

**წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების  
წარეცხვისგან დამცავი  
ახალი კონსტრუქციების დამუშავება**

**\*კანდელაკი ნ., \*\*იორდანიშვილი ი., \*\*ირემაშვილი ი.,  
\*\*კუპრეიშვილი შ., \*\*იორდანიშვილი კ.**

\* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

\*\* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო  
[ingairema@yahoo.com](mailto:ingairema@yahoo.com)

**ანოტაცია:** დამუშავებულია წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ახალი კონსტრუქციები – „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“, რომლებიც გამოირჩევა ფერდზე მაღალი ტალღაჩამქრობი ეფექტით, არსებულთან შედარებით მისი დამზადება ეკონომიურია, ხასიათდება მაღალი გამჭოლიანობით, ნახნაგების ხარჯზე ერთმანეთთან დიდი შეჭიდულობით, ნაკლები წონით და ნაპირის ფერდზე მდგრადობით.

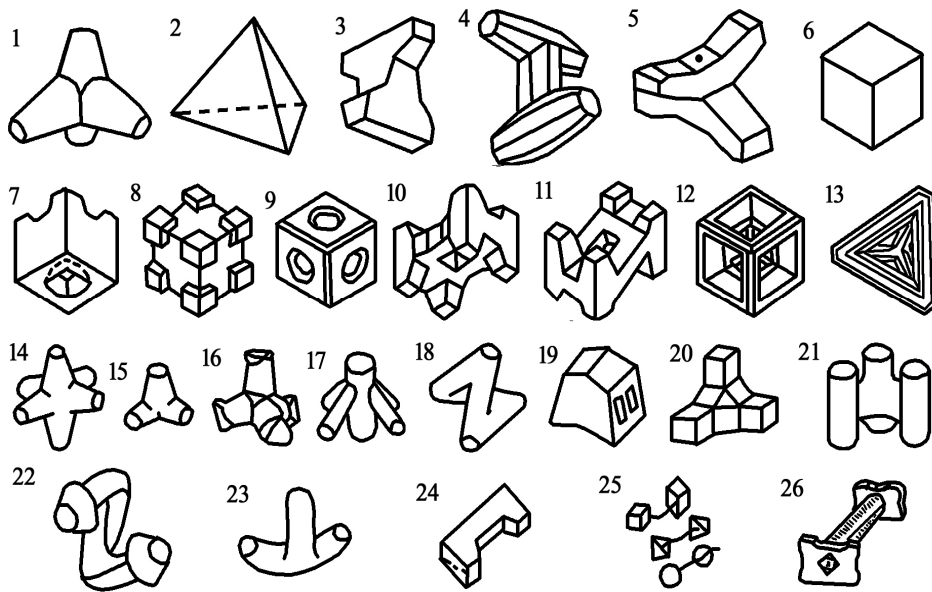
შემოთავაზებული უნივერსალური ფორმულის გამოყენებით, ჰექსაბლოკის და ტეტრაბლოკის ფერდებზე წონასწორობა გამოითვლება მინიმალური დასაშვები წონის გათვალისწინებით.

**საკვანძო სიტყვები:** წყალსაცავები, აბრაზია, ფიგურული მასივები.

წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების დაცვა ახალი, თანამედროვე, მაღალი ტალღაჩამქრობის უნარის და მათი დაბალი თვითღირებულების მქონე ნაპირდამცავი ნაგებობების მეშვეობით – აქტუალური პრობლემაა.

თანამედროვე პერიოდში მრავალ ქვეყანაში უკვე უარი თქვეს მასიური, ერთიანი და ძვირადღირებული ნაპირდამცავი ნაგებობების გამოყენებაზე. შექმნილია სხვადასხვა მოხაზულობის ფიგურული მასივებისგან გამჭოლი კონსტრუქციები, რომელთა წონითი დიაპაზონი 0,5-5,0 ტონის ფარგლებშია [4,5,1,2,3] (ნახ. 1-3).

