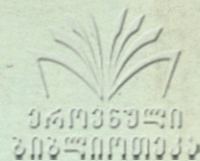


გ. ხმალაძე, ე. ფირცხალავა



# დაპროექტების ფუნქციური საფუძვლები

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

გ. ხმალაძე, ვ. ფირცხალავა

# დაპროექტების ფუნქციური საფუძვლები



რეკომენდებულია სტუ-ის  
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს  
მიერ. 03.04.2013, ოქმი №2

მოცემულია ხალხის ნაკადის მოძრაობა და შენობა-ნაგებობებიდან მათ  
ევაკუაციასთან დაკავშირებული საკითხების მეთოდოლოგია. თეორიულ საკითხებთან  
ერთად მოცემულია პრაქტიკული სამუშაოს შესრულების მაგალითები. დართული  
აქვს საილუსტრაციო მასალა, გრაფიკები, დამატებები დანართების სახით.  
განკუთვნილია არქიტექტურის სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: სრული პროფესორი ლ. ბერიძე,  
ასოცირებული პროფესორი თ. ჭანტურია

რედაქტორი მ. ბაზაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2013  
ISBN 978-9941-20-300-8

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



Verba volant,  
scripta manent

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის ნებისმიერი ნაწილის (ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არც  
ერთი ფორმითა და საშუალებით (ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის  
გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

შპს „ნეკერი“, თბილისი, ქუჩიშვილის ქ. №1

გადაეცა წარმოებას 31.05.2013. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.06.2013.

ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 2. ტირაჟი 100 ეგზ.



საპარტოველოს აარლამაინტის  
ეროვნული ბიბლიოთეკა

1135.364

შენიშვნა-ნაგებობების დაპროექტებისას სხვა სპეციალურ მოთხოვნებთან ერთად მნიშვნელოვანია ხალხის ნაკადისა და ევაკუაციისათვის შესაბამისი პირობების შექმნა, რაზეც მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული ფუნქციურად გამართული შენობის დაპროექტება.

ამ საკითხის დამუშავებისას საჭიროა განისაზღვროს მთავარი და დამხმარე ფუნქციები. ეს ძირითადად ეხება მრავალფუნქციურ შენობა-ნაგებობებს. მთავარი და დამხმარე ფუნქციური პროცესების მიხედვით, შეგვიძლია განვსაზღვროთ სათავსების ზომები, მათი მდებარეობა და ურთიერთგანლაგება.

შენობაში მთავარი და დამხმარე ფუნქციის მქონე სათავსები ქმნიან სისტემას, სადაც ურთიერთკავშირი მყარდება საკომუნიკაციო გასასვლელების მეშვეობით, რომლის ერთ-ერთი, ძირითადი, ფუნქციური დანიშნულებაა ხალხის ნაკადის დაუბრკოლებელი გადაადგილება და მისი დროული ჩვეულებრივი ან იძულებითი ევაკუაცია. შენობის სათავსების განლაგებისა და პარამეტრების განსაზღვრის დროს ფუნქციური ფაქტორების გათვალისწინების შემთხვევაში, ზემოაღნიშნულის გარდა, მიიღწევა მინიმალურად დასაშვები პარამეტრები, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა.

შენობა-ნაგებობათა მრავალგვარობიდან გამომდინარე, აუცილებელი გახდა მათი სისტემატიზაცია ფუნქციური ნიშან-თვისებების მიხედვით. საზოგადოებრივი და სამრეწველო შენობები (სადაც ხალხის დიდი ნაკადია) შეგვიძლია დავყოთ 2 პირობით ჯგუფად:

1. შენობა-ნაგებობები, სადაც ძირითადი ფუნქციური პროცესი<sup>1</sup> არის დროული ევაკუაცია ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში. ასეთ ობიექტებს მიეკუთვნება სამაყურებლო დარბაზები, სასპორტო ნაგებობები, კინოთეატრები და სხვა შენობა-ნაგებობები, სადაც სენსის, მატჩის ან სხვა ღონისძიების დასრულების შემდეგ ხდება მათი ერთდროული განტვირთვა ნორმით დადგენილ დროში ( $t_{\text{ზღ}}$  – ზღვრული დრო), ხოლო ავარიული ევაკუაციის დრო იანგარიშება შენობის დანიშნულების, სიდიდისა და ხანძარმდეგობის მიხედვით ანუ ევაკუაციის  $t$  დრო არ უნდა აღემატებოდეს დადგენილ  $t_{\text{ზღ}}$  ზღვრულ დროს. ხალხის მოძრაობის გზების ასეთ მდგომარეობას ეწოდება პირველი ზღვრული მდგომარეობა, რომელიც გამოისახება პირობით:

$$t \leq t_{\text{ზღ}}$$

2. შენობა-ნაგებობანი, სადაც ძირითადი ფუნქციური პროცესი არის ხალხის ნაკადის უწყვეტი გადაადგილება (სადგური, სავაჭრო ცენტრი, საგამოფენო დარბაზი და სხვა). ამ შემთხვევაში შენობა უნდა აკმაყოფილებდეს ხალხის მოძრაობისათვის აუცილებელ ნორმალურ პირობებს ანუ ნაკადის  $D$  სიმჭიდროვე არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ  $D_{\text{ზღ}}$  ზღვრულ სიმჭიდროვეს მოცემული ობიექტისათვის. ასეთ მდგომარეობას ეწოდება მეორე ზღვრული მდგომარეობა, რომელიც გამოისახება პირობით:

$$D \leq D_{\text{ზღ}}$$

ე.ი. ყოველი სახის შენობა-ნაგებობისათვის საჭიროა განისაზღვროს საანგარიშო პირობები. მაგალითად, თეატრისა და მსგავსი ტიპის შენობებში ძირითადი მოთხოვნა არის ევაკუაცია როგორც ნორმალურ, ისე ექსტრემალურ პირობებში. ნორმალურ შემთხვევაში ანგარიში ხორციელდება მხოლოდ პირველი ზღვრული მდგომარეობით ( $t \leq t_{\text{ზღ}}$ ), ხოლო მეორე შემთხვევაში – როგორც პირველი, ისე მეორე ზღვრული მდგომარეობით.

1 ამ შემთხვევაში იგულისხმება ხალხის ნაკადის მოძრაობა.

# 1. ხალხის ნაკადის გადაადგილების სახეები და გზები



საკომუნიკაციო გზებისა და მთლიანი შენობა-ნაგებობების დაპროექტებისას ერთ-ერთი განმსაზღვრელი ფაქტორი არის ხალხის ნაკადი და მისი პარამეტრები, რაც, პირველ რიგში, დამოკიდებულია ადამიანის გაბარიტებზე, ხალხის რაოდენობაზე გზის მოცემულ მონაკვეთზე, ამ მონაკვეთის კონფიგურაციასა და ფართობზე.

როგორც შესავალში ითქვა, მოძრაობა შეიძლება იყოს ხანმოკლე ანუ როდესაც შენობა-ნაგებობების დაპროექტებისას ძირითადი მოთხოვნა არის ხალხის უპრობლემო ევაკუაცია:

1. ნორმალური ევაკუაცია – როდესაც იგი შეესაბამება შენობა-ნაგებობაში მიმდინარე ყოველდღიურ ფუნქციურ პროცესს.
2. ინტენსიური (იძულებითი) – მიმდინარეობს ავარიულ სიტუაციაში.

მოძრაობა შეიძლება იყოს ხანგრძლივი, როდესაც ხალხი გადაადგილდება შენობაში მისი ფუნქციური დანიშნულებიდან გამომდინარე.

დაპროექტებისას გასათვალისწინებელია მასობრივი, ნაკადური, შეუთანხმებელი ხანმოკლე მოძრაობა, მიმდინარე ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში და მასობრივი, ნაკადური, შეუთანხმებელი ხანგრძლივი მოძრაობა, მხოლოდ მიმდინარე ნორმალურ პირობებში.

შენობა-ნაგებობებში ხალხის ნაკადის გადაადგილების გზა ან ჰორიზონტალურია (გასასვლელი, დერეფანი და სხვა ჰორიზონტალური კომუნიკაციური სათავსები), ან დახრილი (კიბე და პანდუსი).

დახრილი გზის  $L$  სიგრძე გამოითვლება მისი აბსოლუტური ზომიდან და არა  $L'$  ჰორიზონტალური პროექციიდან ანუ

$$L = L' / \cos \alpha; \text{ სადა } \alpha \text{ ჰორიზონტთან დახრის კუთხეა.}$$

კიბის დახრილობა შეიძლება იყოს  $\alpha = 30 - 32^\circ$ . კიბის ბაქანი, მცირე ზომის გამო, განიხილება როგორც გზის დახრილი მონაკვეთი. აქედან კიბის საშუალო სიგრძე იქნება:

ორმარშიანი კიბის შემთხვევაში

$$L = 2L' / \cos \alpha + 4b$$

სამმარშიანი კიბის შემთხვევაში

$$L = L' (3 / \cos \alpha + 1) + 4b; \text{ სადა } b \text{ ბაქნის სიგრძეა.}$$

პანდუსად ჩაითვლება გზის მონაკვეთი თუ მისი დახრილობა მეტია 1:8, წინააღმდეგ შემთხვევაში იგი მიეკუთვნება ჰორიზონტალურ გზას.

ანგარიშის გასამარტივებლად ორმარშიანი კიბის სიგრძე შეიძლება მივიღოთ  $L = 3H$  ( $H$  სართულის სიმაღლეა).

მოძრაობის გზა შეიძლება იყოს მრავალნაირი კონფიგურაციის. ხდება მისი შევიწროება, გაფართოება, შეიძლება ჰორიზონტალური გზა ესაზღვრებოდეს დახრილს ან იკვეთებოდეს ლიობით. გზის მომიჯნავე მონაკვეთების ურთიერთკავშირის ვარიანტები ნაჩვენებია მე-2 სურათზე.

## 2. ხალხის ნაკადის პარამეტრები



### 2.1. ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე

საკომუნიკაციო გზების და მთლიანად შენობის დაპროექტებისას ერთ-ერთ სპეციალურ და განმსაზღვრელ ფაქტორად გვევლინება ადამიანის გადაადგილების თავისუფლება, რომელიც პირველ რიგში დამოკიდებულია ხალხის რაოდენობაზე, მათ გაბარიტებზე, ნაკადის მოძრაობის გზის კონფიგურაციაზე და მის ფართობზე.

ადამიანის გაბარიტებში იგულისხმება მისი ჰორიზონტალური პროექციის ფართობი (სურ. 1). ეს სიდიდე დამოკიდებულია ასაკზე, ტანსაცმელზე, ხელბარგის სახეობასა და სხვა. ადამიანის ჰორიზონტალურ პროექციად მიღებულია ელიფსი, რომლის დიდი დიამეტრის ზომა შეესაბამება ადამიანის მხრების სიგანეს, ხოლო მცირე დიამეტრი სისქეს (სურ. 1). ცხრილში მოცემულია ელიფსის  $f$  ფართობი სხვადასხვა პირობების დროს.

