

UDC 627.4

SCOPUS CODE 2205

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-2-116-129>

### ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური უსაფრთხოების შესახებ

<b>ივანე ნონიევი</b>	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო E-mail: i.noniev@gtu.ge
<b>გრიგოლ ხელიძე</b>	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი, საქართველო E-mail: g.khelidze@gtu.ge
<b>თეიმურაზ ბულია</b>	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო E-mail: t.bulia@gtu.ge
<b>ბაჩანა ფიფია</b>	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველო E-mail: b.phiphia@gtu.ge

#### რეცენზენტები:

**გ. გიგინეიშვილი**, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

**მ. წიქარიშვილი**, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: malkhaztsikari@mail.ru

**ანოტაცია.** ჰიდროტექნიკური ნაგებობების შესაძლო ავარიების ნეგატიური შედეგების გათვალისწინებით კაშხლების უსაფრთხო ექსპლუატაციას დიდი სოციალურ-ეკონომიკური და ეკოლოგიური მნიშვნელობა აქვს, რაც აქტუალურს ხდის კაშხლების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საკითხს. ჰიდრორესურსების მნიშვნელოვანი მარაგის მქონე საქართველოსთვის მიზანშეწონილია კაშხლების უსაფრთხოების სფეროში სახელმწიფო ხელისუფ-

ლების ორგანოებს, ჰესების მესაკუთრეებს და ოპერატორებს შორის ურთიერთობების დარეგულირება, კაშხლების დაპროექტების, მშენებლობის, ექსპლუატაციაში გაშვების, ექსპლუატაციის, რეაბილიტაციის/რეკონსტრუქციის, კონსერვაციის ან ლიკვიდაციის პერიოდებში. აღნიშნულის რეალიზაცია მოიაზრება შესაბამისი საკანონმდებლო ბაზის შექმნით, რომელსაც იურიდიულთან ერთად საფუძვლად უნდა დაედოს ტექნიკური საკითხები. ამ კონტექსტში სტატიაში განხილულია საერთა-

შორისო პრაქტიკაში მიღებული, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების სისტემის კომპონენტები, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების შესაძლო ავარიების სახეობები და მათი კლასიფიკაცია, ნაგებობის უსაფრთხოების კლასის და ავარიის ალბათობის დასაშვები სიდიდის განსაზღვრა, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების თანამედროვე პრობლემების ნუსხა, კაშხლის უსაფრთხოების ძირითადი შემადგენელი ელემენტების დახასიათება, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის თანამედროვე საშუალებების უპირატესობები, მოცემულია მიწის და ბეტონის კაშხლების ავარიების ძირითადი სცენარები და მათი შეფასების მიდგომები. აღნიშნულია, რომ საქართველოში დასკვნით სტადიაზე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა უსაფრთხოების ნორმატიული დოკუმენტის შემუშავება.

**საკვანძო სიტყვები:** ადრეული შეტყობინების სისტემა; ავარიების რისკი; კაშხალი; მონიტორინგი; ტექნიკური უსაფრთხოება; ჰიდროტექნიკური ნაგებობები.

## შესავალი

საქართველოს ენერგეტიკული უსაფრთხოება, რომელიც ქვეყნის უსაფრთხოების ერთ-ერთი არსებითი კომპონენტია, არსებითად განსაზღვრავს ჰიდროენერგეტიკის განვითარებას. ქვეყნის ჰიდროენერგეტიკული სექტორი წარმოდგენილია მძლავრი, საშუალო და მცირე სიმძლავრის ჰესებით. დროის მოთხოვნა ამ სფეროში სახელმწიფო ხელისუფლების ორგანოებს, ჰესების მესაკუთრეებს და ოპერატორებს შორის ურთიერთობების დარე-

გულირება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის, მათი დაპროექტების, მშენებლობის, ექსპლუატაციაში გაშვების, ექსპლუატაციის, რეაბილიტაციის/რეკონსტრუქციის, კონსერვაციის ან ლიკვიდაციის პერიოდებში.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური უსაფრთხოების უზრუნველყოფა რთული საკითხია, რომელიც ამჟამად მკაცრი საკანონმდებლო/სამთავრობო რეგულაციების, ავარიების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდებისა და სავალდებულო რისკების დაზღვევის გზით წყდება. აქ მთავარი პრინციპია ნაგებობის ურღვევობის შესახებ დეკლარებიდან შესაძლო ავარიის რაოდენობრივ შეფასებაზე გადასვლა.

## ძირითადი ნაწილი

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხო ექსპლუატაციას აქვს ტექნიკური, სამართლებრივი, ეკონომიკური, სოციალური, გარემოსდაცვითი ასპექტები. სხვა საინჟინრო ნაგებობების მსგავსად, სხვადასხვა დანიშნულების ჰიდროტექნიკური ნაგებობა დაქვემდებარებულია ავარიის ხდომილების რისკს, რომელიც ცალკეულ შემთხვევებში შესაძლოა მძიმე შედეგებით დასრულდეს. ბუნებრივია, საზოგადოების ინტერესი არის სისტემის – „წყალ-შემტბორი ნაგებობა-წყალსაცავი“ უსაფრთხოების უზრუნველყოფა, რაც მოითხოვს იურიდიული, ადმინისტრაციული და საინჟინრო-ტექნიკური ღონისძიებების კომპლექსურად გატარებას. ცხადია, რომ საქართველოშიც აუცილებელია ყველა აღნიშნული საკითხის მოგვარება, მითუმეტეს, როცა ქვეყნის ტერიტორიაზე ამჟამად ფუნქციონირებს 51 წყალსაცავიანი კაშხალი, რომელთაგან ICOLD-ის (დიდი კაშხლების საერთაშორისო კომისია) კრიტერიუმებს

შესაბამება 34 კაშხალი. საქართველოს დიდი კაშხლების ნუსხა მოცემულია პირველ ცხრილში.