**ფიგურული მასივების** გამოყენებით შესაძლებელია აბრაზიული ციცაბო ( $\alpha=33^\circ$ -მდე) ფერდების გამაგრება. ფიგურული მასივებისგან აგებული კონსტრუქციების ეფექტური მუშაობის ძირითადი ფაქტორია – ტალღების ენერჯის ჩახშობა და ფერდზე მათი აგორების სიმაღლის შემცირება ( $2\div 30$ -ჯერ). ჰიდრომშენებლობის პრაქტიკაში მასივების მაქსიმალური წონა 60,0 ტონას აღწევს.



ნახ. 1. ფიგურული მასივების ძირითადი ტიპები

- 1 – ტეტრაპოდი; 2 – ტეტრაედრი; 3 – დიპოდი; 4 – დოლოსი; 5 – ML-ტიპი; 6 – კუბუსი; 7 – მოდიფიცირებული კუბუსი; 8 – BH3 ბლოკი; 9 – სტიბლოკი; 10 – H-სებრი ბლოკი; 11 – II-სებრი ბლოკი; 12 – KOB-ბლოკი; 13 – ღრუ ტეტრაედრი; 14 – ჰექსპოდი; 15 – კვადრიპოდი; 16 – სტაბილოპოდი; 17 – სტაპოდი; 18 – სტაბიტი; 19 – სვიბლოკი; 20 – ტრიპოდი; 21 – ტრიბარი; 22 – დინოზავრი; 23 – არტილისი; 24 – II-ბლოკი; 25 – შეკრული ბლოკი; 26 – ჰანტელისებური ბლოკი



ნახ. 2. ტეტრაპოდები ხიდის საყრდენთან მდ. ლიახვზე (საქართველო)



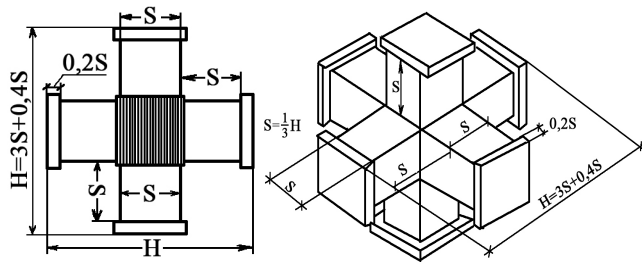
ნახ. 3. აბრაზიული ნაპირის გამაგრება სპეციალური ოთხისრიანი კონსტრუქციების მრავალრიგიანი წყობით (აშშ)

ბლოკების ტალღაჩამქრობი უნარის და ურთიერთშეჭიდულობის გაუმჯობესების, ფერდის ტალღების აგორების სიმაღლის შემცირებისათვის დამუშავდა ფასონური ბლოკების ახალი ტიპები – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ სახით (დასახელება შერჩეულია ჩვენ მიერ, მათი შვერილების რაოდენობის შესაბამისად – „ჰექს“ – ექვსი და „ტეტრა“ – ოთხი).

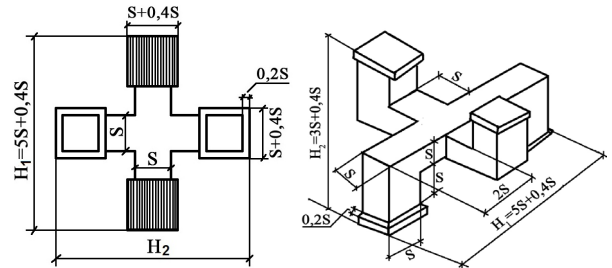
ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ბლოკების – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ და არსებული მასივების „ტეტრაპოდის“, „დიპოდის“ და „დოლოსის“ მახასიათებლების შედარება მოყვანილია მე-4-5-6 ნახაზზე.

ჰექსაბლოკი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P$ , ტ	0,21	1,64
$H$ , მ	0,75	1,50
$S$ , მ	0,22	0,44
$V$ , მ <sup>3</sup>	0,08	0,63

ტეტრაბლოკი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P$ , ტ	0,21	1,70
$H_1$ , მ	0,97	2,11
$H_2$ , მ	0,61	1,33
$S$ , მ	0,18	0,39
$V$ , მ <sup>3</sup>	0,064	0,65