ადამიანის ტანსაცმელი და ხელბარგი	ჰორიზონტალური პროექციის ფართობი $f$ მ <sup>2</sup>
საზაფხულო	0,1
საზამთრო	0,125
ზამთრის ტანსაცმელი ხელბარგით	0,15

ადამიანის გადაადგილების თავისუფლების კრიტერიუმად გვევლინება ნაკადის სათავის ფართობზე განლაგების  $D$  სიმჭიდროვე, რომელიც გამოისახება ფორმულით:

$$D = N/F,$$

სადაც  $N$  ხალხის რაოდენობაა,  $F$  – ხალხის ნაკადის ფართობი.

სიმჭიდროვის ზუსტად განსაზღვრისათვის გამოვიყენებთ ადამიანების ჰორიზონტალური პროექციების ჯამს  $\Sigma f$  მ<sup>2</sup>. მაშინ სიმჭიდროვის განმსაზღვრელი ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$D = Nf/F,$$

შემდგომ ხალხის  $N$  რაოდენობაში ვიგულისხმებთ ნაკადში მ<sup>2</sup>-ებით გამოსახულ ჰორიზონტალური პროექციების ჯამს:

$$N = \Sigma f$$

საბოლოოდ ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე გამოისახება ფორმულით:

$$D = N/\ell\delta$$

სადაც  $N$  არის ხალხის რაოდენობა მ<sup>2</sup>-ებით

$\ell$  – ხალხის ნაკადის სიგრძე,

$\delta$  – ხალხის ნაკადის სიგანე.<sup>2</sup>

ნაკადის სიმჭიდროვე შეიძლება გამოისახოს ერთ კაცზე მოსული იატაკის ფართობით:

$$D = \ell\delta/N$$

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ნორმალურ პირობებში სიმჭიდროვის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს  $D_{max}=0,92$ . იძულებითი ევაკუაციის შემთხვევაში შესაძლოა სიმჭიდროვე გაიზარდოს, რაც უბედური შემთხვევების ერთ-ერთი ძირითადი წინაპირობაა.

<sup>2</sup> ხალხის ნაკადის სიგანე  $\delta$  შეესაბამება გზის მონაკვეთის სიგანეს.

## 2.2. ხალხის ნაკადის სიჩქარე და დრო



ხალხის ნაკადის  $v$  სიჩქარე  $D$  სიმჭიდროვის და გზის სახეობის ფუნქციაა. დადგენილია, რომ  $v$  სიჩქარის მნიშვნელობა  $D$  სიმჭიდროვის უკუპროპორციულია. ამავე დროს ერთი და იმავე  $D$ -ს შემთხვევაში სიჩქარე დამოკიდებულია გზის სახეობაზე (ჰორიზონტალური, დახრილი და ლიობი). ნორმალურ პირობებში სიმჭიდროვის, სიჩქარის და გზის სახეობის ურთიერთდამოკიდებულება ნაჩვენებია გრაფიკზე (სურ. 4, ა), ხოლო დეტალურად არის მოცემული პირველ დანართში, სადაც ჩანს ურთიერთკავშირი ნაკადის სიმჭიდროვესა და სიჩქარეს შორის ავარიული, ნორმალური და კომფორტული მოძრაობების<sup>3</sup> პირობებში.

ხალხის ნაკადი შეიძლება გადაადგილდებოდეს ექსტრემალურ (ავარიულ) პირობებში, მაგალითად, ხანძრის დროს. ამ შემთხვევაში, ფსიქოლოგიური ფაქტორიდან გამომდინარე, მოძრაობის სიჩქარე იზრდება (ნაკადის იმავე სიმჭიდროვისას). აქედან გამომდინარე, ავარიული ევაკუაციის შემთხვევაში  $t_{ავარ} < t_{ნორმ}$ .

ავარიულ და კომფორტულ პირობებში ხალხის მოძრაობის სიჩქარის შეფარდებას სიჩქარესთან ნორმალურ პირობებში მოძრაობის პირობების  $\mu$  კოეფიციენტი ეწოდება (იხ. ცხრილი 2).

ცხრილი 2

მოძრაობის პირობები	მოძრაობის პირობების $\mu$ კოეფიციენტი		
	ავარიული $\mu_a$	ნორმალური $\mu_n$	კომფორტული $\mu_k$
ჰორიზონტალური ლიობები	1,49 – 0,36	1	0,63+0,25D
კიბე (ჩასვლა)	1,21	1	0,76
კიბე (ასვლა)	1,26	1	0,82

უფრო ზუსტი მონაცემები მოცემულია პირველ დანართში.

ევაკუაციის დრო დარბაზის ტიპის I და II ხარისხის ხანძარმედევობის შენობებისათვის მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

სათავსის დასახელება	ევაკუაციის დრო წუთობით სათავსის მოცულობა ათას მ <sup>3</sup> -მდე				
	5	10	20	40	60
სამაყურებლო დარბაზი (თეატრი, კლუბი)	1,5	2,0	2,5	2,5	–
საკონცერტო საგამოფენო დარბაზი, დახურული სპორტული ნაგებობები	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5
სავაჭრო ცენტრი, სუპერმარკეტები	1,5	2,0	2,5	2,5	3,0

ევაკუაციის ზღვრული დრო განისაზღვრება როგორც ხანძარსაწინააღმდეგო, ისე ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო პირობებით. ზღვრული მდგომარეობის დადგენა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საკომუნიკაციო სათავსების პარამეტრები. გზის ცალკეულ

<sup>3</sup> კომფორტული მოძრაობა წარმოადგენს ნორმალურ პირობებში მოძრაობის ნაირსახეობას, როცა ხალხის მასა მოძრაობს დაუბრკოლებლად საზეიმო განწყობით. ამ შემთხვევაში სიჩქარეები ნაკლებია, ვიდრე ნორმალური პირობების დროს.



მონაკვეთებზე უმარტივეს შემთხვევაში, როდესაც ცნობილია ხალხის გადაადგილებისათვის დადგენილი ზღვრული დრო  $t_{ზღ}$  და ამ გზაზე ნაკადის  $v$  სიჩქარე, შეგვიძლია განვსაზღვროთ გზის მონაკვეთის მაქსიმალური  $L_{ზღ}$  სიგრძე, აქედან  $L_{ზღ} = vt$ . როდესაც ცნობილია  $L_{ზღ}$ ,  $D$  და გზის მონაკვეთზე ხალხის რაოდენობა  $N(m^2)$ , შეგვიძლია ვიანგარიშოთ მისი საჭირო  $\delta$  სიგანე:

$$\delta = N / L_{ზღ} \cdot D$$

სათავსიდან უახლოესი საევაკუაციო გასასვლელის მაქსიმალური დაშორება მეტრობით მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

ხანძ. მედ. ხარ.	მანძილი ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვის (D) მიხედვით				
	0,3-მდე	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6 ზემოთ
კიბის უფრედს ან გარე გასასვლელს შორის მდებარე სათავსიდან					
I-III	60	50	40	35	20
IV	40	35	30	25	15
V	30	25	20	15	10
სათავსიდან, რომელიც გადის ჩიხურ დერეფანსა ან ჰოლში					
I-III	30	25	20	15	10
IV	20	15	15	10	7
V	15	10	10	5	5

### 2.3. გზის გამტარუნარიანობა და ხალხის ნაკადის ინტენსიურობა

გზის გამტარუნარიანობა (Q) არის ხალხის რაოდენობა, რომელიც გაივლის  $\delta$  სიგანის გზის განივკვეთში დროის ერთეულში:

$$Q = Dv\delta;$$

ვინაიდან ნაკადის სიმჭიდროვე და სიჩქარე ცვალებადია, ხოლო გზის სიგანე კონკრეტულ შემთხვევაში არის უცვლელი, გამტარუნარიანობას აქვს თავისი ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ მას არ გააჩნია უნარი მთლიანად გაატაროს ხალხის მასა, რის შედეგად გზის მონაკვეთის საზღვარზე წარმოიქმნება ხალხის შეჯგუფება. მოძრაობის ნორმალურ პირობებში შეჯგუფების ადგილებში შემჭიდროების მაჩვენებელი არ უნდა აღემატებოდეს  $D_{max} = 0,92$ . აქედან გამომდინარე, ნაკადის დაუბრკოლებელი გადაადგილებისათვის მთელ მარშრუტზე გზის წინა  $n$  მომიჯნავე მონაკვეთის გამტარუნარიანობა არ უნდა აღემატებოდეს გზის შემდეგი  $(n+1)$  მონაკვეთის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას:

$$Q_n \leq Q_{(n+1)max}$$

გზის გამტარუნარიანობასთან ერთად აუცილებელია განისაზღვროს ე.წ.  $q$  მოძრაობის ინტენსიურობა, რომელიც ისევე, როგორც ნაკადის სიჩქარე სიმჭიდროვის ფუნქციაა. ამავე დროს იგი არ არის დამოკიდებული გზის სიგანეზე ანუ ასახავს ნაკადის მოძრაობის კინეტიკას. გზის მონაკვეთზე განსაზღვრული (არამაქსიმალური) სიმჭიდროვის შემთხ-



ვევაში მოძრაობის ინტენსიურობა აღწევს მაქსიმუმს ( $q_{max}$ ), ხოლო შემდეგ ისევ მცირდება. როგორც გრაფიკიდან (სურ. 4, ბ) და პირველი დანართიდან ჩანს,  $q_{max}$ -ის მნიშვნელობა მოძრაობის სხვადასხვა პირობისათვის განსხვავებულია. მაგალითად, ჰორიზონტალური გზისთვის (ნორმალურ პირობებში) დადგენილია  $q_{max} = 10,13$ , ღიობებში  $q_{max} = 10,59$ , კიბეზე ქვევით  $q_{max} = 7,48$ , კიბეზე ზევით  $q_{max} = 7,29$ . აქედან გამომდინარე განსაზღვრული სიგანის გზის მაქსიმალური გამტარუნარიანობა  $Q_{max}$  დამოკიდებულია მასზე ნაკადის მაქსიმალურ ინტენსიურობაზე  $q_{max}$ :

$$Q_{max} = q_{max} \cdot \delta$$

### 3.1. ხალხის ნაკადის პარამეტრების ცვლილებები გზის მომიჯნავე მონაკვეთების საზღვრებთან

გზის მომიჯნავე მონაკვეთების საზღვარი ეწოდება ადგილს, სადაც იცვლება გზის სახეობა ან მისი სიგანე. მაგ., ჰორიზონტალური და დახრილი გზები, ღიობები და სხვა. მე-2 სურათზე ნაჩვენებია გზის მომიჯნავე მონაკვეთების შეთავსების შესაძლო ვარიანტები.

