითი მოცულობა იზრდება და შეფარდება $R/V < 0,005$, მაშინ ტურბულენტური შერევა იმდენად ინტენსიური ხდება, რომ ქრება განსხვავება ზედა და ქვედა ფენების მარილიანობას შორის და ესტუარი გარდაიქმნება ვერტიკალურად შერეულ ესტუარად [2].

ცხრილი 1

ტიპი	R/V	ცირკულაცია	სტრატეფიკაცია
1	≥ 1	სუსტი	მარილიანი სოლი
2	$0,1 - 1,0$	ნაწილობრივ შერეული ესტუარი, წატაცებით წყლის ფსკერული ზედაპირულში	ძლიერი
3	$0,005 - 0,1$	ნაწილობრივ შერეული ესტუარი	სუსტი
4	$\leq 0,005$	ვერტიკალურად შერეული ესტუარი	არა

მდინარეთა მოქცევით შესართავებში, ნატანის კონცენტრაციის განაწილების რეგულირების უმთავრეს მექანიზმს წარმოადგენს ესტუარული ცირკულაცია [3]. იგი იქმნება წყლის სიმკვრივის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური საკმაოდ დიდი გრადიენტების შემთხვევაში. ნაკადის ზედა ნაწილში, წყლის დადებითი ზედაპირული ქანობის შემთხვევაში, ღინება მიმართულია ზღვისაკენ. ნაკადის ქვედა ნაწილში, ღინებას განაპირობებს სიმკვრივის განივი გრადიენტები და ნაკადი მიემართება მდინარისაკენ. სტრატეფიცირებულ ნაკადში ესტუარული ცირკულაციის წარმოქმნის აუცილებელი პირობაა, ზღვის მიმართულებით სხვადასხვა სიმკვრივიანი წყლების გამყოფი საზღვრის - ზღვის მიმართულებით დახრა. მოქცევის ფაზის მიხედვით, მდინარის და ზღვის წყლების ურთიერთქმედების ზონა, წაინაცვლებს კალაპოტის გასწვრივ. ღინების და მარილიანობის განაწილების გასაშუალოების შედეგია (მოქცევის ციკლის განმავლობაში) – ნარჩენი ესტუარული ცირკულაცია. ასეთ შესართავებში, მდინარის კალაპოტში ფსკერთან, ყოველთვის არსებობს პირობითი “ნულოვანი” წერტილი, რომელშიც ღინება არ გვაქვს. ამ წერტილის ზევით ღინება მიმართულია ზღვისკენ, ხოლო ქვევით – გვაქვს შებრუნებული, მდინარისაკენ მიმართული ღინება. “ნულოვანი” წერტილის გასაშუალოებული მდგომარეობა, როგორც წესი, შეესაბამება სიმკვრივის გრადიენტების გავრცელების ზღვარს მდინარის მიმართულებით. იგი განაცალკევებს ნატანის ფსკერულ ნაკადს, მიმართულს ამ წერტილიდან ზევითა და ქვევით საწინააღმდეგო მიმართულებებით.

ფსკერთან, მდინარის მიმართულებით მარეზულტირებელი მოძრაობა, მოქცევითი ღინების მაღალი სიჩქარეები და ძლიერი ტურბულენტობა იწვევს მაქსიმალური სიმღვრივის ზონის ფორმირებას “ნულოვანი” წერტილის რაიონში, რომლის ფარგლებში ხშირად იქმნება ფსკერული ნატანის მაღალი კონცენტრაცია – ე.წ. “ლამის საცობი” ან “სიმღვრივის საცობი”.

განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს შემთხვევა, როდესაც კოორდინატთა სათავიდან მარცხნივ გვაქვს უფრო მკვრივი სითხე, ვიდრე მარჯვნივ. ასეთი შემთხვევა გვაქვს ესტუარებში [4-6] და იგი დამახასიათებელია დამარილიანებისათვის (მარილის შეღწევა). ისეთ ესტუარში, რომლის ზღვის ნაპირი მოთავსებულია კვეთში კოორდინატით $x = 0$, სიჩქარე U_r შეესაბამება სტაციონარულ მდინარის ნაკადს, რომელშიც მტკნარი წყალია. თუ მტკნარი წყლის ხარჯი ესტუარში მუდმივია და ასევე მუდმივია მოქცევის ტალღის ამპლიტუდა ზღვის მხრიდან, მაშინ დამკვირვებლისათვის, რომელიც მოძრაობს პერიოდული მოქცევის სიჩქარით, არსებობს დამარილიანების სტაციონარული განაწილება. ამგვარად, იდეალიზირებული ესტუარისათვის, მარილიანობის სტაციონარულ განაწილებაზე გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები:

- გამარილიანების არეს შიგნით ტურბულენტობის ინტენსივობა [7];
- მტკნარი წყლის ხარჯი;
- ესტუარის შესასვლელში მტკნარი და ზღვის წყლის სიმკვრივეებს შორის სხვაობა.

დამარილიანების სტაციონარული განაწილება იდეალიზირებული ესტუარისათვის მოიცემა შემდეგი დამოკიდებულებით [7-10]:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{U_r x}{D_t}}, \quad (1)$$

სადაც D_t ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტია, რომელიც მოქცევის ტალღის სიხშირეზე და ამპლიტუდაზეა დამოკიდებული (კერძოდ, იგი იზრდება ამ სიდიდეების გაზრდისას) [11-13].

საინტერესოა [14,15]-ში მოყვანილი ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები, რომლებიც ჩატარდა თეთრი ზღვის სანაპიროს მდინარეების კერეტი და კემის რეალურ ესტუარებზე. აქ შესწავლილია ისეთი პროცესები, როგორიცაა: მარილიანობის ფორმირება; წყლის გამტკნარების ფორმირება; შეწონილი ნატანის შემადგენლობის ცვლილება ვერტიკალზე და ა.შ. აქვე დამტკიცებულია, რომ ფაქტობრივად ესტუარები წარმოადგენენ მარგინალური ფილტრების მოქმედების ზონას და აქ მდინარის და ზღვის წყლების შერევის შედეგად ხდება წყალში შეწონილი თიოქმის ყველა ნატანის მოშორება.

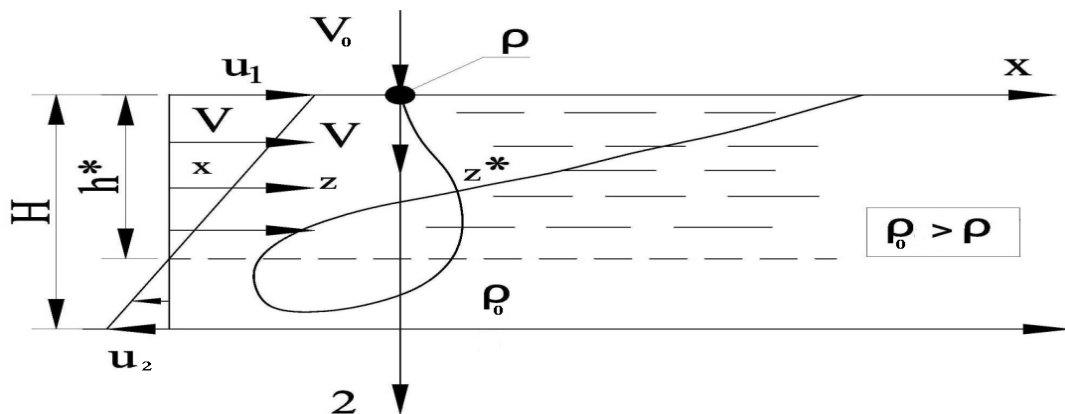
ადამიანისა და გარემოს ურთიერთქმედებიდან გამომდინარე, ინტერესი ესტუარების მიმართ, იმ შემთხვევაში, როდესაც ხდება რეჟიმის ცვლილება, ძირითადად გამოიხატება შემდეგი სამი პოზიციიდან: 1. კალაპოტის კვეთის ცვლილება და ფსკერის ჩაღრმავება, ეკონომიკურობის ამაღლების მიზნით. 2. ესტუარების გამოყენება საწარმოო- და საყოფაცხოვრებო ნარჩენების მოცილებისათვის. 3. მტკნარი ჩამონადენის კონტროლი და ცვლილება მოქცევად ესტუარებში. ბოლო დროს ისახება მეოთხე, ესტუარების ზოგადი დაბინძურების პრობლემა, რომელიც შესაძლებელია გამოწვეული იყოს ნავთობის ავარიული ჩაღვრით ესტუარში.