ნახ. 4. „შექსაბლოკის“ სქემა და მისი მახასიათებლები

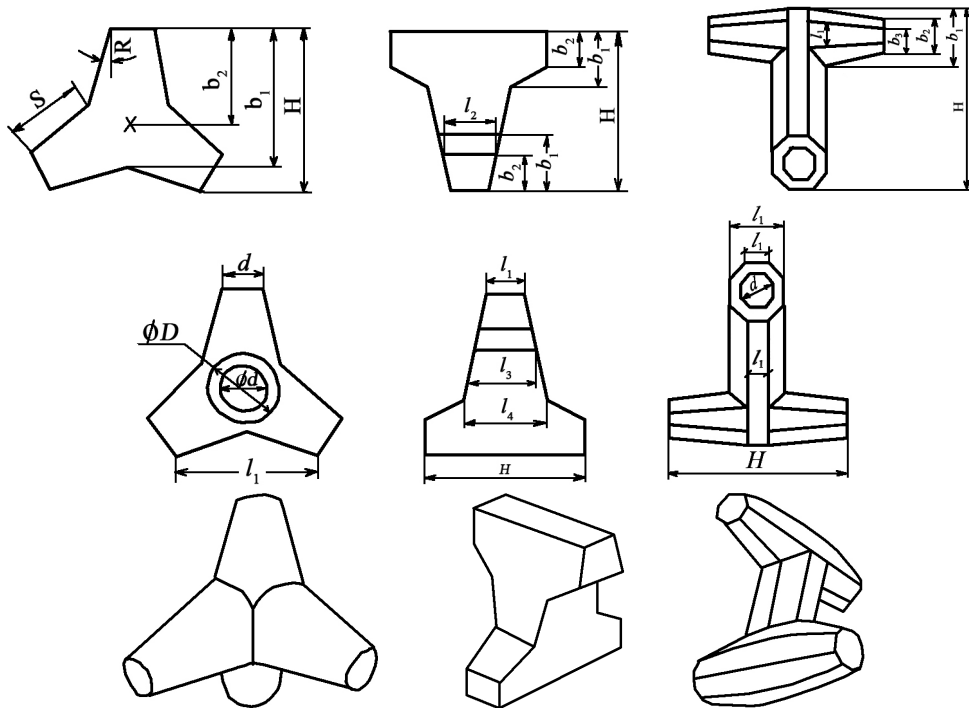


ნახ. 5. „ტეტრაბლოკის“ სქემა და მისი მახასიათებლები

ტეტრაპოდი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P$ , ტ	1,00	6,00
$H$ , მ	1,30	2,30
$d$ , მ	0,30	0,60
$D$ , მ	0,50	1,01
$S$ , მ	0,60	1,10
$b_1$ , მ	1,07	1,95
$b_2$ , მ	0,75	1,40
$\text{tg}\alpha$	0,22	0,22

დიპოდი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P$ , ტ	1,00	6,00
$H$ , მ	1,20	2,20
$b_1$ , მ	0,41	0,76
$b_2$ , მ	0,26	0,48
$l_1$ , მ	0,28	0,52
$l_2$ , მ	0,39	0,71
$l_3$ , მ	0,45	0,82
$l_0$ , მ	0,57	1,04

დოლოსი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P$ , ტ	1,00	6,00
$H$ , მ	1,38	2,50
$b_1$ , მ	0,43	0,80
$b_2$ , მ	0,28	0,51
$b_3$ , მ	0,11	0,21
$l_1$ , მ	0,18	0,33
$d$ , მ	0,30	0,55



ნახ. 6. არსებული ფიგურული მასივების – ტეტრაპოდის, დიპოდის და დოლოსის სქემები და მისი მახასიათებლები ( $\gamma$  – ბეტონის მოცულობითი წონა ( $\text{ტ/მ}^3$ ))

ფერდზე „ეტრაბლოკის“ და „შექსაბლოკის“ ნაყარის ყველაზე ეფექტური ზომების და ფორმის დასადგენად საჭიროა მასზე ტალღური დატვირთვის და ფერდზე ტალღის აგორების სიდიდის ( $h_{\text{run up}}$ ) დადგენა.