დადგენილია, რომ ხალხის ნაკადის მომიჯნავე მონაკვეთების საზღვარზე დაუბრკოლებლად გადასასვლელად საჭიროა ამ მონაკვეთების გამტარუნარიანობა ( $Q$ ) იყოს ერთნაირი. განვიხილოთ ხალხის მოძრაობა ორ სხვადასხვა სიგანის მომიჯნავე ჰორიზონტალური მონაკვეთის საზღვარზე (სურ. 2,1). ნაკადი ხალხის  $N$  რაოდენობით  $n$  მონაკვეთზე  $Q_n$  გამტარუნარიანობით მოძრაობს მომიჯნავე  $n+1$  მონაკვეთის საზღვრის გასწვრივ და განაგრძობს გზას  $n+1$  მონაკვეთზე  $Q_{n+1}$  გამტარუნარიანობით. დაუბრკოლებელი მოძრაობის შემთხვევაში  $n$  მონაკვეთიდან  $n+1$  მონაკვეთზე  $t$  დროში გაივლის ხალხის იგივე რაოდენობა ანუ  $N_n = N_{n+1}$ , რაც შეგვიძლია ასე გამოვსახოთ:

$$Q_n t = Q_{n+1} t \text{ ანუ } Q_n = Q_{n+1};$$

სხვანაირად

$$q_n \delta_n = q_{n+1} \delta_{n+1};$$

ინტენსიურობა გზის მონაკვეთზე ასე გამოისახება:

$$q_{n+1} = q_n \cdot \delta_n / \delta_{n+1}$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარე, მოძრაობის ინტენსიურობა გზის მომიჯნავე მონაკვეთზე ამ მონაკვეთების სიგანეთა უკუპროპორციულია.

გზის მონაკვეთებზე ხალხის ნაკადის დროს პარამეტრების ცვლილებები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს გრაფიკული სახით (სურ. 3), სადაც ჩანს ნაკადის მოძრაობის პროცესი სხვადასხვა სიგანის  $n$  და  $n+1$  გზის მონაკვეთებზე.

ხალხის მასის მოძრაობის გრაფიკი აიგება კოორდინატებით: სადაც „ა“ გზის გეგმა, „ბ“ – გზის სქემა, „გ“ კი საანგარიშო გრაფიკი,  $t=0$  – ნაკადის სათავე ნაწილის შემოსვლის მომენტი გზის  $n$  მონაკვეთზე,  $t_1$  – ნაკადის ჩამკეტი ნაწილის შემოსვლის დრო გზის იმავე მონაკვეთზე,  $t_2$  და  $t_3$  – ნაკადის შესაბამისად სათავე და ჩამკეტი ნაწილების  $n+1$  მონაკვეთზე გასვლის დრო, დასასრულ  $t_4$  და  $t_5$  – შესაბამისად ნაკადის სათავე და ჩამკეტი ნაწილების მოძრაობის დასრულების დრო.

იმ შემთხვევაში, თუ გზის  $n+1$  მონაკვეთის გამტარუნარიანობა  $Q_n$  ნაკლებია  $Q_{n+1}$ -ზე, მაშინ საზღვართან წარმოიქმნება ხალხის შეჯგუფება, რადგან  $n+1$  მონაკვეთს არ შეუძლია  $t$  დროში გაატაროს ხალხის მთლიანი რაოდენობა ანუ  $Q_n > Q_{n+1}$ . ამ შემთხვევაში მოძრაობის ინტენსიურობა გზის  $n+1$  მონაკვეთზე აღემატება მაქსიმუმს (გზის კონკრეტული სახეობისათვის) და

$$q_{n+1} = q \cdot \delta_n / \delta_{n+1} > q_{\max}$$

ეს გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ გზის  $n+1$  მონაკვეთის პარამეტრები შეესაბამება მეტ სიმჭიდროვეს, ვიდრე დასაშვებია  $q_{\max}$ -ის დროს. ამ შემთხვევაში  $n+1$  მონაკვეთის წინ

წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე. აქედან გამომდინარე  $n+1$  მონაკვეთზე საჭიროა  $D=0,92$ -ის შესაბამისი პარამეტრების მიღება.

ვინაიდან ხალხის მასის მოძრაობის დრო  $t=N/Q$ , ხალხის შეჯგუფების შედეგად მოძრაობის შეფერხების დრო  $\tau$  იქნება:

$$\tau = N/Q_{n+1} - N/Q_n = N(1/Q_{n+1} - 1/Q_n)$$

გასათვალისწინებელია, რომ  $q_{n+1}$ -ის ერთსა და იმავე მნიშვნელობას შეესაბამება  $D_{n+1}$ -ის ორი მნიშვნელობა (იხ. სურათი 4, ბ). მაგალითად, ჰორიზონტალურ გზაზე მოძრაობის ნორმალური პირობების შემთხვევაში  $q_{n+1}=8,55$ -ს შეესაბამება  $D_{n+1}=0,51$  და  $D_{n+1}=0,92$ . ეს გამონვეულია იმით, რომ გზის მომიჯნავე მონაკვეთზე მოძრაობის დროს ხალხის თავმოყრის შემთხვევაში (როცა  $q_{n+1} > q_{max}$ ) ხდება ნაკადის შემდგომი განმჭიდროება ანუ საზღვრიდან გზის გაგრძელების შემდეგ სიმჭიდროვე მცირდება  $D_{max}$ -თან შედარებით და უტოლდება მის მეორე მნიშვნელობას. ნაკადის განმჭიდროება ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ  $n+1$  მონაკვეთს აქვს გარკვეული სიგრძე ( $>0,7$  მ). ღიობში, სადაც გზის სიგრძე პრაქტიკულად 0-ის ტოლია, ნაკადის განმჭიდროება არ შეიმჩნევა (იხ. მაგ. 1 და მაგ. 2).

### 3.2. ხალხის ნაკადების შეერთება (შერწყმა) და დანაწევრება

რამდენიმე ნაკადის შეერთება და ნაკადის დანაწევრება, როგორც წესი, ხდება სხვადასხვა სახის და სიგანის გზების გადაკვეთის შემთხვევაში (კიბის უჯრედებთან, ვესტიბიულებთან, სხვადასხვა სიგანის დერეფნებთან და ა.შ.). ნაკადების შეერთების შემთხვევაში ძალაშია იგივე კანონები, რომლებიც მოცემულია 3.1 ქვეთავში.

დავუშვათ, რომ  $n_1, n_2$  და  $n_3$  მონაკვეთებზე მოძრაობს სამი ნაკადი. ხალხის რაოდენობა შესაბამისად არის  $N_{n1}, N_{n2}$  და  $N_{n3}$ , გზების გამტარუნარიანობა კი -  $Q_{n1}, Q_{n2}$  და  $Q_{n3}$ . სამივე ნაკადი ერთდროულად მიდის  $n+1$  მონაკვეთის საზღვართან, რის შემდეგ შეერთდებიან და განაგრძობენ გზას  $n+1$  მონაკვეთზე (სურ. 5,ა). ვიცით, რომ ნაკადის მიერ მონაკვეთების საზღვრის დაუბრკოლებლად გადაკვეთისათვის ყველგან მათი გამტარუნარიანობა ერთნაირი უნდა იყოს ანუ  $Q_n = Q_{n+1} m^2/წთ$ , მაშასადამე:

$$Q_{n1} + Q_{n2} + Q_{n3} = Q_{n+1} m^2/წთ \text{ ანუ}$$

$$\sum Q_n = q_{n+1} \delta_{n+1} \text{ საიდანაც}$$

$$q_{n+1} = \sum Q_n / \delta_{n+1} m^2/წთ.$$

ე.ი. თავშეყრისკენ მიმავალი ნაკადების პარამეტრებით, შეგვიძლია დავადგინოთ გაერთიანებული ნაკადის პარამეტრები, რისთვისაც საჭიროა განისაზღვროს მოძრაობის  $q_{n+1}$  ინტენსიურობა ( $q_{n+1} = q_n \cdot \delta_n / \delta_{n+1}$ ). ხოლო სიმჭიდროვე და მოძრაობის სიჩქარე პირველი დანართიდან (იხ. მაგალითი 5).

გამტარუნარიანობების უტოლობის შემთხვევაში ( $\sum_1^n Q_n > Q_{n+1}$ ) მოძრაობის ინტენსიურობა იქნება მაქსიმალურზე მეტი:

$$q_{n+1} = \sum_1^n Q_n / \delta_{n+1} > q_{max}$$

ამის შედეგად  $n+1$  მონაკვეთის საზღვარზე წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე და ხალხის შეჯგუფება იწყებს გავრცელებას ყველა მომიჯნავე მონაკვეთზე ( $n_1, n_2, \dots$ ).

$n+1$  მონაკვეთზე ნაკადის მოძრაობა ხდება  $q_{max}$ -ის შესაბამისად. როგორც 3.1. ქვეთავში იყო აღნიშნული, თუ  $n+1$  მონაკვეთს აქვს შესაბამისი სიგრძე ( $>0,7$  მ) ნაკადის სიმჭიდროვე განმჭიდროების შედეგად ლეზულობს მეორე (ნაკლებ) მნიშვნელობას, რომელიც პასუხობს მოძრაობის იმავე ინტენსიურობას (იხ. მაგალითი 5).

ერთი ნაკადის რამდენიმე ნაკადად განშტოება არის შეერთების საწინააღმდეგო პროცესი. განვიხილოთ ხალხის ნაკადის განაწილების რამდენიმე შემთხვევა გზის განშტოების შემთხვევაში.

1. ყველაზე მარტივი შემთხვევაა, როცა განშტოების შემდეგ მოძრაობის გზების სიგრძე, სიგანე და მოძრაობის პირობები ერთნაირია. ამიტომ, როდესაც  $Q_{n-1} = Q_{n1} + Q_{n2} + \dots + Q_{nn}$ , გზებზე, სადაც განაგრძობს მოძრაობას განშტოებული ნაკადი იქმნება ერთნაირი სიმჭიდროვე და ერთნაირი გამტარუნარიანობა. ამიტომ შეგვიძლია ადვილად განვსაზღვროთ მოძრაობის პარამეტრები მოძრაობის ინტენსიურობის მნიშვნელობიდან:

$$q_n = Q_{n-1} / \sum \delta_n;$$

2. მოძრაობის გზები განსხვავებულია სიგანით ( $\delta$ ), მაგრამ იდენტურია სხვა პარამეტრებით. ამ შემთხვევაში ერთნაირი იქნება ნაკადის განშტოების მოძრაობის ინტენსიურობა და სიმჭიდროვე. განსხვავებული იქნება მხოლოდ განშტოების გზების გამტარუნარიანობა.

3. ხდება ხალხის ნაკადის განშტოება წინასწარ დადგენილი შეფარდებით (ხალხის სხვადასხვა რაოდენობით და გზების სხვადასხვა სიგანით).  $N_{n1}, N_{n2}, \dots, N_{nn}$  და  $\delta_{n1}, \delta_{n2}, \dots, \delta_{nn}$  მოცემული სიდიდეებიდან ვპოულობთ ნაკადის განშტოების გამტარუნარიანობებს  $Q_{n1}, Q_{n2}, \dots, Q_{nn}$ :

$$Q_{n1} = Q_{n-1} \cdot N_{n1} / \sum N_n;$$

$$Q_{n2} = Q_{n-1} \cdot N_{n2} / \sum N_n;$$

.....

$$Q_{nn} = Q_{n-1} \cdot N_{nn} / \sum N_n;$$

აქედან მოძრაობის ინტენსიურობა:

$$q_{n1} = Q_{n1} / \delta_{n1};$$

$$q_{n2} = Q_{n2} / \delta_{n2};$$

.....

$$q_{nn} = Q_{nn} / \delta_{nn};$$

D და v განისაზღვრება მე-4, ა სურათით და I დანართიდან.

