



## წყლის სტაგნაციის ეფექტის თვისობრივ-რაოდენობრივი შეფასება ვერეს დახურული კალაპოტის მეორე გვირაბის წინ

ხვედელიძე ი., კერესელიძე ზ.

ი.ჯავახიშვილის სახ. უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** მდინრე ვერეს (სიგრძე 45 კმ, ვარდნის სიმაღლე 1290 მ.), ყველა მთის მდინარის მსგავსად, პერიოდული წყალმოვარდნები ახასიათებს, რაც მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალს და ზოგჯერ ადამიანურ მსხვერპლსაც იწვევს. ვერეს ხეობაში სტიქიური პროცესების შედეგებს კიდევ უფრო ამძიმებს ხეობის რთული რელიეფი და არამდგრადი ქანები. ამას ემატება ბოლო ათწლეულებში თბილისის ტერიტორიაზე ვერეს ჭალაში მოსახლეობის განუკითხავი ქმედება და ოფიციალურად ნებადართული სამოქალაქო მშენებლობა, სწორედ ყოველივე ამის გამო 2015 წლის 13 ივლისის დამეს ვერეს დახურული კალაპოტის გვირაბებმა ვერ გაატარეს ქვა-ლორღითა და მყარი საგნებით გაჯერებული ღვარცოფული მასა.

**საკვანძო სიტყვები:** მდინარეს კალაპოტი, ღვარცოფი, წყალდიდობა

ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური პარამეტრების მოდელირება. კატასტროფულმა წყალმოვარდნამ ცხადყო რომ, დახურული კალაპოტის კონსტრუქცია სრულყოფილი არ აღმოჩნდა ექსტრემალური დატვირთვის შემთხვევაში. დახურული კალაპოტის კონსტრუქციის სპეციფიკა და მასთან დაკავშირებული ჰიდრაულიკური რისკების შეფასება აპრიორი მოითხოვდა მკაცრ თვისობრივ-რაოდენობრივ ანალიზს. პირველ რიგში აღსანიშნავია, რომ დახურული კალაპოტი არ იძლევა წყლის ხარჯის ხელოვნურად მართვის საშუალებას. გარდა ამისა, თუ ჰიდრაულიკურ გვირაბებში მოქმედებს წყლის დინების შემამფოთებელი რომელიმე ტექნოგენური ფაქტორი, მაგალითად: ვიბრაცია ან ზედაპირის ხაოიანობა, გარდაუვალია ლამინარული დინების გადასვლა ტურბულენტურში. ნეგატიური ფაქტორების მოქმედების პირობებში, ისევე როგორც სხვა მდინარეებისა და ჰიდროტექნიკური წყალგამტარებისთვის, ვერეს დახურული კალაპოტისათვისაც შესაძლებელია გამოვიყენოთ აპროქსიმაცია წრიული კვეთის მქონე მილით. ეს ხერხი ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპზე დაყრდნობით იძლევა ჰიდრაულიკური პარამეტრების მოდელირების საშუალებას [1]. კერძოდ, დახურული კალაპოტის გვირაბების შიდა ზედაპირების ხაოიანობის ეფექტის რაოდენობრივი შეფასებისათვის საკმარისია ერთი პარამეტრი:  $\beta = k/L_0$ , სადაც  $k$  ხაოიანობის სიმაღლეა,  $L_0$  - გვირაბის განივი კვეთის მახასიათებელი ზომა, რომელიც მილის შემთხვევაში მისი R- რადიუსის ტოლია.