ა) ფერდის „შექსაბლოკებით“ და „ტეტრაბლოკებით“ ნაყარის ზედა საზღვრის პროგნოზირება ხორციელდება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$h_{\text{run up, max (შექს.)}} = k_{\text{(შექს.)}} \cdot k_w \cdot k_{\text{run up (გლ)}} \cdot h_{1\%}, \quad (1)$$

სადაც  $k_{\text{შექს.}} = 0,60$  – შექსაბლოკებით გამაგრებული ფერდის სიმქისის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დადგენილია ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე. მისი მნიშვნე-

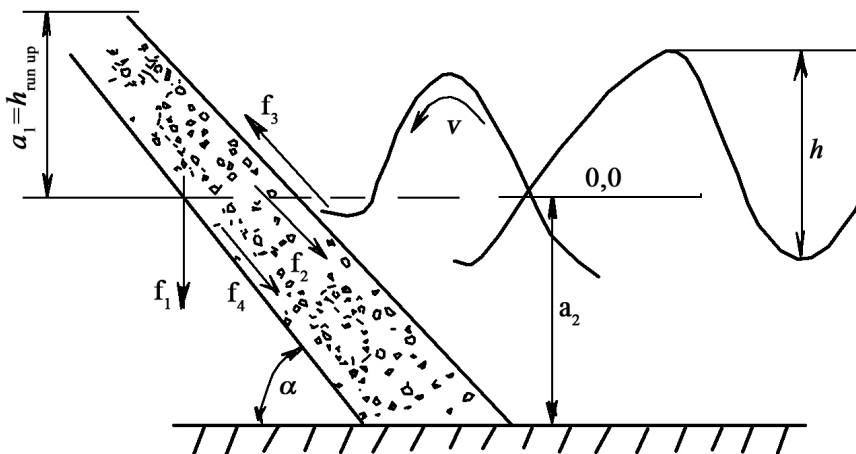
ლობა მიღებულია გლუვ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის ( $h_{run\ up-გლ.}$ ) და „ჰექსაბლოკებით“ გამაგრებულ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის ( $h_{run\ up-ჰექს.}$ ) შეფარდებით –

$$k_{(ჰექს.)} = \frac{h_{run\ up\ ჰექს.}}{h_{run\ up\ გლ.}} = 0,60 \text{ (ფოტო 1); } k_w = 1,5 - \text{კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა სამშენებლო ნორმატივების } СНИП\ 2.06.04-82 \text{ მიხედვით დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე და ფერდის დახრილობაზე); } k_{run\ up(გლ.)} - \text{კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია გლუვ ფერდზე ტალღის დამრეცობაზე (} h/\lambda \text{) და ფერდის დახრილობაზე (} \alpha \text{).}$$



ფოტო 1. „ჰექსაბლოკებით“ გამაგრებული ფერდის მოდელი

„ტეტრაბლოკის“ და „ჰექსაბლოკის“ ოპტიმალური წონის ანგარიში ტარდება სტაბილიზირებადი და გამომწვევი ფაქტორების საფუძველზე, მსგავსების თეორიის გამოყენებით. ანგარიში ტარდება მიღებული განმსაზღვრელი პარამეტრების გათვალისწინებით, ესენია:  $m$  – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ მასა (ტ);  $\rho_m$  – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ მასალის სიმკვრივე (ტ/მ<sup>3</sup>);  $\alpha$  – ფერდის დახრილობის კუთხე (გრადუსებში);  $h$  – ტალღის სიმაღლე (მ);  $\lambda$  – ტალღის სიგრძე (მ);  $\theta$  – ტალღების ნაპირთან მოსვლის კუთხე (რადიანებში);  $\rho$  – წყლის სიმკვრივე;  $g$  – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;  $\mu$  – წყლის კინემატიკური სიბლანტე (იხ. ნახ. 7).



ნახ. 7. „ტეტრაბლოკებით“ შექმნილი კონსტრუქციის მდგრადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების სქემა

მაშინ, განმსაზღვრელი პარამეტრების სისტემა იქნება:

$$f(m, \rho_m, \rho, \alpha, h, \lambda, \theta, g, \mu) = 0 \tag{2}$$

პარამეტრების უგანზომილებო სახით გათვალისწინებით, დამოკიდებულება (2) ასე ჩაიწერება:

$$f\left(\frac{m}{\rho_m \cdot h^3}, \text{ctg}\alpha, \frac{\rho_m}{\rho}, \frac{h}{\lambda}, \theta, \frac{h^2}{\left(\frac{\lambda}{g}\right)^{0.5} \mu}\right) = 0 \quad (3)$$