### მაგალითი 1

განისაზღვროს მოძრაობის პარამეტრები ლიობში (მონაკვეთი  $n+1$ , სურ. 2, 3). ლიობის სიგანე  $\delta_{n+1} = 1,5$  მ, ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე  $n$  მონაკვეთზე  $D_n = 0,63$ . მოძრაობის ინტენსიურობა  $n$  მონაკვეთზე  $q_n = 9,55$  მ/წმ,  $n$  მონაკვეთზე გამტარუნარიანობა  $Q_n = 28,65$  მ<sup>2</sup>/წთ. ლიობში მოძრაობის ინტენსიურობა იქნება:

$$q_{n+1} = q_n \cdot \delta_n / \delta_{n+1} = Q_n / \delta_{n+1} = 28,65 / 1,5 = 19,1 \text{ მ/წთ} > q_{\max} = 10,59 \text{ მ/წთ.}$$

(იხ. პირველი დანართი საიდანაც დადგენილია  $q_{\max}$ , რომელიც შეესაბამება მოცემულ სიმჭიდროვეს  $D_n = 0,63$ ). აქედან გამომდინარე, ვინაიდან  $q_{n+1} > q_{\max}$ , ლიობთა მაქსიმუმამდე იზრდება სიმჭიდროვე და მოძრაობის პარამეტრები იქნება:  $D_{n+1} = 0,92$ , პირველი დანართიდან  $v_{n+1} = 9,85$  მ/წთ,  $q_{n+1} = 9,06 < q_{\max} = 10,59$  მ/წთ.

$$Q_{n+1} = q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} = 9,06 \cdot 1,5 = 13,53 < Q_n = 28,65 \text{ მ}^2/\text{წთ.}$$

### მაგალითი 2

განისაზღვროს ხალხის ნაკადის პარამეტრები  $\delta_{n+1} = 1,5$  მ სიგანის დერეფანში (სურ. 2.2), თუ  $D_n = 0,63$ ,  $q_n = 9,55$  მ/წთ,  $Q_n = 28,65$  მ<sup>2</sup>/წთ.

განვსაზღვროთ დერეფანში მოძრაობის ინტენსიურობა:

$$q_{n+1} = q_n \cdot \delta_n / \delta_{n+1} = 28,65 / 1,5 = 19,1 \text{ მ/წთ} > q_{\max} = 10,13 \text{ მ/წთ.}$$

პირველი დანართიდან  $q_{\max}$ -ს ჰორიზონტალურ გზებზე შეესაბამება  $D = 0,75$ . ამ შემთხვევაში  $n+1$  დერეფნის წინ მოხდება ხალხის თავშეყრა და მოძრაობა შეფერხდება. პირველი დანართიდან გამომდინარე, მოძრაობის პარამეტრები იქნება:

$$D_{n+1} = D_{\max} = 0,92, v_{n+1} = 9,08 \text{ მ/წთ}, q_{n+1} = 8,35 \text{ მ/წთ}, Q_{n+1} = q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} = 8,35 \cdot 1,5 = 12,52 \text{ მ}^2/\text{წთ} < Q_n = 28,65 \text{ მ}^2/\text{წთ.}$$

ვინაიდან სიმჭიდროვე  $D_{n+1} = D_{\max} = 0,92$  იქნება მხოლოდ  $n+1$  მონაკვეთის (დერეფნის) დასაწყისში, განმჭიდროების ხარჯზე (მოძრაობის იმავე ინტენსიურობის  $q_{n+1} = 8,36$  მ/წთ შემთხვევაში) სიმჭიდროვის მეორე მნიშვნელობა იქნება  $D_{n+1} = 0,51$  და  $n+1$  მონაკვეთის პარამეტრები განისაზღვრება  $D_{n+1} = 0,51$  სიმჭიდროვიდან გამომდინარე.

### მაგალითი 3

განისაზღვროს ხალხის ნაკადის პარამეტრები და მოძრაობის დამთავრების დრო გზაზე, რომელიც შედგება ორი სხვადასხვა სიგანის და სახის მონაკვეთისაგან –  $n$  ჰორიზონტალური მონაკვეთი და კიბე ზევით  $n+1$  (სურ. 2,4).

$$\text{მოცემულია } L_n = 20 \text{ მ}, \delta_n = 3 \text{ მ}, N = 30 \text{ მ}^2, D_n = 0,7, L_{n+1} = 15 \text{ მ}, \delta_{n+1} = 1,5 \text{ მ.}$$

დანართიდან განვსაზღვროთ  $q_n = 10,02$  მ/წთ,  $v_n = 14,3$  მ/წთ, აქედან  $Q_n = q_n \cdot \delta_n = 10,02 \cdot 3 = 30,06$  მ<sup>2</sup>/წთ.

განვსაზღვროთ მოძრაობის დრო გზის პირველ (ჰორიზონტალურ) მონაკვეთზე. გზის პირველი ნაწილის საზღვრამდე ნაკადის ჩამკეტი ნაწილის მოძრაობის დრო  $t_n' = L_n/v_n = 20/14,3 = 1,39$  წთ. შევამოწმოთ გზის მეორე მონაკვეთის სიგანის გამტარუნარიანობა, გაივლის თუ არა  $t_n'$  დროში ხალხის  $N$  რაოდენობა.

$$N_{\text{საანგ.}} = q_{\text{max}} \cdot \delta_{n+1} \cdot t_n' = 7,29 \cdot 1,5 \cdot 1,39 = 15,2 < N = 30 \text{ მ}^2 (q_{\text{max}} - \text{დანართიდან კიბე ზევით}).$$

ვინაიდან  $\delta_{n+1}$  ვერ ატარებს ნაკადს  $t_n = 1,39$  წთ-ში, საზღვარზე წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{\text{max}} = 0,92$  შესაბამისი მოძრაობის ინტენსიურობით  $q_{n+1} = 6,06$  (იხ. დანართი). აქედან

$$t_n = N/Q_{n+1} = N/q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} = 30/6,06 \cdot 1,5 = 3,3 \text{ წთ (ნაცვლად } 1,39 \text{ წთ).}$$

განვსაზღვროთ გზის მეორე მონაკვეთის (n+1) პარამეტრები:

$$q_{n+1} = Q_n/\delta_{n+1} = 30/1,5 = 20,0 \text{ მ/წთ} > q_{\text{max}(n+1)} = 7,29 \text{ მ/წთ, რაც მეტია კიბეზე ზევით მოძრაობისათვის ნორმალურ პირობებში, ე.ი. როგორც ზემოთ აღინიშნა, მოძრაობა შეფერხდება}$$

( $\tau = t_n - t_n' = 3,3 - 1,39 = 1,91$  წთ). საზღვარზე მოძრაობის პარამეტრები იქნება:  $D_{n+1} = D_{\text{max}} = 0,92$ ; დანართიდან  $v_{n+1} = 6,59$  მ/წთ,  $q_{n+1} = 6,067$  მ/წთ, აქედან  $Q_{n+1} = 6,06 \cdot 1,5 = 9,09 < Q_n = 30,06$  მ<sup>2</sup>/წთ.  $D_{\text{max}} = 0,92$  სიმჭიდროვე წარმოიქმნება მხოლოდ n+1 მონაკვეთის დასაწყისში, ხოლო შემდეგ განმჭიდროვების ხარჯზე ლეზულობს  $D_{n+1} = 0,44$  მნიშვნელობას (დანართი, კიბე ზევით)  $q_{n+1}$ -ის იმავე მნიშვნელობისათვის. აქედან I დამატებიდან  $v_{n+1} = 13,83$  მ/წთ.

მეორე მონაკვეთზე ნაკადის ჩამკეტის მოძრაობის დრო იქნება:

$$t_n = L_{n+1}/v_{n+1} = 15/13,83 = 1,08 \text{ წთ}$$

$$\text{მოძრაობის საერთო დრო იქნება } \Sigma t = t_n + t_{n+1} = 3,3 + 1,08 = 4,38 \text{ წთ.}$$

### მაგალითი 4

განისაზღვროს ხალხის ნაკადის პარამეტრები და მოძრაობის დამთავრების დრო გზაზე, რომელიც შედგება ერთნაირი  $n$  სიგანის და  $n+2$  ჰორიზონტალური მონაკვეთისაგან და მათ შორის მოთავსებული  $n+1$  ლიობისაგან (სურ. 2, 3, 5).

$$\text{მოცემულია: } L_n = 20 \text{ მ, } \delta_n = 3 \text{ მ, } N = 30 \text{ მ}^2, D_n = 0,7, \delta_{n+1} = 1,5 \text{ მ, } L_{n+2} = 15 \text{ მ, } \delta_{n+2} = 3 \text{ მ.}$$

I დანართიდან  $q_n = 10,02$  მ/წთ,  $v_n = 14,3$  მ/წთ, აქედან  $Q_n = q_n \cdot \delta_n = 10,02 \cdot 3 = 30,06$  მ<sup>2</sup>/წთ.

განვსაზღვროთ მოძრაობის დრო გზის პირველ (n) მონაკვეთზე. გზის პირველი მონაკვეთის საზღვრამდე ნაკადის ჩამკეტი ნაწილის მოძრაობის დრო  $t_n = L_n/v_n = 20/14,3 = 1,39$  წთ. წინა ამოცანის ანალოგიურად, შევამოწმოთ ლიობის სიგანის გამტარუნარიანობა ანუ გაივლის თუ არა  $t_n$  დროში ხალხის მოცემული  $N$  რაოდენობა.

$$N_{\text{საანგ.}} = q_{\text{max } n+1} \cdot \delta_{n+1} \cdot t_n = 10,59 \cdot 1,5 \cdot 1,39 = 22,08 < N = 30 \text{ მ}^2$$

( $q_{\text{max } n+1}$  - დანართიდან ლიობისათვის).