ცნობილია, რომ ლამინარული დინების შემთხვევაში გლუვი მილის წინააღმდეგობა ემორჩილება ბლაზიუსის კანონს:  $\lambda \approx 0.32 (R_e)^{-1/4}$ ,  $R_e$  - რეინოლდსის რიცხვია. იმისათვის, რომ ხა-

ოიანი მილი ტურბულენტური დინებისათვისაც ჰიდროდინამიკურად გლუვი დარჩეს საკმარისია, რომ ხაოიანობამ არ იმოქმედოს მილის წინააღმდეგობაზე, რისთვისაც მილის შიდა ზედაპირზე წარმოქმნილი ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქე უნდა აღემატებოდეს ხაოიანობის სიმაღლეს. შესაბამისად, ხაოიანობის ეფექტის გამოვლინება მოხდება მაშინ, როცა ხაოიანობის სიმაღლე აღემატება სასაზღვრო ფენის სისქეს. ამ დროს მილის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა არაწრფივი (კვადრატული) კანონით იცვლება [2]

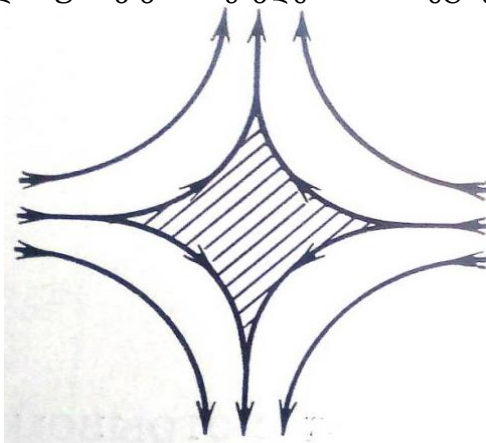
$$\lambda_1 = \frac{1}{\left(\frac{2 \lg R}{k} + 1.74\right)^2} \quad (1)$$

**სტაგნაციის ზონა.** დახურული კალაპოტის მეორე გვირაბის წინ მდინარე ვერე მკვეთრად უხვევს. სავარაუდოდ, წყალმოვარდნის დროს ეს ადგილი გახდა წყლის ლოკალური შეგუბების ცენტრი. ამას, გვირაბის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ზრდასთან ერთად, შესაძლოა ხელი შეუწყო ვერეს კალაპოტის გეომეტრიამ. კატასტროფის შემდეგ, დახურული კალაპოტის აღდგენისას, ამ ადგილს განსაკუთრებული ყურადღება მიაქცევს. კერძოდ, მოხდა ამ გვირაბის შესავლელი პორტალის მოდერნიზაცია ე.წ. მიმმართველი კედლების მონტაჟის საშუალებით. ამ ტეხილი კონსტრუქციის დანიშნულებაა ხელი შეუწყოს გვირაბში წყლის შედინებას. კედლების პირველი სეგმენტები გვირაბის ღერძის პარალელურია, ხოლო შემდეგები, რომელთა სიგრძე დაახლოებით 5 მეტრია, ქმნიან პირველებთან კუთხეებს:  $\gamma \approx 20^\circ$  და  $\delta \approx 30^\circ$ . მიგვაჩნია, რომ ასეთი ტექნიკური ცვლილება, არა თუ წყალმოვარდნის, არამედ საკმარისად ინტენსიური წვიმის შემთხვევაშიც კი, იქნება წყლის კიდევ უფრო მასშტაბური შეგუბების მიზეზი. საქმე იმაშია, რომ წყალდიდობის შემთხვევაში არასწორად დაყენებული მიმმართველი კედლები გარდაუვლად წარმოქმნიან შემხვედრ წყლის ნაკადებს. მათი შეჯახება მოხდება გვირაბის შესავლელთან ახლოს რაც შეამცირებს წყლის ხარჯს გვირაბში. დინების სეპარაციას კედლებთან შეჯახებამდე აგრეთვე შეიძლება ხელი შეუწყოს მეორე გვირაბის წინ მდინარის კალაპოტში არსებულმა მეჩჩმაც. ამიტომ, თუ მოხდება უკვე სეპარირებული ნაკადების შეჯახება (და არა მათი რბილი შერწყმა, რაც შესაძლებელია მხოლოდ პარალელური ნაკადების ურთიერთქმედებისას), კედლებთან შეჯახების შემდეგ გარდაუვალი იქნება უკუნაკადების წარმოქმნა. დახურული კალაპოტის აღდგენის შემდეგ ინტენსიური წვიმების დროს წყლის შეგუბება მეორე გვირაბის წინ მართლაც მოხდა, რაც ჩვენს მიერ დაფიქსირებულია ფოტოსურათებზე. განსაკუთრებით ძლიერი შეგუბების შემთხვევაში, დაუზუსტებელი მონაცემებით, ნალექებმა შეადგინეს  $h \approx 20$  მმ, რაც შეადგენს არა უმეტეს 20% იმ ნალექებისა, რომელთაც გამოიწვიეს 13.06.2015 წ. კატასტროფული წყალდიდობა. ასეთი ფაქტი განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს, რადგანაც, დიდი ალბათობით, დაკავშირებულია არასწორ ტექნიკურ გადაწყვეტილებასთან. ამ მოსაზრების დასასაბუთებლად მივმართოთ იდეალური სითხის ჭავლების თეორიას.