საქართველოში ამ საკითხში მოქმედ რეგულაციებს შორის არის ყოფილი ენერგეტიკის სამინისტროს დარგობრივი წესები 1.17-97 „მშენებარე და ექსპლუატაციაში მყოფი ელექტროენერგეტიკული ობიექტების კაშხლებზე ნატურული დაკვირვებები და კვლევები“ და საქართველოს რესპუბლიკის ორგანული კანონი „სტრატეგიული დანიშნულების ობიექტების საინჟინრო-გეოდეზიური კონტროლისა და უსაფრთხოების შესახებ“ (2003 წ.). იყო რამდენიმე მცდელობა ამ სფეროში კანონმდებლობის მომზადებისა: 2010 წელს მომზადდა და ყოფილ ენერგეტიკის სამინისტროს გადაეცა ფორმა „STUCKY“-ს მიერ დამუშავებული კანონპროექტი „საქართველოს კანონი კაშხლების უსაფრთხოების შესახებ“, რომლის ძირითადი დებულებები ეფუძნება შვეიცარიაში მოქმედ ფედერალურ კანონს „Federal Law Regarding the Supervision of Hydraulic Structures“ (1877 წ.); 2019–21 წწ. მომზადდა და საქართველოს პარლამენტს გადაეცა კანონპროექტი „ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების შესახებ“. აღნიშნული მცდელობები არ იყო წარმატებული.

საერთაშორისო პრაქტიკაში მიღებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების სისტემა აერთიანებს:

ა) საკანონმდებლო მოთხოვნებს, რომლის საფუძველად მოიაზრება სახელმწიფო კანონი „ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების შესახებ“. ამ უკანასკნელის დებულებების განსახორციელებლად მუშავდება დეტალური სტანდარტები და რეგულაციები (მაგ., დოკუმენტის პროექტი „ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების ტექნიკური რეგლამენტი“).

ბ) უსაფრთხოების გაუმჯობესებისკენ მიმართუ-

ლი ახალი ეროვნული სტანდარტების რეგულარულად განახლება-დანერგვას.

გ) ძირითად დოკუმენტს – უსაფრთხოების პასპორტს. თითოეული ნაგებობისთვის შემუშავებულია უსაფრთხოების პასპორტი. ეს არის ძირითადი დოკუმენტი, რომელშიც მფლობელს არა მხოლოდ უსაფრთხოების გამოცხადება, არამედ ავარიის რისკის მისაღები დონის დასაბუთებაც მოეთხოვება. პასპორტმა უნდა გაიაროს სავალდებულო სახელმწიფო შემოწმება, რომელშიც მონაწილეობას მიიღებენ სპეციალიზებული ორგანიზაციები ან შესაბამისი დარგის უმაღლესი კვალიფიკაციის ექსპერტები, დარგში მინიმუმ 10-წლიანი სამუშაო გამოცდილებით.

დ) უწყვეტ მონიტორინგს, რაც გულისხმობს: დოკუმენტის შემუშავებას, რომელიც ადგენს ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის მონიტორინგისა და პოტენციური ავარიების შედეგების პროგნოზირების ზოგად მოთხოვნებს. ეს ნიშნავს, რომ ნაგებობები უწყვეტად კონტროლდება თანამედროვე ინსტრუმენტების და მეთოდების გამოყენებით.

ე) გაფრთხილებას, ჩამოყალიბებულს დოკუმენტის სახით, სადაც მოცემულია ზოგადი მოთხოვნები ადრეული შეტყობინების სისტემების (EWS) დაგეგმარების, განხორციელებისა და ექსპლუატაციის შესახებ ოპერატიული პერსონალისთვის, საზოგადოებისთვის, ობიექტის ნორმალურ ფუნქციონირებასთან დაკავშირებული ინფრასტრუქტურის საექსპლუატაციო სამსახურებისთვის, სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო საწარმოებისთვის ავარიის შემდეგ.

ვ) საგანგებო სიტუაციებში სამოქმედო გეგმას (EAP), რომლის რეალიზაციის უზრუნველყოფის შესაბამისი ქმედებები მოცემულია დოკუმენტში, რომელიც ადგენს საგანგებო სიტუაციის (ნაგებობის ავარიის) დროს სამოქმედო გეგმის განხორციელებ-

ბის ღონისძიებების ერთობლიობას და პროცედურ- პეზზე სახელმწიფოს შესაბამის საგანგებო სამსა-  
რებს. დოკუმენტი მოქმედებს როგორც დაგეგმა- ხურებთან შეთანხმებით.  
რების, ისე მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ეტა-

ცხრილი 1.

კაშხლის ტიპი	რიგითი №	კაშხლის დასახელება	კაშხლის სიმაღლე, მ	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ მ <sup>3</sup>	
თაღოვანი, ბეტონის	1	ენგური	271,5	1092	
	2	ლაჯანური	69	25	
გრავიტაციული, ბეტონის	3	გუმათი 1	32	39	
	4	ზაჰესი	24	12	
	5	ორთაჭალჰესი	18	2.4	
	6	თბილისის წყალსაცავის კაშხალი	15	308	
	7	ვარციხე 1	11	4.6	
	8	ჯანდარი	8	52	
	9	დიდაჭარა	55	1	
	10	კირნათი	19,3	6.23	
	11	ხელვაჩაური	12,5	--	
	ადგილობრივი მასალების	12	ჟინვალი	102	520
		13	სიონი	86	326
14		ალგეთი	86,65	65	
15		ზონკარი	81	43.5	
16		ვარდნილი 1	55	146	
17		ნარეკვავი	41	6.8	
18		დალის მთა	38	180	
19		თელეთის წყლის ჰიდროკვანძი	37	1.7	
20		მევრულა	36	82	
21		ხრამი 1	33	313	
22		ჭერეში	32,5	1.2	
23		ასურეთი	30	1.0	
24		ლაფიანას ხევი	20	3.6	
25		კუხის	19,5	1.9	
26		კუხისხევის ჰიდროკვანძი	18,0	5	
27		ჭალის	4 (17)	1.7	
28		კრანჭისხევის ჰიდროკვანძი	14,5	1.9	
29		დმანისის	14	11	
30		ცხენისის ჰა	12	1.53	
31		შაორჰესი	11,5	90	
32		მთისძირის ჰიდროკვანძი	11	3.1	
33		მარაზდა	8	1.2	
34		პანტიანი	--	6.3	
		<b>ჯამი</b>			<b>3355,66</b>