ვინაიდან  $\delta_{n+1}$  ვერ ატარებს ნაკადს -  $t_n = 1,39$  წთ-ში ხალხის რაოდენობას, საზღვარზე წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{\text{max}} = 0,92$  შესაბამისი მოძრაობის ინტენსიურობით  $q_{n+1} = 9,06$  (დამატებიდან ლიობისათვის). აქედან

$$t_n = N/Q_{n+1} = N/q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} = 30 / 9,06 \cdot 1,5 = 2,2 \text{ წთ (ნაცვლად 1,39 წთ-ისა).}$$

განვსაზღვროთ გზის  $n+2$  მონაკვეთის პარამეტრები:

$$q_{n+2} = q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} / \delta_{n+2} = 9,06 \cdot 1,5 / 3 = 4,53 \text{ მ/წთ} < q_{\max n+1} = 10,59 \text{ მ/წთ.}$$

ვინაიდან  $q_{n+2} < q_{\max n+1}$ , ხდება დაუბრკოლებელი მოძრაობა, ე.ი.  $n+2$  მონაკვეთზე მოძრაობა დამოკიდებულია მხოლოდ  $L_{n+2}$ -სა და  $v_{n+2}$ -ზე. დანართიდან  $q_{n+2} = 4,53$  მ/წთ-ს შეესაბამება  $D_{n+2} = 0,09$  და  $v_{n+2} = 49,84$  მ/წთ. აქედან ნაკადის ჩამკეტის მოძრაობის დრო იქნება:

$$t_{n+2} = L_{n+2} / v_{n+2} = 15 / 49,84 = 0,3 \text{ წთ.}$$

ნაკადის მოძრაობის საერთო დრო იქნება:

$$\Sigma t = t_n + t_{n+2} = 2,2 + 0,3 = 2,5 \text{ წთ.}$$

## მაგალითი 5

განისაზღვროს ორი ნაკადისგან შემდგარი გაერთიანებული ნაკადის პარამეტრები (სურ. 5, ბ). გაერთიანებული ნაკადი მოძრაობს ჰორიზონტალურ გზაზე ( $n+1$ ). მოცემულია:  $\delta_{n1} = 2,5$  მ,  $D_{n1} = 0,5$ ;  $\delta_{n2} = 2$  მ,  $D_{n2} = 0,44$  მ;  $\delta_{n+1} = 3$  მ. დანართიდან  $v_{n1} = 16,5$  მ/წთ,  $q_{n1} = 8,25$  მ/წთ,  $v_{n2} = 17,37$  მ/წთ,  $q_{n2} = 7,64$  მ/წთ. ამის შემდეგ ვადგენთ  $n_1$  და  $n_2$  ნაკადების გზის გამტარუნარიანობას:

$$Q_{n1} = q_{n1} \cdot \delta_{n1} = 8,25 \cdot 2,5 = 20,63 \text{ მ/წთ,}$$

$$Q_{n2} = q_{n2} \cdot \delta_{n2} = 7,64 \cdot 2 = 15,28 \text{ მ/წთ,}$$

$$\Sigma Q_n = Q_{n1} + Q_{n2} = 20,63 + 15,28 = 35,9 \text{ მ/წთ.}$$

ვსაზღვრავთ გაერთიანებული ნაკადის გზის ( $n+1$ ) ინტენსიურობას:

$$q_{n+1} = \Sigma Q_n / \delta_{n+1} = 35,9 / 3 = 11,97 \text{ მ/წთ} > q_{\max} = 10,13 \text{ მ/წთ.}$$

ვინაიდან  $q_{n+1} > q_{\max}$  საზღვარზე წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{n+1} = D_{\max} = 0,92$ .

დანართიდან  $q_{n+1} = 8,35$  მ/წთ. აქედან

$Q_{n+1} = q_{n+1} \cdot \delta_{n+1} = 8,35 \cdot 3 = 25,05 < \Sigma Q = 35,9$  მ<sup>2</sup>/წთ.  $D_{n+1} = D_{\max}$  სიმჭიდროვე იქნება მხოლოდ  $n+1$  მონაკვეთის დასაწყისში, ხოლო შემდგომ განმჭიდროების ხარჯზე სიმჭიდროვე იქნება  $D_{n+1} = 0,51$ ,  $q_{n+1}$  იმავე მნიშვნელობით და დამატებიდან  $v_{n+1} = 16,38$  მ/წთ (9,08 მ/წთ-ის ნაცვლად).

## მაგალითი 6

აიგოს ხალხის ნაკადის გრაფიკი ჰორიზონტალურ გზაზე, თუ მოცემულია: ხალხის საერთო რაოდენობა ნაკადში (საშინაო ტანსაცმელში  $f=0,1$ )  $N=173$  კაცი ანუ  $17,3$  მ<sup>2</sup>, ნაკადის სიგრძე  $l=8,33$  მ, გზის მონაკვეთის სიგრძე  $L=12$  მ, სიგანე  $b=3$  მ.

განვსაზღვროთ გზის მოცემულ მონაკვეთზე ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე:  $D=N/lb = 17,3 / 8,33 \cdot 3 = 0,69$ . დანართიდან ვიგებთ  $D=0,69$ -ის შესაბამის სიჩქარეს  $v_1=14,5$  მ/წთ. ვაგებთ გრაფიკს (იხ. სურ. 6).

გრაფიკის მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ხალხის რაოდენობა, რომელიც გაივ-



ლის (ან მიაღწევს) ნებისმიერ, მაგალითად Z ნერტილს. გრაფიკზე Z ნერტილი გზის საწყის ნერტილს დაშორებულია  $\Delta l=2,3$  მ-ით. ვიცით, რომ ხალხის საერთო რაოდენობა  $N=17,3$  მ<sup>2</sup> მაშინ Z ნერტილზე გაივლის  $N_{zk}=N \cdot \Delta l / l = 17,3 \cdot 6,03 / 8,33 = 12,5$  მ<sup>2</sup>, ხოლო Z ნერტილს მიაღწევს  $N_{az}=N \cdot \Delta l / l = 17,3 \cdot 2,3 / 8,33 = 4,8$  მ<sup>2</sup>.

ნაკადის სიგრძიდან გამომდინარე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ხალხის რაოდენობა ნებისმიერ ნერტილში და ნებისმიერ დროს. ამისათვის საჭიროა გამოითვალოს ხალხის რაოდენობა ნაკადის სიგრძის ერთეულზე, ე.ი.  $N/l$ ; გრაფიკიდან აგრეთვე ჩანს, რომ  $t_2 = 0,77$  წთ-ში ნაკადის სათავე ნაწილი მიაღწევს  $\delta_0$  ლიობს (b ნერტილი), ხოლო ნაკადის ჩამკეტი ნაწილი – S ნერტილს.

### მაგალითი 7

განისაზღვროს ევაკუაციის ხანგრძლივობა 1000-ადგილიან კინოთეატრის დარბაზში ( $A_1$ ) და დარბაზთან მიმდებარე ფოიეში ( $A_2$ ) ნორმალური ევაკუაციის პირობებში (სურ. 7). ევაკუაციის დასაშვები დრო შენობის ხანძარმდეგობის ხარისხის მიხედვით (ჩვენ შემთხვევაში I და II იხ. მე-3 ცხრილი) დარბაზისთვის ვიღებთ  $<1,5$  წთ, ხოლო მთელი შენობისათვის  $<6$  წთ.

დარბაზს ვყოფთ ოთხ თანაბარ ნაწილად. დარბაზიდან გასასვლელები გვერდით ფოიეებს უკავშირდება (500-500 მაყურებელი). ყოველ მხარეს არის 1,8 მ სიგანის 2 კარი და 1,2 მ სიგანის 4 კარი, გარდა ამისა, 1,4+1,4 მ სიგანის 2-2 გარე კარი (00). დარბაზი დაყოფილია 9 ბლოკად, მათ შორის გასასვლელის სიგანე 1,2 მ-ია. თითოეულ ბლოკში განლაგებულია მაყურებელთა ადგილების დაახლოებით თანაბარი რაოდენობა –  $1000:9 \approx 110$  კაცი ან  $110 \cdot 0,1 = 11,0$  მ<sup>2</sup> (მაყურებელი საზაფხულო ტანსაცმელში. იხ. ცხრილი1). თითოეულ ბლოკში რიგების რაოდენობაა  $m=8$ , ხოლო ადგილების რაოდენობა რიგში  $n=14$ .

ევაკუაციის პირველი ეტაპი დასრულდება მაშინ, როცა უახლოესი გასასვლელიდან (02) დარბაზში მყოფი ყველაზე დაცილებული მაყურებელი გავა ფოიეში ( $A_2$ ). ეს მანძილი უდრის  $1,5n+(m-1)+1,2 \approx 19$  მ (სურ. 7). ამ მარშრუტით ისარგებლებს  $N_2+N_3+N_4=11,7$  მ<sup>2</sup> მაყურებელი. დავადგინოთ გზის ამ მონაკვეთის პარამეტრები:  $D_{19} = N_2+N_3+N_4 / L\delta = 11,7/19 \cdot 1,2 = 0,51$ .

ცხრილიდან (I დანართი) ვპოულობთ სიჩქარეს ჰორიზონტალურ გზაზე ნორმალურ პირობებში  $v_{A_1} = 16,58$  მ/წთ. მაშინ მაყურებელი 19 მ-ს გაივლის  $t'_{A_1} = L_{A_1} / v_{A_1} = 19/16,58 = 1,14$  წთ-ში. ამის შემდეგ უნდა შემონმდეს, შეძლებს თუ არა გასასვლელი 0,2 გაატაროს ამ მარშრუტზე მიმავალი მაყურებლის რაოდენობა 1,14 წთ-ში, თუ ნაკადის ლიობში გავლისას  $t_{A_1} = N_{A_1} / Q_{02} = N_2+N_3+N_4 / q_{0max} \cdot \delta_{02}$ .

აქედან  $N_2+N_3+N_4 = q_{0max} \cdot \delta_{02} \cdot t'_{A_1} = 10,59 \cdot 1,8 \cdot 1,14 = 21,7 > 11,7$  მ<sup>2</sup>. ე.ი. ფოიეში გასასვლელი ლიობი სრულად აკმაყოფილებს მოთხოვნას. აქედან გამომდინარე ევაკუაციის პირველი ეტაპი ანუ მაყურებლის მთელი რაოდენობის გასვლა  $A_1$  დარბაზიდან  $A_2$  ფოიეში დამთავრდება 1,14 წთ-ში, რაც დადგენილ დროზე ნაკლებია ანუ  $t'_{A_1} = t_{A_1} = 1,14 < 1,5$  წთ.

ევაკუაციის მეორე ეტაპი არის მაყურებლის გასვლა ფოიედან, გარე გასასვლელიდან. ვიცით, რომ ყველაზე დაცილებული დარბაზში მყოფი მაყურებელი ფოიეში გადის 1,14



ნთ-ში. ამ დროს გარე გასასვლელთან ყველაზე ახლოს მდებარე კარიდან (6 მ) და შემდეგ კარიდან (10 მ) 00 გასასვლელში გავა მაყურებელთა რაღაც ნაწილი. დაკვირვებების უჩვენა, რომ ნაკადის 7-10% ასწრებს გარე ლიობიდან დაუბრკოლებლად გასვლას, რაც ძირითადად განპირობებულია ამ ნაკადის სათავე და ჩამკეტი ნაწილის შემცირებული სიმჭიდროვით. აქედან, დარბაზის სრული დაცლის შემდეგ ფოიეში რჩება  $500-35=465$  კაცი ანუ  $N_{A_2}=46,5$  მ<sup>2</sup>.