მაშინ მასივის ელემენტის ოპტიმალური მასაჩაინდება უნივერსალური დამოკიდებულების სახით:

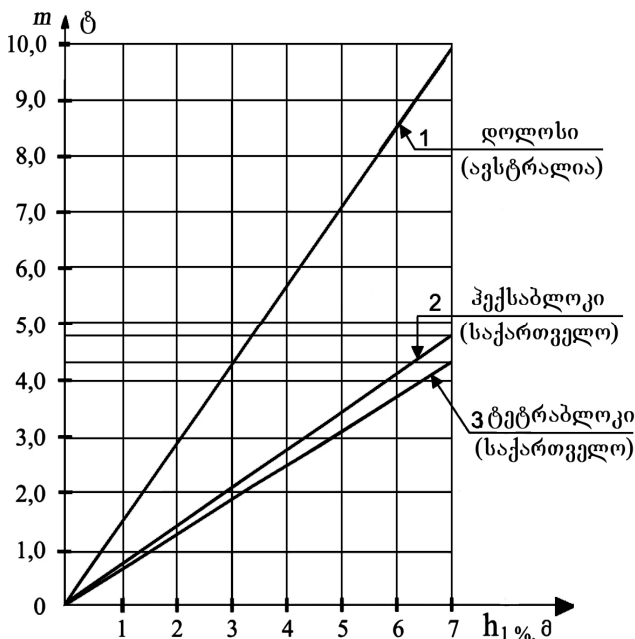
$$m = \frac{a\rho_m h_{1\%}^3}{(\rho_m - \rho)^3 \text{ctg}\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{1\%}}{h_{1\%}}} \quad (4)$$

ცხრილში 1 და მე-8 ნახაზზე მოყვანილია სხვადასხვა ტიპის (დოლოსი, ტეტრაპოდი, ტრიბარი, სტაბიტი, ჰექსაბლოკი და ტეტრაბლოკი) მასივების ფაქტობრივი და საანგარიშო ოპტიმალური მასის მნიშვნელობები.

ცხრილი 1

ფასონური ბლოკების ოპტიმალური წონის ( $m$ ) მონაცემები

№	ადგილმდებარეობა / ბლოკების ტიპი	ფაქტობრივი მნიშვნელობები							საანგარიშო მნიშვნელობები	
		$d, \text{ მ}$	$h_{\%}, \text{ მ}$	$\lambda_{\%}, \text{ მ}$	$\sqrt{\frac{\lambda_{\%}}{h_{\%}}}$	$\text{Ctg}\alpha$	$m, \text{ ტ}$	$a, \text{ დამოკი დ(4)-ში}$	სამშ. ნორმები	დამოკი დ. (4)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	გუმბოლტი (აშშ)/დოლოსი	14,0	12,2	244	4,47	4,0	43,0	0,021	31	41
2	რიჩარდ ბეი (არაბეთი)/დოლოსი	17,9	9,0	134	3,86	2,0	30,0	0,021	29	29
3	ჰეი-პონტი (ავსტრალია)/დოლოსი	10,0	6,1	90	3,84	2,0	10,0	0,023	9	9
4	მინა-რაისუნი (ომანი)/დოლოსი	13,0	7,0	140	4,47	1,5	20,0	0,02	22	21
5	ჰანს ბეი (სამხრ. არაბეთი)/დოლოსი	11,8	6,0	153	5,05	1,5	13,5	0,019	16	15
6	ტეიბლ ბეი (სამხრ. არაბეთი)/დოლოსი	8,8	4,5	130	5,38	1,5	6,0	0,018	7	7
7	კრიშენტ-სიტი (აშშ)/ტეტრაპოდი						25,0		22	24
8	ჰავაი/ტრიბარი						17,8		16	17
9	ინგლისი/სტაბიტი						25,0		23	24
10	საქართველო/ ჰექსაბლოკი	2,3	6,9	69	3,16	3,0	4,5	0,02		4,6
11	საქართველო/ ტეტრაბლოკი	2,3	6,9	69	3,16	3,0	4,2	0,02		4,4



ნახ. 8. ბლოკების მდგრადობის გაანგარიშებული წონის (m) დამოკიდებულება ტალღის სიმაღლესთან (h)

ლაბორატორიულ პირობებში „ჰექსაბლოკების“ და „ტეტრაბლოკების“ გამოკვლევისათვის საჭიროა მექანიკური მსგავსების კანონის გამოყენება, რომელიც გულისხმობს გეომეტრიული, კინემატიკური და დინამიკური მსგავსების შენარჩუნებას ზღვრული და საწყისი პირობების დაცვით.