შენიშვნა: დიდ კაშხლებად მიჩნეულია 15 მ-ზე მეტი სიმაღლის ან 1 მლნ. მ<sup>3</sup>-ზე მეტი მოცულობის კაშხლები.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ტექნიკური უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტია ავარიების რისკის ანალიზი, რომელიც ტარდება საერთაშორისო პრაქტიკაში მიღებული მოთხოვნების თანახმად. ავარიების ძირითადი სცენარები სამ ტიპად იყოფა:

1. მშენებლობის შეცდომებით გამოწვეული ავარია. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის მშენებლობის დროს პროექტის მოთხოვნების შეუსრულებლობა, სამშენებლო ტექნოლოგიის დარღვევები. მაგ., მიწის კაშხლების შემთხვევაში, ამან შეიძლება გამოიწვიოს ნაგებობის არათანაბარი ჯდომა, ბზარების წარმოქმნა და ფერდებზე მეწყრული მოვლენების განვითარება, რაც გარღვევის ტალღის მაპროვოცირებელია და იწვევს ქვედა ბიეფის დატბორვას.

2. სადაწნეო ფრონტის ჩამოშლა. კაშხალზე წყლის უკონტროლო გადაღვრა, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს: კაშხლის ტანში წარმოიქმნილი ნაპრალით, წყალსაცავის გადავსების, წყალსაცავის გარემომცველი ფერდობების დამეწყრილი ქანების წყალსაცავში მოხვედრის, ძლიერი წყალდიდობის/წყალმოვარდნის ან წყალსაგდების არასაკმარისი გამტარუნარიანობის გამო.

3. ექსპლუატაციის პრობლემებით გამოწვეული ავარიები. წყალსაცავში ნატანის დაღეჟვა, ნაგებობის მასალების დაბერება, სუფუზია (გრუნტის

ნაწილაკების გამორეცხვა). ეს პროცესები შეიძლება შეუმჩნეველად განვითარდეს, მაგრამ საბოლოოდ ნაგებობის კრიტიკული დაზიანება გამოიწვიოს.

არსებითია უსაფრთხოების კლასისა და ავარიის ალბათობის დასაშვები სიდიდის დადგენა. უცხოეთში არსებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოებასთან დაკავშირებული რეგულაციები ადგენს არა ნულოვან რისკს (რაც მიუღწეველია), არამედ ავარიის ალბათობის დასაშვებ მნიშვნელობებს, რომლებიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის კლასზე. ამ მნიშვნელობების აღება შეიძლება მაგ., ჰიდროტექნიკური ნაგებობის კონსტრუქციის კლასის მიხედვით. ავარიის დასაშვები ალბათობა შეიძლება განისაზღვროს მე-2 ცხრილის მიხედვით. ცხრილი აჩვენებს, რომ ნაგებობის კლასის ზრდასთან (პოტენციური ზარალის მატებასთან) ერთად მკაცრდება საიმედოობის მოთხოვნები.

აღსანიშნავია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების ამჟამად არსებული პრობლემები. საერთაშორისო პრაქტიკაში ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის შესახებ შემუშავებული მარეგულირებელი ჩარჩოს მიუხედავად, შეიძლება გამოიყოს არაერთი ფაქტორი, რომლებიც ზრდის ავარიების რისკს, მათ შორის არსებითია:

ცხრილი 2.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობის კლასი	ავარიის დასაშვები ალბათობა
I	2
I კლასი (უსაფრთხოების ყველაზე მაღალი დონე)	$1 \times 10^{-5}$ (10000 წელიწადში ერთხელ)
II კლასი	$1 \times 10^{-4}$ (1000 წელიწადში ერთხელ)
III კლასი	$2.5 \times 10^{-3}$ (400 წელიწადში ერთხელ)
IV კლასი (უსაფრთხოების ყველაზე დაბალი დონე)	$5 \times 10^{-3}$ (200 წელიწადში ერთხელ)

ა) *ნაგებობების დაზიანება*. ბევრმა ჰიდროტექნიკურმა ნაგებობამ მიაღწია საექსპლუატაციო ხანგრძლივობის სტანდარტულ ზღვარს. (საქართველოში ასეთი ნაგებობების მნიშვნელოვანი ნაწილის ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა აღემატება 40 წელს) დაფინანსების ნაკლებობის გამო, მათი კაპიტალური რემონტი და რეაბილიტაცია/რეკონსტრუქცია ყოველთვის არ ტარდება დროულად.

ბ) *ადამიანური ფაქტორი*. სუბიექტური შეცდომები ნებისმიერ ეტაპზე – საინჟინრო კვლევებიდან და დაპროექტიებიდან ექსპლუატაციამდე – რჩება ავარიების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზად.

გ) *ბუნებრივი ფაქტორები*. კლიმატის გლობალური ცვლილება იწვევს უფრო ხშირ და ძლიერ წყალდიდობებს/წყალმოვარდნებს, ასევე ექსტრემალურ ქარს, ტალღურ, ტემპერატურულ და სეისმურ მოვლენებს, რაც განაპირობებს მათ გაზრდილ ზემოქმედებას და ზრდის შესაბამისი დატვირთვების ინტენსიურობას.

დ) *ნაგებობის მფლობელის კვალიფიკაცია*. პრობლემა წარმოიქმნება, როდესაც ნაგებობები ეკუთვნის ფიზიკურ ან იურიდიულ პირებს, რომლებსაც არ აქვთ სათანადო ცოდნა/გამოცდილება და რესურსები მათი უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური უსაფრთხოება თანამედროვე პირობებში აერთიანებს რთულ საინჟინრო გამოთვლებს, სამართლებრივი რეგულირების ინსტრუმენტებს და ეკონომიკურ მექანიზმებს (მაგ., სავალდებულო დაზღვევას), რომლის მიზანია კატასტროფული შედეგების თავიდან აცილება ადამიანებისთვის, ინფრასტრუქტურისთვის, მრეწველობისთვის, სოფლის მეურნეობისა და ტერიტორიებისთვის – საზოგადოდ გარემოსთვის.