დავადგინოთ ფოიეში მყოფი ხალხის სიმჭიდროვე:

$$D_{A_2} = N_{A_2} / L_{A_2} \cdot \delta_{A_2} = 46,5 / 26 \cdot 4,25 = 0,42.$$

ცხრილიდან  $v_{A_2} = 17,46$  მ/წთ. ბოლო მაყურებელი გაივლის გარე გასასვლელს (საკმარის გამტარუნარიანობის შემთხვევაში)  $t'_{A_2} = L_{A_2} / v_{A_2} = 26 / 17,46 = 1,49$  წთ-ში. ამის შემდეგ უნდა დადგინდეს გარე კარის (00) გამტარუნარიანობა, შეესაბამება თუ არა იგი დაუბრკოლებელი მოძრაობის პირობებს:

$$N_{A_2} = q_{0max} \cdot \delta_{00} \cdot t'_{A_2} = 10,59 \cdot 2,8 \cdot 1,49 = 44,18 < 46,5 \text{ მ}^2.$$

აქედან გარე გასასვლელი (00) ვერ ატარებს ყველა მაყურებელს 1,49 წუთში და წარმოიქმნება ხალხის მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{max} = 0,92$ , რომელსაც შეესაბამება ლიობში მოძრაობის  $q_{00} = 9,06$  ინტენსიურობა. აქედან გარე ლიობის გამტარუნარიანობიდან გამომდინარე,  $t_{A_2} = N_{A_2} / q_{00} \cdot \delta_{00} = 46,5 / 9,06 \cdot 2,8 = 46,5 / 25,37 = 1,83$  წთ (ნაცვლად 1,49 წთ-ისა).

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შენობის მთლიანი ევაკუაციისათვის საჭირო დრო არის  $t_{A_1} + t_{A_2} = 1,14 + 1,83 = 2,97 \approx 3,0 < 6,0$  წთ, რაც სრულიად აკმაყოფილებს ზემოთქმულ მოთხოვნებს.

## მაგალითი 8

განისაზღვროს ხალხის ევაკუაციის დრო საწარმოო შენობიდან თუ: მოძრაობის პირობები ნორმალურია, ევაკუაციის მაქსიმალური საპროექტო დრო საამქროებიდან  $t_{კრ} = 1,5$  წთ, ხოლო მთლიანი ევაკუაციისათვის 00 ლიობიდან – 5 წთ-ს.

პირველი სართულის საამქროში  $A_1$  (პარამეტრები იხ. სურ. 8) ხალხის რაოდენობა – 144 ანუ  $N_1 = 14,4$  მ<sup>2</sup> (ვიღებთ  $f = 0,1$  მ<sup>2</sup>).

მეორე სართულზე ხალხის რაოდენობაა 150 კაცი ანუ  $N_2 = 15,0$  მ<sup>2</sup>, პირველი სართულის თავისუფალი ფართობი (საამქროს 30%) შეადგენს  $F_1 = 144$  მ<sup>2</sup>, მეორე სართულისა –  $F_2 = 115$  მ<sup>2</sup> (პარამეტრები იხ. სურ. 11).

ამის შემდეგ შეგვიძლია განვსაზღვროთ პირველი და მეორე სართულების საამქროებში ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე  $D_{A_1} = 14,4 / 144 = 0,1$ ;  $D_{A_2} = 15,0 / 115 = 0,13$ .

პირველი დამატებიდან შეგვიძლია დავადგინოთ შესაბამისი სიჩქარეები (ჰორიზონტალური გზისთვის)  $v_{A_1} = 39,27$  მ/წთ და  $v_{A_2} = 35,32$  მ/წთ. უახლოეს გასასვლელებამდე (01 და 02) პირველ და მეორე სართულებზე საამქროებში საევაკუაციო მარშრუტები იქნება:  $L_{A_1} = 16/2 + 30 = 38$  მ,  $L_{A_2} = 16/2 + 24 = 32$  მ, შესაბამისად ყველაზე დაშორებული ადამიანის მოძრაობის დრო იქნება: პირველი სართულის საამქროსათვის  $t'_{A_1} = L_{A_1} / v_{A_1} = 38 / 39,27 = 0,97$  წთ, ხოლო მეორე სართულის საამქროსათვის  $t'_{A_2} = L_{A_2} / v_{A_2} = 32 / 35,32 = 0,9$  წთ.

შემდეგ უნდა განისაზღვროს, რამდენ კაცს გაატარებს 01 და 02 ლიობები  $t_{A1}$  და  $t_{A2}$  დროში. ნორმალურ პირობებში ლიობებში მაქსიმალური ინტენსიურობა  $q_{0max} = 10,59$  მ/წთ და, მაშასადამე,  $t'_{A1}$  და  $t'_{A2}$  დროში 01 და 02 ლიობში გაივლის:

$$N_{01} = q_{0max} \cdot \delta_{01} \cdot t_{A1} = 10,59 \cdot 1,2 \cdot 0,97 = 12,33 \text{ მ}^2 < N_1 = 14,4 \text{ მ}^2$$

$$N_{02} = q_{0max} \cdot \delta_{02} \cdot t_{A2} = 10,59 \cdot 1,2 \cdot 0,90 = 11,44 \text{ მ}^2 < N_2 = 15,0 \text{ მ}^2$$

როგორც ანგარიშიდან ჩანს 01 და 02 ლიობები ვერ ატარებენ  $t'_{A1}$  და  $t'_{A2}$  დროში მთელ ნაკადებს, რის გამოც ლიობების წინ წარმოიქმნება ხალხის მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{max} = 0,92$  შესაბამისი მოძრაობის ინტენსიურობით ლიობისათვის  $q_0 = 9,06$  მ/წთ (იხ. პირველი დამატება). აქედან გამომდინარე, ევაკუაციის დრო განისაზღვრება უკვე ლიობის გამტარუნარიანობით და იქნება:

$$t_{A1} = N_1 / q_0 \cdot \delta_{01} = 14,4 / 9,06 \cdot 1,2 = 1,33 \text{ წთ},$$

$$t_{A2} = N_2 / q_0 \cdot \delta_{02} = 15,0 / 9,06 \cdot 1,2 = 1,38 \text{ წთ},$$

რაც ორივე შემთხვევაში ნაკლებია  $t_{30} = 1,5$  წთ.

01 ლიობიდან პირველი სართულის ნაკადი გადის ჰორიზონტალური გზის მონაკვეთზე (1), რომლის სიგანე  $\delta_1 = 2$  მ-ს მოძრაობის ინტენსიურობა  $q_1 = 9,06 \cdot 1,2 / 2 = 5,40$  მ/წთ.  $q_1$  ინტენსიურობიდან გამომდინარე, დანართში  $D_1 = 0,18$ ;  $v_1 = 29,9$  მ/წთ. ვინაიდან  $q_1 = 9,06 < q_{max} = 10,59$  მ/წთ მოძრაობა გზის I უბანზე ხდება დაუბრკოლებლად. აქედან  $t_1 = L_1 / v_1 = 6 / 29,9 = 0,2$  წთ.

02 ლიობიდან მეორე სართულის ხალხი გადის კიბის უჯრედში (კიბით ქვემოთ უბანი 2), რომლის მარშის და ბაქნის სიგანე  $\delta_2 = 2,4$  მ, ხოლო სიგრძე  $L_2 = 19$  მ, მოძრაობის ინტენსიურობით  $q_2 = q_{02} \cdot \delta_{02} / \delta_2 = 9,06 \cdot 1,2 / 2,4 = 4,53$  მ/წთ. შესაბამისად,  $D_2 = 0,09$ ;  $v_2 = 43,08$  მ/წთ, კიბეზე (19 მ) ქვემოთ მოძრაობის დრო იქნება  $t_2 = L_2 / v_2 = 19 / 43,08 = 0,44$  წთ.

ამის შემდეგ ორივე ნაკადი გადის 3 უბანზე და უერთდება ერთმანეთს. სულ პირველი სართულის ნაკადის სათავე ნაწილის მოძრაობის დრო მეორე სართულის ნაკადთან შეერთებამდე იქნება  $t_{31ს} = t_1 = 0,2$  წთ (შ - შეერთება, ს - სათავე), ხოლო ჩამკეცის  $t_{31ჩ} = t_{A1} + t_1 = 1,33 + 0,2 = 1,53$  წთ (ჩ - ჩამკეცი). მეორე სართულის ნაკადისთვის: სათავე  $t_{32ს} = t_2 = 0,44$  წთ, ჩამკეცი  $t_{32ჩ} = t_{A2} + t_2 = 1,38 + 0,44 = 1,82$  წთ.

როგორც ანგარიშიდან ჩანს, პირველი და მეორე სართულების ნაკადები შეერთების ადგილზე მიდიან თითქმის ერთდროულად, ამიტომ გაერთიანებული ნაკადის პარამეტრები იქნება:

$$q_3 = (q_{02} \cdot \delta_{02} + q_2 \cdot \delta_2) / 4 = (9,06 \cdot 1,2 + 4,53 \cdot 2,4) / 4 = (10,87 + 10,87) / 4 = 5,44 \text{ წთ}$$

დამატებიდან  $D_3 = 0,18$ ;  $v_3 = 29,9$  მ/წთ.

მე-3 უბანზე მოძრაობის დრო იქნება  $t'_3 = L_3 / v_3 = 12 / 29,9 = 0,4$  წთ. შევამოწმოთ 00 ლიობში მოძრაობის ინტენსიურობა:

$q_{00} = q_3 \cdot \delta_3 / \delta_{00} = 5,44 \cdot 4 / 1,8 = 21,76 / 1,8 = 12,1 > q_{max}$ . ამიტომ 00 ლიობთან წარმოიქმნება მაქსიმალური სიმჭიდროვე  $D_{max} = 0,92$ . აქედან:

$$t_3 = N_1 + N_2 / q_0 \cdot \delta_{00} = 14,4 + 15 / 9,06 \cdot 1,8 = 29,4 / 16,3 = 1,8 \text{ წთ}.$$

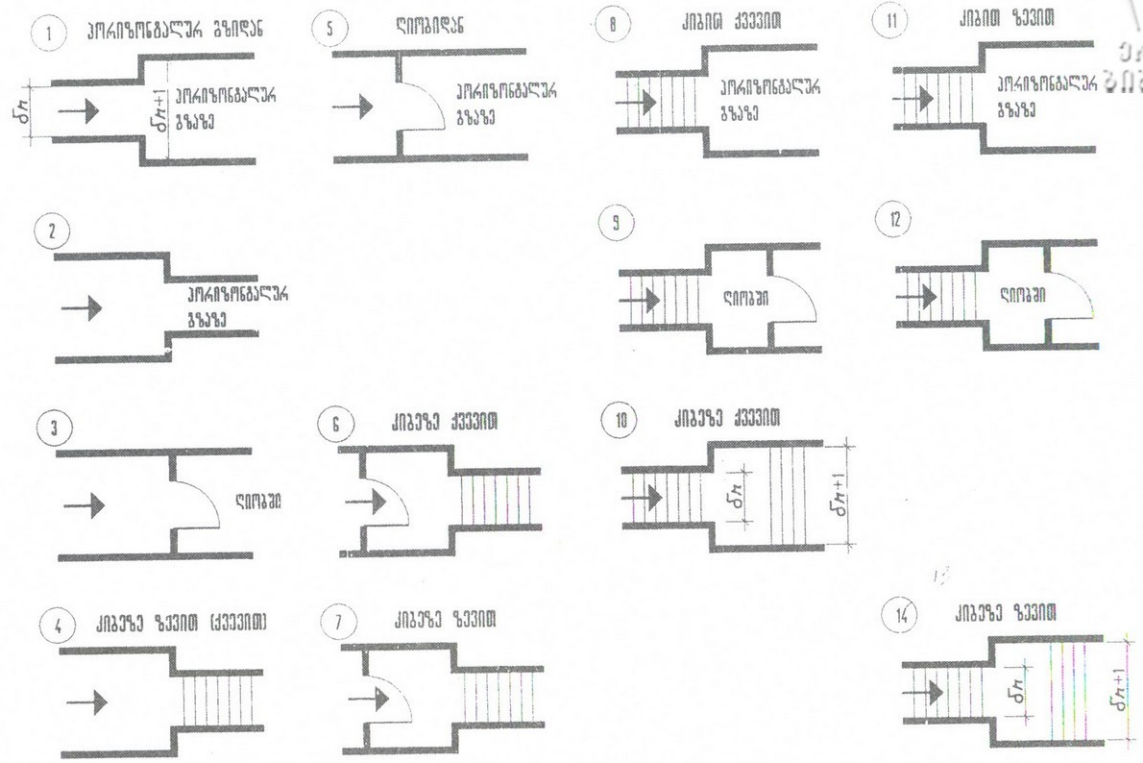
ვინაიდან ხალხი პირველი სართულის ჩამკეცი შეერთების ადგილამდე მისვლას ანდომებს 1,53 წთ-ს, ხოლო მეორე სართულის ნაკადი - 1,82 წთ-ს, ამიტომ ვიღებთ მეტს. აქედან ევაკუაციის საერთო დრო  $t_{13} = 1,8 + 1,82 = 3,62$  წთ-ს. ევაკუაციის საერთო დრო ნაკლებია დადგენილ დროზე (5 წთ).