თუმცა თითოეული ზემოჩამოთვლილი მიმართულება შეიძლება განვიხილოთ როგორც რეჟიმის ცვლილების დამოუკიდებელი მიზეზები, მათთან დაკავშირებული ეფექტები ერთმანეთისაგან იზოლირებული არ არიან და განხილული უნდა იყვნენ სისტემური მიდგომით [16-18].

ესტუარში ჩაღვრილი ნავთობის ჭავლის ტრაექტორიის განსაზღვრის პირველ ეტაპზე გამოვიყენოთ წრფივი იდეალიზაცია. მაშინ ადგილობრივი სიჩქარის განაწილება ვერტიკალზე მოიცემა შემდეგი გამოსახულებით:

$$V_x = u_1 + \frac{z}{H}(u_1 + u_2), \quad (2)$$

სადაც u_1 და u_2 არის, შესაბამისად, ზედაპირული და ფსკერული ადგილობრივი სიჩქარეები (ნახ.1).



ნახ. 1. ესტუარში ჩაღვრილი ჭავლის ტრაექტორიის განსაზღვრის სქემა, თუ ნაკადის სიჩქარე განაწილებულია წრფივად

ცხადია, რომ სიღრმე z^* , რომელზედაც ნაკადი იცვლის მიმართულებას, შეიძლება ვიპოვოთ პირობიდან $V_z = 0$ და გვექნება

$$z^* = -\frac{u_1 H}{u_1 + u_2}. \quad (3)$$

ესტუარში საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობა მიიღება შემდეგი პირობიდან:

$$\frac{z^* u_1}{2} - \frac{(H - z^*) u_2}{2} = V H, \quad (4)$$

სადაც V ნაკადის საშუალო სიჩქარეა. ამიტომ (3) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$V = \frac{u_1^2}{2(u_1 + u_2)} + \frac{u_1 - u_2}{2}. \quad (5)$$