კაშხლებთან დაკავშირებით, უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ამოცანა ცალსახად მიმართულია რისკის საკვანძო ელემენტების კვლევისკენ. კაშხალი ნებისმიერი დანიშნულების ჰიდროკვანძის ძირითადი კომპონენტია და მისი უსაფრთხოება სამი ძირითადი ასპექტისგან შედგება: ნაგებობაში განვითარებული რომელი პროცესების დაფიქსირებისკენ არის მიმართული დაკვირვება (მონიტორინგი), რას იწვევს ესა თუ ის პროცესი (რისკები და ავარიების მიზეზები) და რამდენად შეესაბამება პროცესის კვლევის სიზუსტე თანამედროვე მოთხოვნებს (დიაგნოსტიკური მეთოდები). კაშხლის მონიტორინგის სისტემა ახდენს კაშხლის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი მრავალი ფაქტორის ერთდროულ ფიქსაციას რეალურ დროში.

საერთაშორისო რეგულაციების თანახმად, კაშხლის ექსპლუატაციისას სპეციალისტებს მოეთხოვებათ შემდეგი ინდიკატორების ჯგუფების მონიტორინგი:

ა) *დატვირთვები და ზემოქმედება*: წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა, ნაგებობისა და გრუნტის ტემპერატურა, ყინულის წნევა, დაღეჟილი ნატანის წნევა, სეისმური ზემოქმედება.

ბ) *დეფორმაციები და ძაბვები*: კაშხლის ვერტიკალური ჯდომები და ჰორიზონტალური გადაადგილებები, ძაბვები ბეტონსა ან გრუნტში, სექციათშორისი ნაკერების და ბზარების გახსნა.

გ) *კაშხლის ტანში, მის ფუძესა და შემოვლით წყლის ფილტრაციის რეჟიმი*: ფილტრაციული წყლის ნაკადის სიჩქარე, დეპრესიის მრუდის მდებარეობა, გრუნტის ფორული წნევა, პიეზომეტრიული დაწნევები. უკონტროლო ფილტრაცია ავარიების ხშირი მიზეზია.

დ) ფუძის და კალაპოტის მდგომარეობა: კალაპოტის ჰიდრავლიკური წარეცხვები, მყარი ნატანის დალექვა.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე მომხდარი კატასტროფების ანალიზით გამოიყოფა კაშხლების სტრუქტურული რღვევის შემდეგი ძირითადი ფაქტორები:

ა) *სტიქიური უბედურებები*: მიწისძვრები, ქარიშხლები, ზვავები და მეწყრები, კლასიკური მაგალითია იტალიაში ვაიონტის კაშხალზე მომხდარი ტრაგედია 1963 წელს, სადაც გიგანტურმა მეწყერმა (მოცულობით 250 მლნ კუბ. მეტრი) გამოიწვია 70 მ წყლის ფენის გადაღვრა კაშხლის თხემზე და 3000-მდე ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა (Muller, L. Landslide in the Vajont Valley / L. Muller // Problems of Engineering Geology).

ბ) *კონსტრუქციული და დაპროექტების შეცდომები*: წყალსაგდების არასაკმარისი გამტარუნარიანობა (რაც იწვევს წყლის გადაღვრას კაშხლის თხემზე და ფერდის წარეცხვას), ფუძის დეფექტები და შეცდომები კაშხლების მდგრადობის გაანგარიშებისას.

ბ) *ექსპლუატაციის წესების დარღვევა*: დაგვიანებული რემონტი, მოწყობილობების ცვეთა და საექსპლუატაციო პერსონალის შეცდომა.

დ) *ფილტრაციით გამოწვეული რღვევა*: გრუნტის სიმტკიცის დაკარგვა შიდა ეროზიის (სუფუზიის) გამო. თვალსაჩინო მაგალითია 2020 წელს სარდობას წყალსაცავის (უზბეკეთი) მიწის კაშხალზე მომხდარი ავარია. ექსპერტების შეფასებამ აჩვენა, რომ მიზეზი იყო კაშხლის ტანისა და ფუძის გრუნტების ფილტრაციული სიმტკიცის დაკარგვა, რამაც გამოიწვია ლოკალური რღვევა და შედეგად წყლის გადაღვრა ქვედა ბიეფში (Shukurov Zh. (2020, May 4)., Shallow Sardoba: natural disaster or human factor?).

თანამედროვე პირობებში ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მონიტორინგის მეთოდები მუდმივად იხვეწება. ამასთანავე ტრადიციული, ვიზუალური დათვალიერება და ინსტრუმენტული მონიტორინგი კვლავ აქტუალურია. ამჟამად, კაშხლების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკისთვის გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც არ საჭიროებს მათი ფუნქციონირების შეფერხებას: კაშხლის ტანისა და ფუძის სეისმური, ელექტრომეტრიული და ულტრაბგერითი ტომოგრაფია; კაშხლის ზედაპირის მრავალწლიანი სკანირება საფრენ აპარატებზე (დრონები, თვითმფრინავები და კოსმოსური თანამგზავრები) და მიწისზედა (სტაციონარული) და მონტაჟებული მოწყობილობებისა და ინსტრუმენტების გამოყენებით; წყალდიდობისა და დატბორვის პროგნოზირებისთვის გლობალური მეტეოროლოგიური მონიტორინგის სისტემის მონაცემთა ბაზების გამოყენება; წყალსაცავის ბათიმეტრიული კვლევები და ა.შ. ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ჩამოთვლილი მეთოდები საშუალებას იძლევა, ადრეულ ეტაპზე იქნეს ამოცნობილი პრობლემები და, შესაბამისად, პროგნოზირებული ნაგებობის მომავალი ყოფაქცევა დარღვევების თვალსაჩინო ნიშნების აღმოჩენის გარეშე. ყოველივე აღნიშნული კაშხლის უსაფრთხოების თანამედროვე მიდგომის საფუძველია, რომელიც, თავისი არსით, მკაცრი მარეგულირებელი მოთხოვნებისა და მოწინავე ტექნოლოგიების ერთობლიობაა. სახელმწიფო სტანდარტებმა უნდა დაადგინოს წესები, ხოლო ახალი გეოფიზიკური და სხვა ინოვაციური მეთოდები საშუალებას იძლევა, საკვლევი ობიექტის სტრუქტურას დავაკვირდეთ შიგნიდან მისი ფუნქციონირების შეფერხების გარეშე. მთავარი მიზანია ავარიის შედეგის შერბილებიდან ავარიის პრევენ-

ციაზე ყურადღების გადატანა, კატასტროფის გამომწვევი უხილავი პროცესების დროულად გამოვლენა.