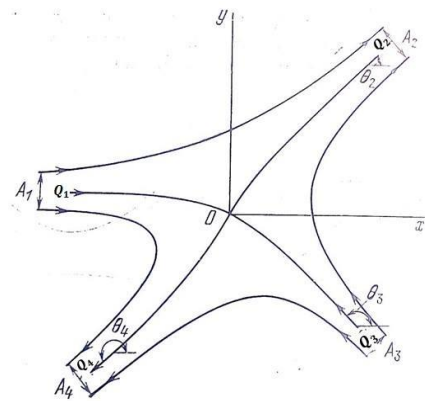
იდეალური უკუმშვადი სითხის ჭავლების ჰიდროდინამიკურ თეორიაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ჭავლების შეჯახების პრობლემას. ცნობილია ორი ან რამდენიმე ჭავლის შეჯახების ამოცანის მათემატიკური გადაწყვეტის რამდენიმე თეორიული ვარიანტი. ყველა ასეთი ამოცანის ანალიზური ამონახსნი ზოგადად არაცალსახაა, რადგანაც დამოკიდებულია გარკვეულ თავისუფალ პარამეტრზე [3]. ჩვეულებრივ, ასეთი პარამეტრია კუთხე პირდაპირ ჭავლსა და დაჯახების შედეგად წარმოქმნილ უკუჭავლს შორის.

ანალიზური ამონახსნების არაცალსახობის მიზეზის გრაფიკულ ილუსტრაციას წარმოადგენს ნახ.1, რომელიც შეესაბამება ორი ერთნაირი ინტენსივობის (წყლის ხარჯის) მქონე ჭავლის პირდაპირი კუთხით შეჯახების. მსგავს იდეალურ კერძო შემთხვევაში შეჯახების შედეგი ცალსახაა, რადგანაც წარმოქმნილი უკუ ჭავლები ჰიდროდინამიკური მახასიათებლებით პირდაპირი ჭავლების სრულიად იდენტურნი არიან. შეჯახების შედეგად წარმოიქმნება ე.წ. სტაგნაციის ზონა, რომელსაც გარკვეული ხაზოვანი ზომა გააჩნია. როცა პირველადი ჭავლების ინტენსივობა განსხვავებულია, თანაც მათი შეჯახება ხდება ნებისმიერი კუთხით, ამოცა-