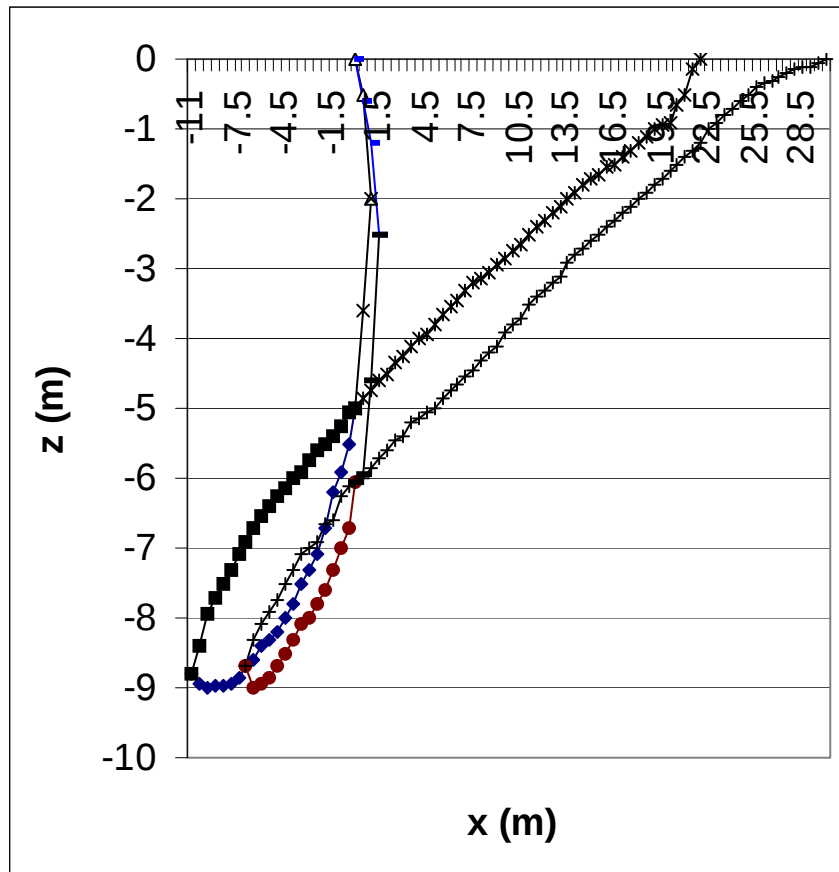
ცხადია, რომ ამ შემთხვევაში ჭავლის ტრაექტორიას რთული ფორმა გააჩნია. ჭავლი ჯერ ჩადის ქვევით, შემდეგ, როდესაც ის აღწევს წერტილს სადაც ნაკადი იცვლის მიმართულებას, იცვლება ჭავლის სიმრუდის რადიუსი, იგი აკეთებს მარჯუენ და მხოლოდ ამის შემდეგ ამოდის ნაკადის ზედაპირზე.

ჭავლის ტრაექტორიის განსაზღვრა ესტუარის შემთხვევაში წარმოებს იმავე თანმიმდევრობით, რაც გვქონდა ერთი მიმართულების მქონე ნაკადისათვის. ამ დროს იქმნება სირთულეები, რომლებიც არ გვქონდა წინა შემთხვევაში, კერძოდ: 1. მათემატიკური პროგრამა “Mampl 95” არ იძლევა ცხად მათემატიკურ ამონახსნს. 2. მარჯუენის არსებობა ქმნის გარკვეულ განუზღვრელობებს (კერძოდ, ამონახსნი ცხადია, რომ მონოტონურია მოვლენის დინამიკიდან გამომდინარე, მაგრამ იგი არა ცალსახაა). მათემატიკური პროგრამა “Mampl 95” არ აღიქვამს ჭავლის მარჯუენ და მის ამონახსნებს კომპლექსურ რიცხვებად თვლის.