მიწისა და ბეტონის კაშხლების რისკის შეფასება ფუნდამენტურად განსხვავებულია. ეს განპირობებულია მასალების განსხვავებული ქცევით: გრუნტი დეფორმირდება და ფილტრაციას ექვემდებარება, ხოლო ბეტონი იტანს დატვირთვას, მაგრამ მგრძობიარეა ფუძის გასწვრივ ბზარებისა და ძვრის მიმართ. ქვემოთ მოგვყავს რისკების შეფასების პრინციპები მიწისა და ბეტონის კაშხლებისთვის.

მიწის კაშხლების ძირითადი საფრთხეები დაკავშირებულია ფილტრაციის პროცესებთან და ფერდების მდგრადობის დაკარგვასთან. შეფასების მეთოდები აქ მრავალფეროვანია და შედეგები შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს არჩეული მეთოდოლოგიის მიხედვით. ავარიების ძირითადი სცენარები და მათი შეფასების მიდგომებია:

ა) *ფილტრაციული სიმტკიცის უკმარობა*. ეს არის ავარიების ყველაზე გავრცელებული მიზეზი. რისკის შეფასება ეფუძნება კაშხლის ტანში წნევის გრადიენტების ანალიზს და მათ შედარებას კრიტიკულ მნიშვნელობებთან (Bruschi J., Paiva Guedes V., Carvalho Saar R. Integrating internal erosion into risk charts: a simplified approach for earth dams). მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა მეთოდმა შეიძლება გამოიწვიოს ურთიერთგამორიცხავი შედეგები: მაგ., ერთი მეთოდის მიხედვით მოსალოდნელია კაშხლის ტანში ფილტრაციით გამოწვეული ავარიების უდიდესი რისკი (Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods), ხოლო მეორე პროგნოზირებს უდიდეს რისკს ფუძეში (Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of

risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods).

ბ) *სტატიკური მდგრადობის დაკარგვა*. ანალიზი ეყრდნობა კაშხლის ფერდების მდგრადობას მათი მოცურების მიმართ. შედეგები მნიშვნელოვნად განსხვავდება: სხვადასხვა მეთოდის შედარებამ აჩვენა, რომ ავარიის ალბათობის შეფასების შეუსაბამობა შეიძლება მერყეობდეს 14.8%-დან 99.9%-მდე (Volkov V. Dobrovolskaya E. CYBERLENINKA; Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods). ეს მიუთითებს, რომ შეფასების მეთოდის არჩევანი ძალიან მნიშვნელოვანია.

გ) *შიდა ეროზია (სუფუზია)*. თანამედროვე კვლევა ხაზს უსვამს შიდა ეროზიის ცალკე განხილვის აუცილებლობას. შემოთავაზებულია რისკის კლასიფიკაცია ოთხ კატეგორიად: „ნორმალური“, „საყურადღებო“, „საგანგაშო“ და „გადაუღებელი“, ფაქტობრივი და კრიტიკული წნევის გრადიენტების შედარების საფუძველზე (Volkov V. Dobrovolskaya E. CYBERLENINKA; Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods).

დ) *სისტემური მიდგომა*. ზოგიერთი ექსპერტი გვთავაზობს მიწის კაშხლის დინამიკურ სისტემად განხილვას, ტანისა და ფუძის დაზიანების ხარისხზე მოქმედი მრავალი ცვლადის გათვალისწინებით (Volkov V. Dobrovolskaya E. CYBERLENINKA; Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods).

მე-3 ცხრილში მოყვანილია მიწის კაშხლების რისკების შეფასების ძირითადი მეთოდები და მათი მახასიათებელი თავისებურებები.

მეთოდი/მიდგომა	რას აფასებს	დამახასიათებელი თავისებურება
1	2	3
რ.ფელის (R.Fell) მეთოდოლოგია	ფილტრაციული პროცესები, მდგრადობის დაკარგვა (Bruschi, J., Paiva Guedes, V., & Carvalho Saar, R. (2025). Integrating internal erosion into risk charts: A simplified approach for earth dams, Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods.)	აჩვენებს ყველაზე დიდ რისკს კაშხლის ტანში.
რუსეთის წყალთა მეურნეობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მეთოდოლოგია	ფილტრაციული პროცესები, მდგრადობის დაკარგვა (Bruschi, J., Paiva Guedes, V., & Carvalho Saar, R. (2025). Integrating internal erosion into risk charts: A simplified approach for earth dams, Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods.)	აჩვენებს ყველაზე დიდ რისკს კაშხლის ფუძეში.
კვლევით ინსტიტუტ „ვოდგოს“ (რუსეთი) მეთოდოლოგია	სტატიკური მდგრადობის დაკარგვა (Bruschi, J., Paiva Guedes, V., & Carvalho Saar, R. (2025). Integrating internal erosion into risk charts: A simplified approach for earth dams, Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods.)	შედეგები მნიშვნელოვნად განსხვავდება სხვა მეთოდებისგან.
ჰიდრაულიკური გრადიენტის ანალიზი	შიდა ეროზია (სუფოზია) (Bruschi, J., Paiva Guedes, V., & Carvalho Saar, R. (2025). Integrating internal erosion into risk charts: A simplified approach for earth dams)	იძლევა რისკის კლასიფიკაციის საშუალებას (ნორმა/ყურადღება/სიფრთხილე/ავარია).
დინამიკური სისტემა.	დაზიანებათა კომპლექსი (Zharnitsky, V. Ya., & Andreev, E. V. (2016). Earth dams as an object of a dynamic system).	ითვალისწინებს მრავალ ცვლადს და მოითხოვს კომპლექსურ მოდელირებას.