ტალღების და „ჰექსაბლოკებით“ და „ტეტრაბლოკებით“ ნაყარის ურთიერთქმედების მექანიზმის თავისებურებების გამოკვლევები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში.

ჰიდროდინამიკური და ფიზიკური ლაბორატორიული მახასიათებლების გადაანგარიშება ნატურაში ტალღების მსხვერვის (ჩამოქცევის) ზონამდე, (სადაც პროცესი მიმდინარეობს ავტომოდელურ ზონაში),

ხორციელდება მოდელირების წრფიული მასშტაბისა და ფრუდის კრიტერიუმის გამოყენებით, რომელიც ითვალისწინებს სიძიმის (გრავიტაციული) ძალების იდენტურობას ( $a_L = L_{ნატ} / L_{მოდ}$ ). ტალღების ჩამოქცევის ზონის შემდეგ (სადაც ავტომოდელირება აღარ სრულდება) ტალღის ფერდზე აგორების სიმაღლე და ფერდზე ტალღური წნევის ანგარიში ტარდება მასშტაბური შემასწორებელი კოეფიციენტის ( $K=0,75$ ) გათვალისწინებით, (ცხრ. 2).

ცხრილი 2

ნატურული ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების ლაბორატორიული გადაანგარიშება „ჰექსაბლოკისა“ და „ტეტრაბლოკის“ გამოკვლევისათვის

(ფრუდის კრიტერიუმის გამოყენებით ( $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ ,  $g = idem$ ,  $p = idem$ ))

ფიზიკური სიდიდეები	მასშტაბური წრფივი მამრავლი $a_L = L_{ნატ} / L_{მოდ}$	მოდელური სიდიდეები ტალღების მსხვერვის ზონამდე	მოდელური სიდიდეები ტალღების მსხვერვის ზონაში მასშტაბური კოეფიცი. $K = 0,75$ გათვალ.
1	2	3	4
წრფივი ზომები			
$h$ (ტალღის სიმაღლე)	$a_h = a_L = h_{ნატ} / h_{მოდ}$	$h_{მოდ} = h_{ნატ} / a_L$	$h_{მოდ} = h_{ნატ} / a_L$
$\lambda$ (ტალღის სიგრძე)	$a_\lambda = a_L = \lambda_{ნატ} / \lambda_{მოდ}$	$\lambda_{მოდ} = \lambda_{ნატ} / a_L$	$\lambda_{მოდ} = \lambda_{ნატ} / a_L$
$H_\Sigma$ (წყლის სიღრმე)	$a_\Sigma = a_L = H_{ნატ,\Sigma} / H_{მოდ,\Sigma}$	$H_{მოდ,\Sigma} = H_{ნატ,\Sigma} / a_L$	$H_{მოდ,\Sigma} = H_{ნატ,\Sigma} / a_L$
$l = 3,0 \cdot S^*$ ( $S^*$ ჰექსაბლოკის სიმაღლე)	$a_l = a_L = l_{ნატ} / l_{მოდ}$	$l_{მოდ} = l_{ნატ} / a_L$	$l_{მოდ} = l_{ნატ} / a_L$
$\Omega$ (ფართობის სიდიდე)	$a_\Omega = a_L^2$	$\omega_{მოდ} = \omega_{ნატ} / a_L^2$	$\omega_{მოდ} = \omega_{ნატ} / a_L^2$
$W$ (მოცულობის სიდიდე)	$a_W = a_L^3$	$W_{მოდ} = W_{ნატ} / a_L^3$	$W_{მოდ} = W_{ნატ} / a_L^3$