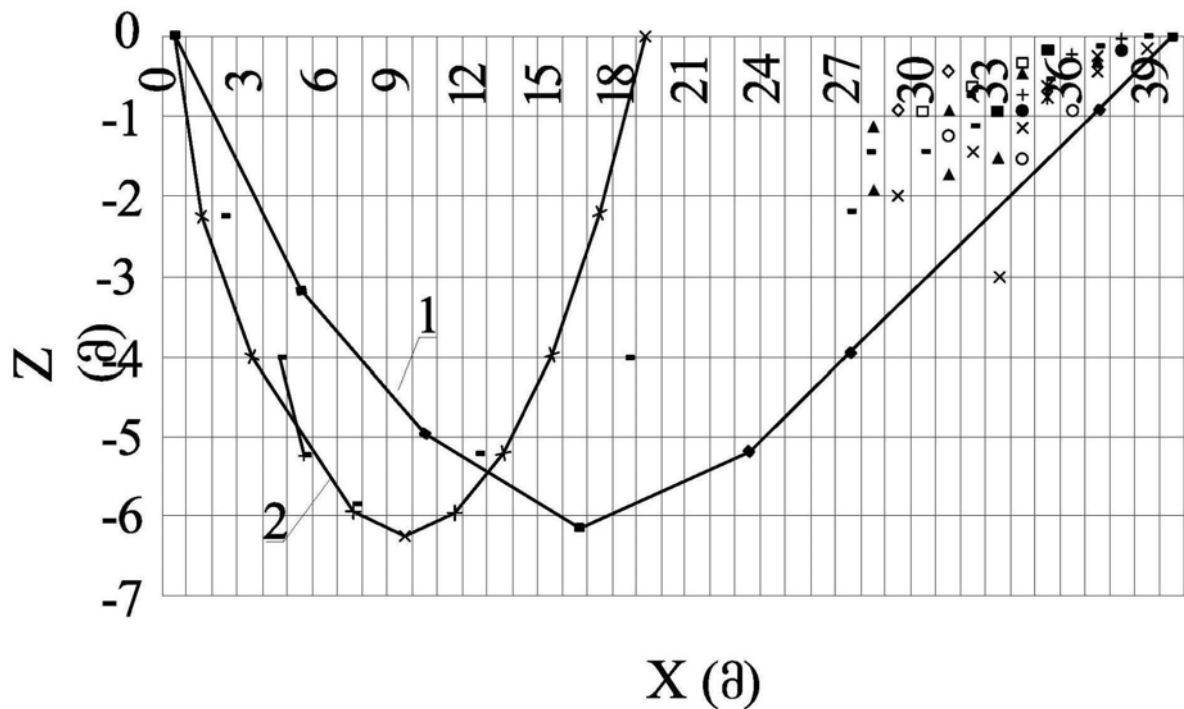
ამ სირთულის თავიდან ასაცილებლად დაიწერა ქვეპროგრამა, რომლის თანახმად ჭავლის კოორდინატების გაანგარიშება წარმოებს უბნების მიხედვით. კერძოდ, პროგრამა წყვეტს ანგარიშს და იწყებს ხელახალ გაანგარიშებას, როგორც კი ჭავლის ტრაექტორია იცვლის მიმართულებას.

მაგალითისათვის განხილული იქნა ხუთი რიცხვითი ტესტი შემდეგი პარამეტრებისათვის:

1. $u_1 = 4$ მ/წმ; $u_2 = 4$ მ/წმ. 2. $u_1 = 5$ მ/წმ; $u_2 = 3$ მ/წმ. 3. $u_1 = 3$ მ/წმ; $u_2 = 5$ მ/წმ.
4. $u_1 = 2$ მ/წმ; $u_2 = 6$ მ/წმ. 5. $u_1 = 6$ მ/წმ; $u_2 = 2$ მ/წმ. სხვა პარამეტრები შემდეგია: $V_0 = 5$ მ/წმ; $H = 10$ მ.



ნახ. 2. ესტუარში ჩაღვრილი ჭავლის ტრაექტორიები, აგებული მათემატიკური პროგრამა “Mamplate 95”-ის მიერ, თუ: 1 - $u_1 = 4$ მ/წმ; $u_2 = 4$ მ/წმ; 2 - $u_1 = 6$ მ/წმ; $u_2 = 2$ მ/წმ



ნახ.3. ესტუარში ჩაღვრილი ჭავლის ტრაექტორიები: 1 - რეალური ტრაექტორია აგებული მათემატიკური პროგრამა “Mamplate 95”-ის მიერ; 2 - ტრაექტორია აგებული სიჩქარეთა სამკუთხა განაწილებისათვის) და ნატურული მონაცემები

მოდელიზირებული მათემატიკური პროგრამა "Mample 95"-ის საშუალებით რეალიზებული შემთხვევები, რომლებიც შეესაბამებიან ზევით განხილული მაგალითის პირველ და მეხუთე შემთხვევებს, ნაჩვენებია ნახ.2-ზე (შედარებისათვის ორივე ტრაექტორია ერთ ნახაზზეა დატანილი).