ნის ანალიზური ამონახსნი არაცალსახაა. ეს ნიშნავს, რომ საჭირო ხდება თავისუფალი პარამეტრის რაოდენობრივი ფიქსაცია. თუმცა, ასეთი ანალიზური ამონახსნის რიცხვითი მოდელირების დროს მსგავსი შეზღუდვა შეიძლება პრინციპიალურად არ ჩავთვალოთ. მაგრამ, სრულფასოვანი თვისობრივი ანალიზი, რომელიც წარმოაჩენს ჭავლების შეჯახების პროცესის ყველა ფიზიკურ მხარეს, მკაცრად მოითხოვს ანალიზური ამონახსნის ასიმპტოტიკური ყოფაქცევის განსაზღვრას. ამ თვალსაზრისით ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა ნაშრომები [4,5], რომელთა გეომეტრიული ვიზუალიზაცია და ანალიტიკური ბმის სქემა წარმოადგენილია მონოგრაფიაში [3] (ნახ.2). აქ  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  - წარმოადგენს  $A_1, A_2, A_3, A_4$  ჭავლების სიგანეს, ანუ მათ ინტენსივობას ბრტყელ მიახლოებაში (წყლის ხარჯი).  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  - კუთხეებია, რომლებსაც ადგენენ ჭავლები კომპლექსური სიბრტყის X-ღერძთან. ნაშრომში [4] კონფორმული ასახვის მეთოდით მიღებული ამონახსნი ბრტყელია და, სხვა ამონახსნების მსგავსად, შეიცავს თავისუფალ პარამეტრს. თუმცა, როგორც აღმოჩნდა, ასეთი შეზღუდვის გამარტივება შესაძლებელი ყოფილა ისევ კონფორმული ასახვის მეთოდით [5]. კერძოდ, განისაზღვრა ანალიზური კავშირი ჭავლების პარამეტრებს შორის



ნახ 1.



ნახ. 2

$$Q_{2,4} = \frac{Q_1 Q_3 (1 - \cos \theta_3)}{Q_1 (1 - \cos \theta_{2,4}) + Q_3 (\cos \theta_{2,4} - \cos \theta_2)}, \quad (2)$$

(2) გამოსახულება არსებითად აძლიერებს [4] ნაშრომის ღირებულებას, რადგანაც წარმოადგენს დამატებით პირობას, რომელიც აკავშირებს  $\theta_3$  კუთხით შეჯახებული ჭავლების ინტენსივობას დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი უკუ ჭავლების ინტენსივობასთან. ამისათვის საკმარისი ყოფილა ახალი ჭავლებიდან ერთ-ერთის, მაგალითად,  $A_2$  ჭავლის  $Q_2$  ინტენსივობისა მისი X ღერძთან დახრის  $\theta_2$  კუთხის ცოდნა. შესაბამისად, შესაძლებელი ხდება (2)-იდან განისაზღვროს  $Q_4$ , რისთვისაც, [5]-ის თანახმად, საჭიროა ვისარგებლოთ დამატებითი პირობით:  $\pi \leq \theta_4 \leq \pi + \theta_3$ . ამ შემთხვევაში უკუ ჭავლის მიმართულება კვლავ თავისუფალ პარამეტრად რჩება, თუმცა უკვე შესაძლებელი ხდება  $Q_4$  ინტენსივობის განსაზღვრა კომპლექსური ტოლობიდან [4]

$$-Q_1 + Q_2 e^{i\theta_2} - Q_3 e^{i\theta_3} + Q_4 e^{i\theta_4} = 0. \quad (3)$$

დასკვნა. ამრიგად, არსებობს ასიმპტოტიკური ანალიზის საშუალება მნიშვნელოვნად გან-

სხვაეგებული ინტენსივობის მქონე სხვადასხვა ჭავლების შეჯახების შემთხვევაში, ანუ  $\frac{Q_1}{Q_3}$  ფარდობის პრაქტიკულად ყველა შესაძლებელი მნიშვნელობისათვის. მსგავსი ვითარება შესაძლებელია წარმოიქმნას ვერეს დახურული კალაპოტის მეორე გვირაბის შესასვლელის