ბეტონის კაშხლებისთვის, განსაკუთრებით გრავიტაციული კაშხლებისთვის კლდოვან ფუძეზე, ძირითადია კონტაქტის “ბეტონი-კლდე” სიმტკიცე და მთელი ნაგებობის მდგრადობა ძვრაზე. ავარიის

ძირითადი სცენარები და მათი შეფასების მიდგომები შემდეგია:

ა) საკონტაქტო ნაკერის სიმტკიცის დარღვევა. ეს გრავიტაციული კაშხლების ძირითადი ზონაა. რისკი ფასდება ალბათური მეთოდების გამოყენებით,

რომლებიც ითვალისწინებს დატვირთვების შემთხვევით ბუნებას (მაგ., წყლის დონის ცვალებადობას) და ბეტონისა და კლდოვანი ქანის სიმტკიცის მახასიათებლებს.

ბ) ძვრა ფუძის გასწვრივ. ფასდება კაშხლის მდგრადობის დაკარგვის ალბათობა. მნიშვნელოვანია კლდოვანი ფუძის საკონტაქტო ზედაპირის უთანაბრობის გათვალისწინება, რომელიც რეალურად ზრდის ძვრის წინააღმდეგობას, მაგრამ ხშირად იგნორირებულია გამარტივებულ გამოთვლებში.

გ) ბზართყარმოქმნა. ზოგიერთი ტიპის კაშხლისთვის, როგორცაა ფილტრაციის საწინააღმდეგო ბეტონისეკრანის ქვაყრილი კაშხლები (CFRD), კაშხლის ბეტონის ეკრანზე ბზარების გაჩენის რისკი კრიტიკულია. გამოიყენება კომპლექსური მეთოდე-

ბი: ალბათური მიდგომის (მასალის პარამეტრების ლატენტური ჰიპერკუბური შერჩევის მეთოდი – LHS) და მანქანური სწავლების (LSTM ალგორითმი რეაგირების ზედაპირის აგებისთვის) კომბინაცია.

დ) თანამედროვე მეთოდები. თანამედროვე პირობებში სულ უფრო ხშირად გამოიყენება საიმედოობის ანალიზი, რაც საშუალებას იძლევა გამოითვალოს „მტყუნების ალბათობა“ დატვირთვის სხვადასხვა სცენარისთვის (მაგ., ექსტრემალური წყალუხვობისთვის) და ჩატარდეს მგრძნობელობის ანალიზი იმის დასადგენად, თუ რომელი ფაქტორები ახდენს ყველაზე დიდ გავლენას უსაფრთხოებაზე.

მე-4 ცხრილში მოყვანილია ბეტონის კაშხლების რისკების შეფასების ძირითადი მეთოდები და მათი დამახასიათებელი თავისებურებები.

ცხრილი 4

მეთოდი/მიდგომა	რას აფასებს	დამახასიათებელი თავისებურება
ალბათური შეფასება	საკონტაქტო ნაკერის სიმტკიცე, ძვრის წინააღმდეგობა (Balabay, O. (2015). Probabilistic assessment of the risk of accidents on concrete gravity dams on rock base.)	ითვალისწინებს დატვირთვების და მასალის თვისებების შემთხვევით ბუნებას.
საიმედოობის ანალიზი	რღვევის ალბათობა სხვადასხვა დატვირთვისას (Sas, G., & Ulfberg, A. (2025). A holistic approach for improved safety of concrete dams.)	იძლევა მგრძნობელობის ანალიზისა და ძირითადი რისკფაქტორების იდენტიფიცირების საშუალებას.
ფუძის საკონტაქტო ზედაპირის უთანაბრობის გათვალისწინება	ძვრაზე წინააღმდეგობა კლდოვან ფუძეზე (Sas, G., & Ulfberg, A. (2025). A holistic approach for improved safety of concrete dams.)	შეფასება უფრო რეალისტურია, კონსერვატიული მეთოდების გვერდის ავლის გამო.
<b>LHS + LSTM</b>	ბზართყარმოქმნის რისკი ბეტონის ეკრანში (CFRD) (Liu, Y. (2025). Dam safety and monitoring. <i>Institute for Building and Design.</i> )	აერთიანებს გრუნტის პარამეტრების ალბათურ მოდელირებას მანქანურ სწავლებასთან.

თაღოვანი კაშხლების რისკის შეფასებას გამორჩეული მახასიათებლები აქვს, რაც ფუნდამენტურად განასხვავებს მათ მიწის ან გრავიტაციული

ბეტონის კაშხლებისგან. თაღოვანი კაშხალი არის თხელი, რომელიც კოლოსალურ წყლის წნევას კლდოვან ნაპირებს გადასცემს. ამიტომ, აქ მთავარი

რისკი არის არა თავად ბეტონის სიმტკიცე, არამედ იმ კლდოვანი სანაპირო ფუძის საიმედოობა, რომელსაც კაშხალი ეყრდნობა.

რისკის შეფასების ძირითადი სფეროებია:

\* სანაპირო საყრდენების სტაბილურობა. ეს უმთავრესი პრიორიტეტია. კლდოვანი ქანების გადაადგილების ან ჩამონგრევის ალბათობა ფასდება მათში ბზარებისა და დასუსტებული ზონების მიხედვით, რომლებიც კაშხლის ძალიან დიდ ზემოქმედებას განიცდის.

\* ფუძის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. კაშხლის მიყრდნობის პერიმეტრზე არსებული ქანები გაანგარიშებულია დატვირთვებზე მისი რეაგირების თვალსაზრისით, რაც განსაზღვრავს არათანაბარი დეფორმაციების რისკს და შესაძლოა გამოიწვიოს დასაშვებზე მაღალი ძაბვები თაღოვანი კაშხლის ტანში.