ნახ.3-ზე ნაჩვენებია მათემატიკური პროგრამა "Mample 95"-ის საშუალებით აგებული ჭავლის ტრაექტორია და [13]-ში მოყვანილი ნატურული მონაცემები. განსხვავება ჩვენს მიერ მიღებულ შედეგებსა და ნატურულ მონაცემებს შორის არ აღემატება 15-20%-ს. ამრიგად, ცხადია, რომ წინასწარი საინჟინრო შეფასებისათვის ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდი სავსებით მისაღებია.

აღნიშნული პროექტი განხორციელდა სსიპ "შოთა რუსთაველის" ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტი №GNSF/ST09-380-7-109).

ლიტერატურა

1. Долгополова Е.Н., Юсупова М.В. Классификация эстуариев по гидродинамическим процессам//Водные ресурсы. 2009. Т. 36.
2. Tomczak M., Godfrey J.S. Regional Oceanography: an Introduction. 2nd improved edition. Delhi: Daya Publishing House. 2003.
3. Михайлова М.В., Исупова М.В. Водный и ледотермический режим арктических устьев разного типа/Тр. Всероссийской конференции "Ледовые и термические процессы на водных объектах России". Архангельск 2007.
4. Harleman D. Stratified Flow. Handbook of Fluid Dynamics. Ch. 26. McGraw-Hill. New York. 1961.
5. Harleman D. and all. The Diffusion of Two Fluids of Different Density in a Homogenous Turbulent Field. Technikal report, No. 31. M.I.T. Hydrodynamics Laboratory. Feb. 1959.
6. Ippen A., Harleman D. One-Dimensional Analysis of Salinity Intrusion in Estuaries. Technikal Bulletin. No.5 Committee on Tidal Hydraulics Corps of Engineers. Vicksburg., Miss., June. 1961. pp 44-57
7. Leenderste I.J. A Water Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal seas. 1970-1978. Vols. 1 to 9. Rand Corporatrion. Santa Monica. California.
8. Ogata A., Banks R.B. A Solution of the Differential Equation of Longitudinal Dispersion in Prous Media. Proffessional Paper. 411-9. US Geological Surway. Washington, D.C. 1961.
9. Orlob G.T. Models for stratified impoundments in Models for Water quality Management. a.K. Biswas (ed). VcGraw-Hill. New York. 1981.
10. Peyton R.I., Schroeder P.R. Field verification of HELP model for landfills. ASCE J. Environ. Engng. 1988. 114 (2). April
11. Harleman D. and all. An Analysis of One-Dimensional Convective Diffusion Phenomena in an Idealized Estuary. Technikal report, No.42. M.I.T. hydrodynamics Laboratory. Jan. 1961.
12. Harleman D., Ippen A., The Turbulent Diffusion and Gravitacional Convection of Saline Water in an Idealized Estuary. Publ., No.51. Intl. Assoc. for Sci. Hydrology. IUGG. Helsinki. August. 1960.
13. Ippen A., Harleman D., Lin J. Turbulent Diffusion and Gravitacional Convection in an Idealized Estuary. Technikal report, No.38. M.I.T. Hydrodynamics Laboratory. March. 1960.
14. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др. Некоторые особенности физических, химических и геологических процессов в эстуариях Белого моря. Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря/IX международная конференция. 2004 г. Петрозаводск. Карелия. Россия.
15. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр оценок// Океанология. т.34.№5.

16. Иппен Ф.Т. Гидродинамика береговой зоны и эстуариев. Л.: Гидрометеониздат. 1970.
17. Lamb H. Hydrodynamics. Cambridge University Press. 1932. Dover Publications. New York. 1945.
18. Proudman J. Dynamikal Okeanography. Methuen and Co. Ltd. London. 1963.