K 25.364  
4

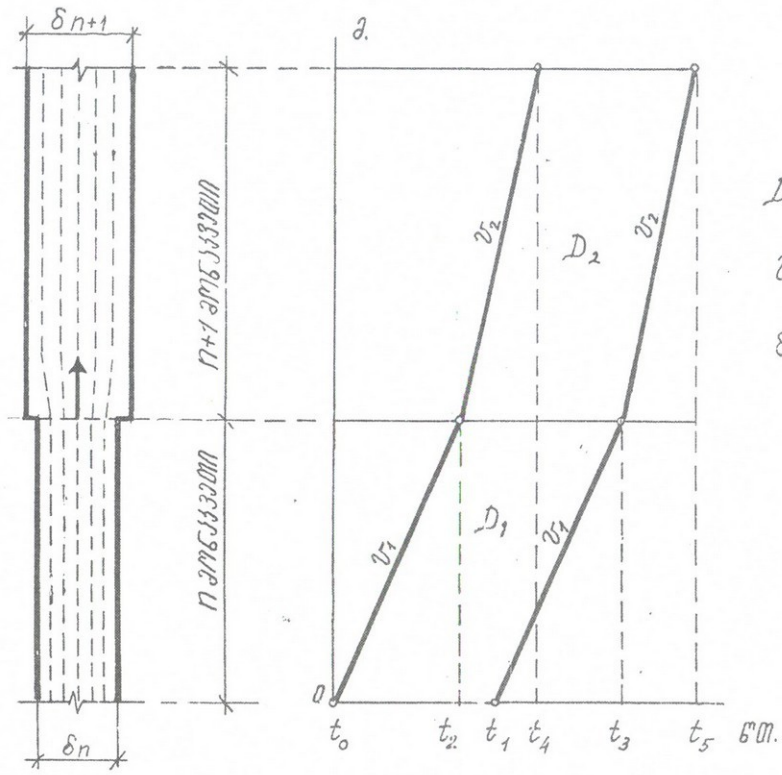
1. Ф.Л. Гельфонд. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М., 2007. 276 გვ.
2. Т.Г. Маклакова. Функция, конструкция, композиция в архитектуре. М., 2002. 256 გვ.
3. МИСИ Архитектура гражданских и промышленных зданий. т. II, М., 1976. 214 გვ.
4. Архитектурное проектирование общественных зданий. М., 1984. 541 გვ.
5. В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М., 1969. 246 გვ.
6. Г.Г. Орлов. Охрана труда в строительстве. М., 1984. 342 გვ.
7. Н.Д. Золотницкий, В.А. Пчелинцев. Охрана труда в строительстве. М., 1978. 401 გვ.
8. გ. ხმალაძე. დაპროექტების ფუნქციური საფუძვლები. თბ., 2006. 42 გვ.





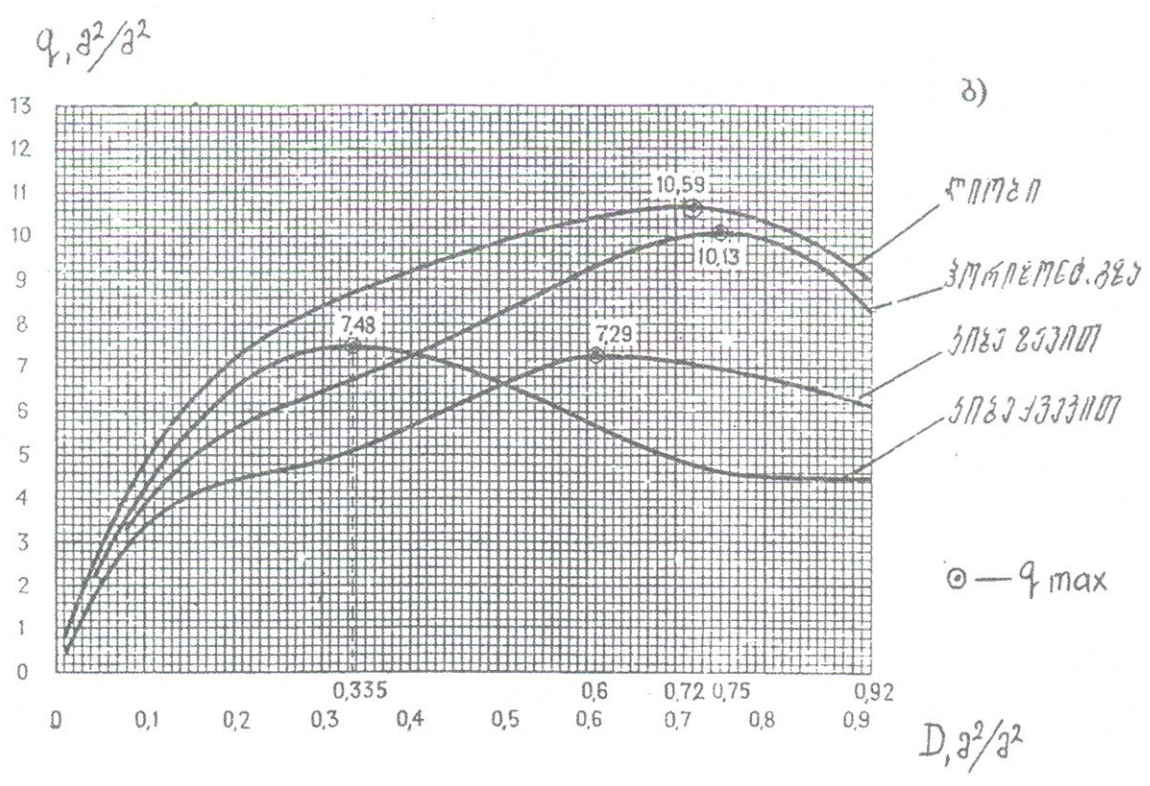
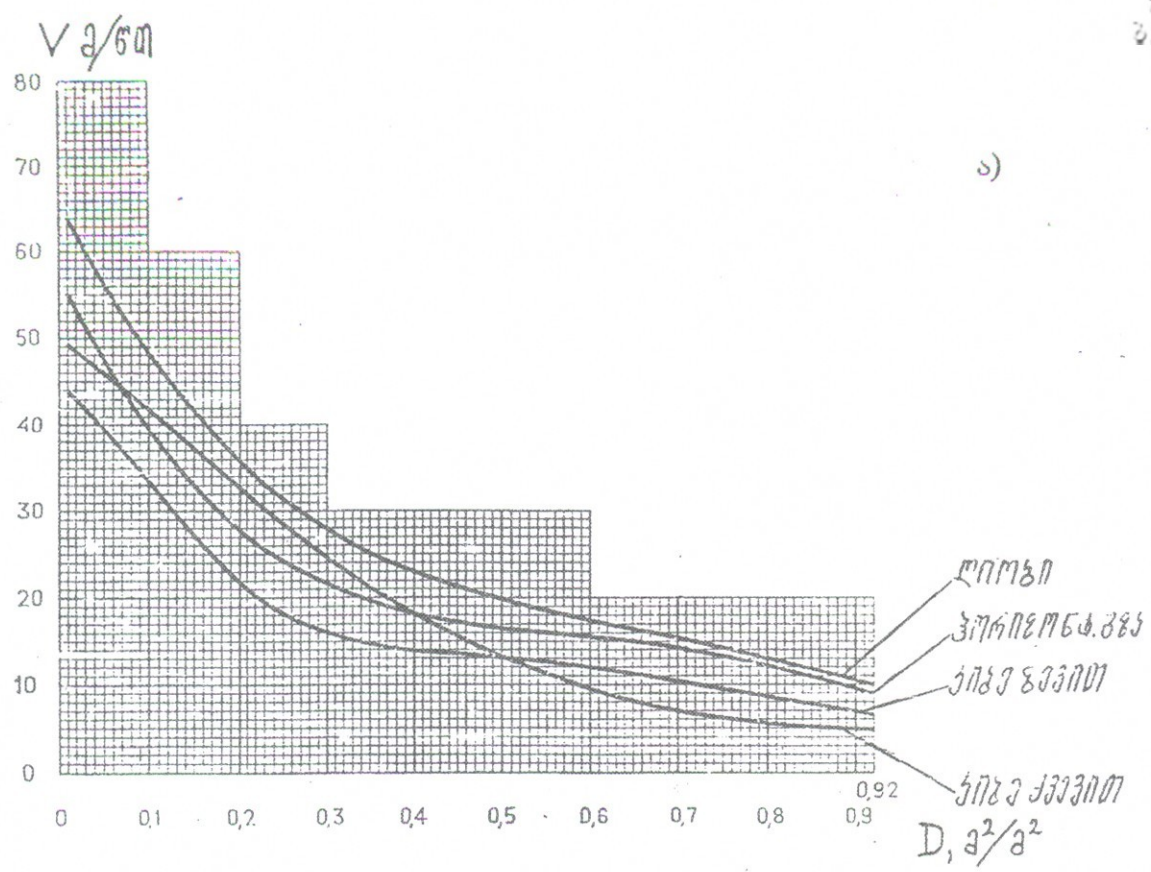