\* ბეტონი-ქანის კონტაქტის ზონის მდგომარეობა. ეს არის ყველაზე სახიფათო წერტილი, სადაც რღვევამ ან გაჟონვამ შეიძლება გამოიწვიოს ნგრევა.

\* თავად თაღის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა (SSS). ფასდება იმის მიხედვით, შეუძლია თუ არა ბეტონს წინააღმდეგობა გაუწიოს გამჭიმავ და მკუმშავ ძაბვებს და რამდენად საშიშია განვითარებული ბზარები.

ძირითადი რისკის სახით განიხილება საყრდენი ბორტების სტაბილურობის დაკარგვა. ამ რისკის ილუსტრირების კლასიკური და ყველაზე ტრაგიკული მაგალითია მალპასეს კაშხლის ჩამონგრევა საფრანგეთში 1959 წელს (Londe P., The Malpasset Dam failure, Engineering Geology).

ეს თხელი, 60 მეტრი სიმაღლის თაღოვანი კაშხალი მყისიერად ჩამოინგრა, რამაც 420-ზე მეტი

ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა. კომისიის ოფიციალური დასკვნა ცალსახა იყო: კაშხალი ჩამოინგრა არა ბეტონის დეფექტების, არამედ მარცხენა ნაპირის საყრდენის გადაადგილების გამო, რომელიც გადაადგილდა კლდის მასაში ფარული ბზარის გასწვრივ. დამპროექტებლებმა ვერ გაითვალისწინეს ძირითადი ქანის სიმტკიცე და ბზარები და თაღის ძალოვანმა ზემოქმედებამ გამოიწვია ბორტის რღვევა. ამ კატასტროფამ სამუდამოდ შეცვალა თაღოვანი კაშხლის დაპროექტებისადმი მიდგომა, აიძულა ინჟინრები კაშხლის საყრდენი ბორტის გეოლოგიის შესწავლა მაქსიმალური სიღრმით განხორციელებინათ.

დღესდღეობით, თაღოვანი კაშხლების რისკის შეფასება მაღალტექნოლოგიური პროცესია, რომელიც აერთიანებს ადგილზე დაკვირვებას (მონიტორინგს) და კომპიუტერულ მოდელირებას.

#### 1. მონიტორინგი და დიაგნოსტიკა.

სპეციალისტები მუდმივად აკვირდებიან კაშხლის „ქცევას“. მაგალითად, თაღოვანი კაშხლების ექსპლუატაციის უნიკალური გამოცდილება აჩვენებს ყველაზე ინფორმაციული მდგომარეობის ინდიკატორების იდენტიფიცირების მნიშვნელობას. მეცნიერებმა შეიმუშავეს მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას აძლევს მათ შექმნან პროგნოზირებადი (სტატისტიკური) მოდელები ადგილზე გაზომვების (ძაბვა, დეფორმაცია, ბზარების გახსნა) საფუძველზე და განსაზღვრონ ამ პარამეტრების კრიტერიალური (მაქსიმალურად დასაშვები) მნიშვნელობები. ტექნიკური მდგომარეობა ფასდება ფაქტობრივი მონაცემების შედარებით საპროგნოზო და კრიტერიალურ მნიშვნელობებთან (ICOLD (International Commission on Large Dams)).

2. მოდელირება სასრული ელემენტების მეთოდით (FEM).

რთული და უნიკალური კაშხლებისთვის იქმნება დეტალური სამგანზომილებიანი (3D) კომპიუტერული მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებს ყველა სპეციფიკურ მახასიათებელს: მშენებლობის თანამიმდევრობას, ბეტონისა და კლდის თვისებებს, ზხარის გახსნას, ტემპერატურულ ეფექტებს და წყლის დონის ცვალებადობას.

3. მარეგულირებელი მოთხოვნები.

ყველა ეს გამოთვლა ხორციელდება სამშენებლო ნორმებისა და რეკომენდაციების მკაცრი დაცვით. საერთაშორისო ნორმები და რეკომენდაციები (ICOLD ბიულეტენები) ცალსახად ადგენს, რომ თაღვანი კაშხლებისთვის, კლდის საყრდენების სტაბილურობის გამოთვლები, ასევე სიმტკიცისა და სტაბილურობის გამოთვლები, უნდა შესრულდეს სხვადასხვა ფაქტორის გათვალისწინებით (ICOLD (INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS) Bulletin).

ცხადია, რომ კაშხლების უსასფრთხოების სფეროში კანონმდებლობის შექმნა შრომატევადი და ეტაპობრივად გადასაჭრელი ამოცანაა, რომელიც უნდა შესრულდეს იურიდიული და ტექნიკური სფეროს ექსპერტების ერთობლივი მონაწილეობით და შეჯერდეს მსოფლიო და სამამულო გამოცდილებასთან, რაც, ბუნებრივია, გარკვეულ დროს მოითხოვს.

## დასკვნა

ყოველივე ზემოთ მოყვანილის საფუძველზე შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი:

კაშხლის ტიპის მიუხედავად, რისკის შეფასება რთული პროცესია, რომელიც ხშირად მოიცავს:

1. პოტენციური რღვევის რეჟიმების ანალიზს (PFMA).

ექსპერტები მსჯელობენ რღვევის ყველა შესაძლო სცენარის, მათ შორის იშვიათი და ნაკლებად სავარაუდო, გონივრულად შეფასების მიზნით (Project - Soft Maple Development Comprehensive Assessment, Brookfield Renewable, Croghan, New York).

2. რისკის რაოდენობრივ შეფასებას. ავარიის ალბათობა შეიძლება შეფასდეს როგორც რაოდენობრივად (მაგ.,  $5 \times 10^{-5}$ ), ისე რიგითი სიდიდებით. ამ მიზნით ხშირად გამოიყენება ექსპერტების ანონიმური გამოკითხვა, რასაც მოჰყვება დისკუსია კონსენსუსის მისაღწევად (Project - Soft Maple Development Comprehensive Assessment, Brookfield Renewable, Croghan, New York).