$h_{run\ up}$ ტალღის აგორების სიმაღლე	$a_{run\ up} = a_L$	$h_{run\ up\ მოდ} = h_{run\ up\ ნაბ} / a_L$	$h_{run\ up\ მოდ} = h_{run\ up\ ნაბ} / a_L$
$t$ (დრო, პერიოდი)	$a_t = a_L^{1/2}$	$t_{მოდ} = t_{ნაბ} / \sqrt{a_L}$	$t_{მოდ} = t_{ნაბ} / \sqrt{a_L}$
$V$ (წრფივი სიჩქარე)	$a_V = a_L^{1/2}$	$V_{მოდ} = V_{ნაბ} / \sqrt{a_L}$	$V_{მოდ} = V_{ნაბ} / \sqrt{a_L}$
$\alpha^\circ$ (კუთხე)	$a_\alpha = 1$	$\alpha_{მოდ}^\circ = \alpha_{ნაბ}^\circ$	$\alpha_{მოდ}^\circ = \alpha_{ნაბ}^\circ$
$m$ (მასა)	$a_m = a_L^3$	$M_{მოდ} = M_{ნაბ} / a_L^3$	$M_{მოდ} = M_{ნაბ} / a_L^3$
$F$ (ძალა)	$a_F = a_L^3$	$F_{მოდ} = F_{ნაბ} / a_L^3$	$F_{მოდ} = F_{ნაბ} / a_L^3$
$E_{გამჭ.}$ (გამჭოლიანობა)	$A_{გამჭ.} = 1$	$E_{გამჭ.მოდ} = E_{გამჭ.ნაბ}$	$E_{გამჭ.მოდ} = E_{გამჭ.ნაბ}$
$P$ (წნევა)	$a_P = a_L$	$P_{მოდ} = P_{ნაბ} / a_L$	$P_{მოდ} = P_{ნაბ} / a_L$

$I = 3,0 \cdot S^*$  – ჰექსაბლოკის და ტეტრაბლოკის ყველაზე ეფექტური ზომაა, რომელიც განპირობებულია მათი მაღალი ტალღაჩამქრობი ეფექტით, ფერდზე მდგრადობით და მათი მშენებლობის ტექნოლოგიის სიმარტივით.

### დასკვნა

ამრიგად, ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ შემოთავაზებული ფიგურული მასივებით გამაგრებულ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლე 40%-ით ნაკლებია.

ტალღების სამოდულო და ნატურული პარამეტრები განისაზღვრება მოდელში და ნატურაში მათი ზომების შესაძლო მაქსიმალური სიდიდის შესაბამისად.

### ლიტერატურა:

1. Bilyay E., Ozbachceci B., Bacanlı S., Kiziroğlu G. A New Approach to Breakwater Design – 2B Block. //Coastal Engineering Proceedings, Bilyay №35, 2016.
2. Iordanishvili I., Iremashvili I., Iordanishvili K., Bilanishvili L., Potskhveria D., Kandelaki N., Sukhishvili N. Grapho-analytical method of forecasting the transformation of abrasion banks of highland water reservoirs. //VII International Scientific and Technical conf. “Modern Problems of water management, environmental protection, architecture and construction”. Tbilisi, 2017, pp. 52-60.
3. Soares F., Henriques M.J., Roca C. Concrete Block Tracking in Breakwater Models. //Conference: FIG Working Week, Helsinki, 2017.
4. Иорданишвили И.К. Откосные крепления с повышенной волногасящей способностью для защиты берегов горных водохранилищ. // Ж. "Энергия", 4(24), Тбилиси, 2002, стр. 166-169.
5. Шеренков И.А., Складнев М.Ф. Применение бетонных блоков для защиты земляных откосов. // Гидротехническое строительство, №2, 1971, стр. 51-54.

## DEVELOPMENT OF NEW CONSTRUCTIONS AGAINST WASHING THE RESERVOIRS ABRASIVE SHORES

Kandelaki N., Iordanishvili I., Iremashvili I., Kupreishvili Sh., Iordanishvili K.

**Summary:** new constructions against washing the reservoirs abrasive shores are being developed – Hexablock and Tetrablock, which are distinguished by the high ripple effect on the slope, their production are more economical compared to the existing one, they are characterized by high piercing, by great traction at the expense of facets, by less weight and stability on the shore of slope.

Using the proposed universal formula, the equilibrium of Hexablock and Tetrablock on the slopes is calculated by taking into account the minimum permissible weight.

**Keywords:** reservoirs, abrasion, figure arrays.