წინ, წყლის დონის ზრდის პროცესში, როცა წყლის ნაკადი, სავარაუდოდ, უფრო უპირატესად უნდა შეეჯახოს მოპირდაპირე მიმმართველ კედელს. შესაბამისად,  $A_1$  ჭავლი თანდათან უფრო ინტენსიური იქნება, ვიდრე  $A_2$ . მაგალითად, შევაფასოთ  $A_2$  პირდაპირი ჭავლის ინტენსივობა მოდელური შემთხვევისათვის:  $Q_1 = 2Q_2$ .  $\gamma$  და  $\delta$  კუთხეების ზემოთ მოცემული მნიშვნელობებისათვის  $\theta_2 \approx 130^\circ$ , ხოლო  $\theta_2$  განუსაზღვრელი რჩება. თუმცა, თუ გვირავის ღერძი Y ორდინატს ემთხვევა, ამ ღერძის მიმართ ჭავლების დახრიდან გამომდინარე გვექნება:  $\frac{\pi}{2} - \delta \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{2} - \gamma$ . ე.ი., სავარაუდოდ,  $60^\circ \leq \theta_2 \leq 70^\circ$ . თუ მხედველობაში მივიღებთ აღნიშნულ შეზღუდვას, პირდაპირი ჭავლისათვის გვექნება  $Q_2 \approx 1.7 Q_3$ . ამრიგად, რადგანაც შეჯახებამდე ჯამური წყლის ხარჯი  $Q = 3Q_3$ , მივიღებთ, რომ  $A_4$  ჭავლის ინტენსივობა  $Q_4 \approx 1.3 Q_3$ . რაც შეეხება უკუ ჭავლის მიმართულებას, ანუ  $\theta_4$  კუთხეს, მის სიდიდეს წყლის შეგუბების ეფექტზე გავლენის თვალსაზრისით პრინციპული მნიშვნელობა არ აქვს. თუმცა, სწორედ უკუ ჭავლი აყალიბებს სტაგნაციის ზონას, როდესაც წყლის შეგუბების გამომწვევი სხვა ფაქტორები არ არსებობენ, ან მათი მოქმედება ნივლეირებულია. ამრიგად, მოსალოდნელია, რომ ხაოიანობის ეფექტის მსგავსად, მეორე გვირავის წინ დამონტაჟებული მიმართველი კედლები შეამცირებენ წყლის ხარჯს მეორე გვირავში.

### ლიტერატურა

1. კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ. მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა.// გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომების კრებული, 2016, LXVI, გვ. 199-221.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. //Гл. XX, Москва, Наука, 1974, 711 с.
3. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости.// Москва, Наука, 1979, 536 с.
4. Биргкоф Г., Сарантоннело Э. Струи, следы и каверны. //Москва, Мир, 1964.
5. Белоцерковский П. О соударении двух свободных плоских струй идеальной несжимаемой жидкости. //В кн. Материалы Всесоюзной конференции по краевым задачам, из-во Казанского гос. Университета, Казань, 1970.

## THE QUALITATIVE-QUANTITATIVE ASSESMENT OF THE PROBABLE WATER STAGNATION BEFORE THE SECOND CLOSED CHANNEL OF THE RIVER VERE

**Khvedelidze I., Kereselidze Z.**

**Summary:** In case there is some tecnogenic factor, e.g. vibration or serface roughness perturbing the water flow in a hydraulic channel, then the laminal flow will inevitably turn into turbulent flow. Therefore, under conditions of negative factors, for the closed channel of the river Vere, like other rivers and hydrotechnical aqueducts, it is necessary to use the approximation with a circular section tube, which on the basis of hydrodynamic analogy, enables modelling the hydrodynamic parameters of the channel [1]. The roughness effect is manifested when the height of roughness exceeds the thickness of the boundary layer. In this case the hydraulic resistance of the tube is replaced by nonlinearity (quadratic) law. The river Vere sharply turns before the second channel of the closed bed. After the 13.06.2015 devastating flood, as a result of the modernization of the closed channel the directing walls were constructed before the second channel. We suppose that in case there is another flood at this place a stagnation zone will form, i.e. the water will be locally dammed. This effect, like the roughness effect, will cause the increase in the hydraulic resistance of the channel and consequently, the decrease in the water flow.