3. შედეგების შეფასებას. რისკი არა მხოლოდ ავარიის ალბათობაა, არამედ მისი შედეგებიც. ამიტომ, პოტენციური ზიანი ყოველთვის ფასდება, მათ შორის სიცოცხლის მოსპობა, ქონების დაზიანება და გარემოზე ზემოქმედება (Project - Soft Maple Development Comprehensive Assessment, Brookfield Renewable, Croghan, New York).

4. თაღვანი კაშხლის საიმედოობას განსაზღვრავს კაშხლის ბორტების შემადგენელი ქანების საიმედოობა. თანამედროვე რისკების ამ რთული სისტემის ქცევის მაღალი სიზუსტით პროგნოზირებისა და კატასტროფების პრევენციის შეფასება.

5. ზემოთ მოყვანილის გათვალისწინებით და აგრეთვე სხვა აუცილებელი ფაქტორების მხედველობაში მიღებით, ამჟამად საქართველოში დასკვნით სტადიაზეა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა უსაფრთხოების ნორმატიული დოკუმენტის შემუშავება, რომელიც აუცილებელია ამ სფეროში არსებული

დიდი, წყალსაცავიანი ჰესების უსაფრთხო და მაღალ- კური ღონისძიებების კომპლესურად გატარების ლეფექტური ექსპლუატაციისთვის საჭირო იური- ხელშეწყობისათვის. დიული, ადმინისტრაციული და საინჟინრო-ტექნი-

### ლიტერატურა

1. Muller, L. (1967). Landslide in the Vajont Valley. *Problems of Engineering Geology*, (4).
2. Shukurov, Z. (2020, May 4). Shallow Sardoba: Natural disaster or human factor? *KUN.UZ*.  
<https://kun.uz/ru/news/2020/05/04/obmelevshaya-sardoba-stixiya-ili-chelovecheskiy-faktor>
3. Bruschi, J., Paiva Guedes, V., & Carvalho Saar, R. (2025). Integrating internal erosion into risk charts: A simplified approach for earth dams. *Dams and Reservoirs*, 35(3–4), 92–102.
4. Volkov, V., & Dobrovolskaya, E. (2015). Analysis of the results of risk assessment of hydraulic structures accidents obtained using various methods. *Nature Engineering*. Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy.
5. Zharnitsky, V. Ya., & Andreev, E. V. (2016). Earth dams as an object of a dynamic system. *Nature Management*, (1).
6. Balabay, O. (2015). Probabilistic assessment of the risk of accidents on concrete gravity dams on rock base. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, (157).
7. Sas, G., & Ulfberg, A. (2025). A holistic approach for improved safety of concrete dams. *Civil and Hydraulic Engineering Research*.
8. Liu, Y. (2025). Dam safety and monitoring. *Institute for Building and Design*.  
<https://cae.au.dk/forskning/forsknings-og-udviklingsomraader/structural-engineering/research-groups-1/structural-dynamics-and-monitoring/research/monitoring/stress-estimation-of-offshore-structures-1>
9. Londe, P. (1987). The Malpasset dam failure. *Engineering Geology*, 24(1–4), 295–329.  
[https://doi.org/10.1016/0013-7952\(87\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0013-7952(87)90069-X)
10. International Commission on Large Dams (ICOLD). (1987). *Dam safety: Guidelines* (Bulletin 59).
11. International Commission on Large Dams (ICOLD). (2024). *Arch dam design: Structural analysis methodologies and criteria* (Bulletin 206).
12. GEI Consultants. (2025). *Soft Maple Development comprehensive assessment*.  
<https://www.geiconsultants.com/projects/soft-maple-ca/>

UDC 627.4

SCOPUS CODE 2205

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2026-2-116-129>

## On the Technical Safety of Hydrotechnical Structures

- Ivane Nonievi** Georgian Technical University, faculty of power engineering, Associate Professor, Georgia  
E-mail: i.noniev@gtu.ge
- Grigol Khelidze** Georgian Technical University, faculty of power engineering, Professor, Georgia  
E-mail: g.khelidze@gtu.ge
- Teimuraz Bulia** Georgian Technical University, faculty of power engineering, Associate Professor, Georgia  
E-mail: t.bulia@gtu.ge
- Bachana Pipia** Georgian Technical University, faculty of power engineering, Associate Professor, Georgia  
E-mail: b.phiphia@gtu.ge

### Reviewers:

**G. Gigineishvili**, Georgian Technical University Faculty of Power Engineering, Academic Doctor, Professor  
E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

**M. Tsikarishvili**, Georgian Technical University Faculty of Construction, Doctor of Technical Sciences, Professor  
E-mail: malkhaztsikari@mail.ru

**Abstract.** Given the potentially severe socioeconomic and ecological consequences of accidents at hydrotechnical structures, ensuring the safe operation of dams is of great importance, making dam safety a critical issue. For Georgia, a country with significant hydropower resources, it is essential to regulate relations between state authorities, owners, and operators of hydroelectric power plants in the field of dam safety—covering all stages from design, construction, commissioning, operation, rehabilitation/reconstruction, to conservation and liquidation. Achieving this requires the development of a comprehensive legislative framework that integrates both legal and technical aspects. In this context, the article examines key components of hydraulic structure safety systems as adopted in international practice. It discusses the types and classifications of potential accidents, the determination of safety classes for structures, and acceptable accident probability levels. The paper also outlines current challenges in hydraulic structure safety, describes the main components of dam safety, highlights the advantages of modern diagnostic tools for assessing technical conditions, and presents primary accident scenarios for earthen and concrete dams along with approaches to their evaluation. It is noted that Georgia is in the final stage of developing a normative document on the safety of hydraulic structures..

**Keywords:** Dam; Early warning system; Hydraulic structures; Monitoring; Risk of accidents; Technical safety.

---

*განხილვის თარიღი 06.03.2026*

*შემოსვლის თარიღი 03.09.2026*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 26.06.2026*