სურ. 2

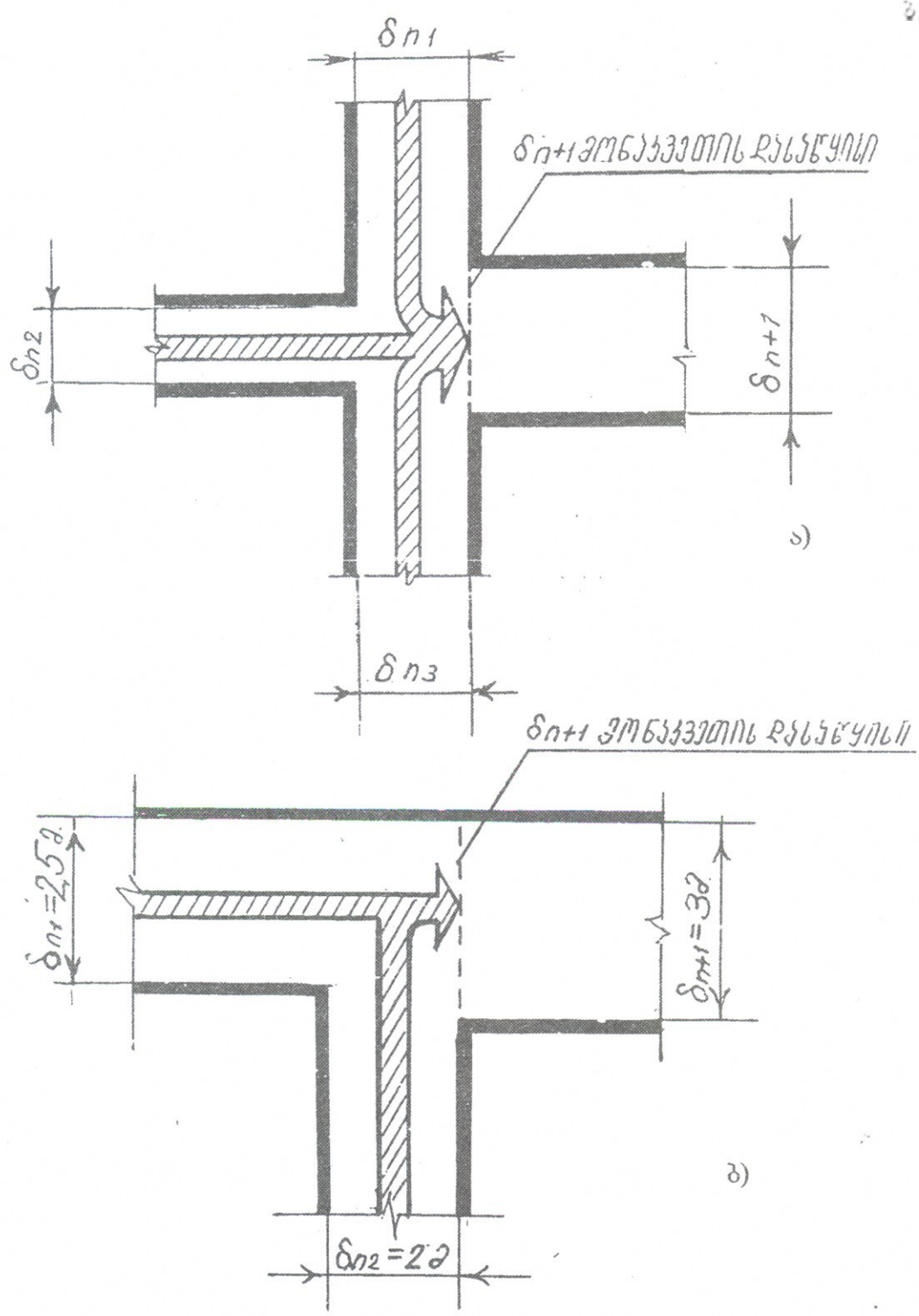


$D_1 > D_2$   
 $v_1 < v_2$   
 $\delta_n < \delta_{n+1}$

სურ. 3

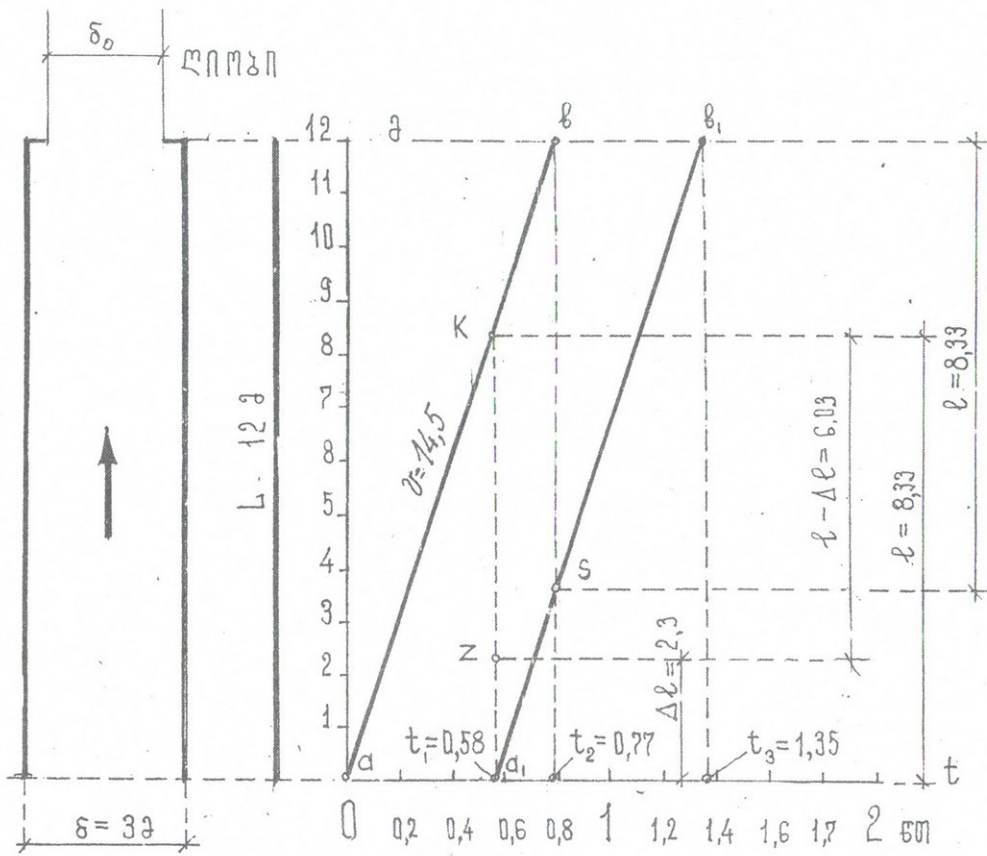


სურ. 4

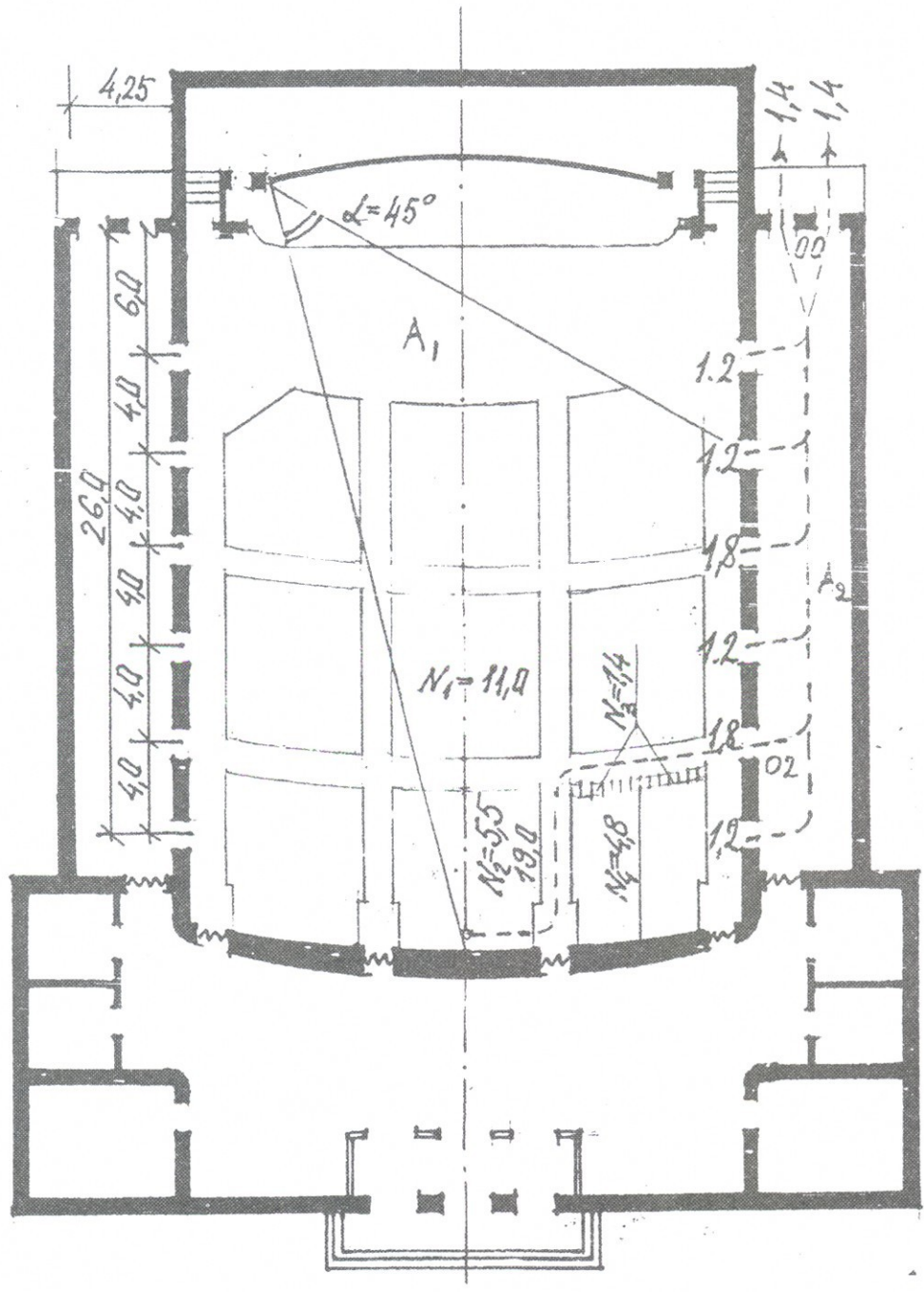


სურ. 5

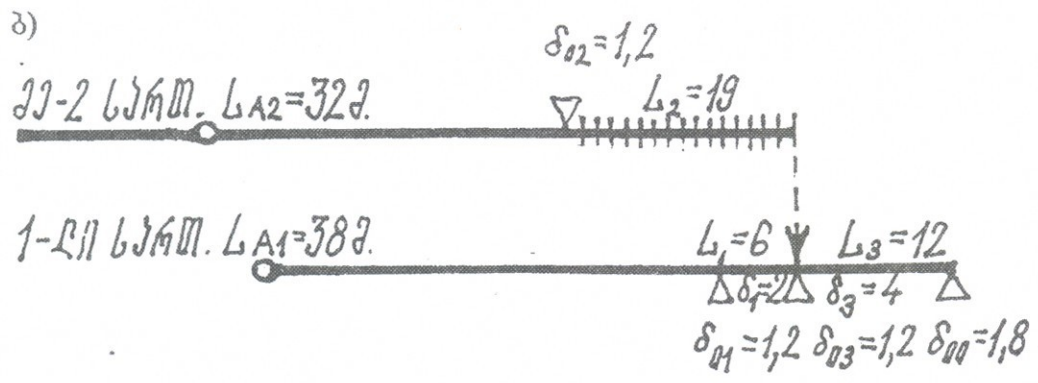
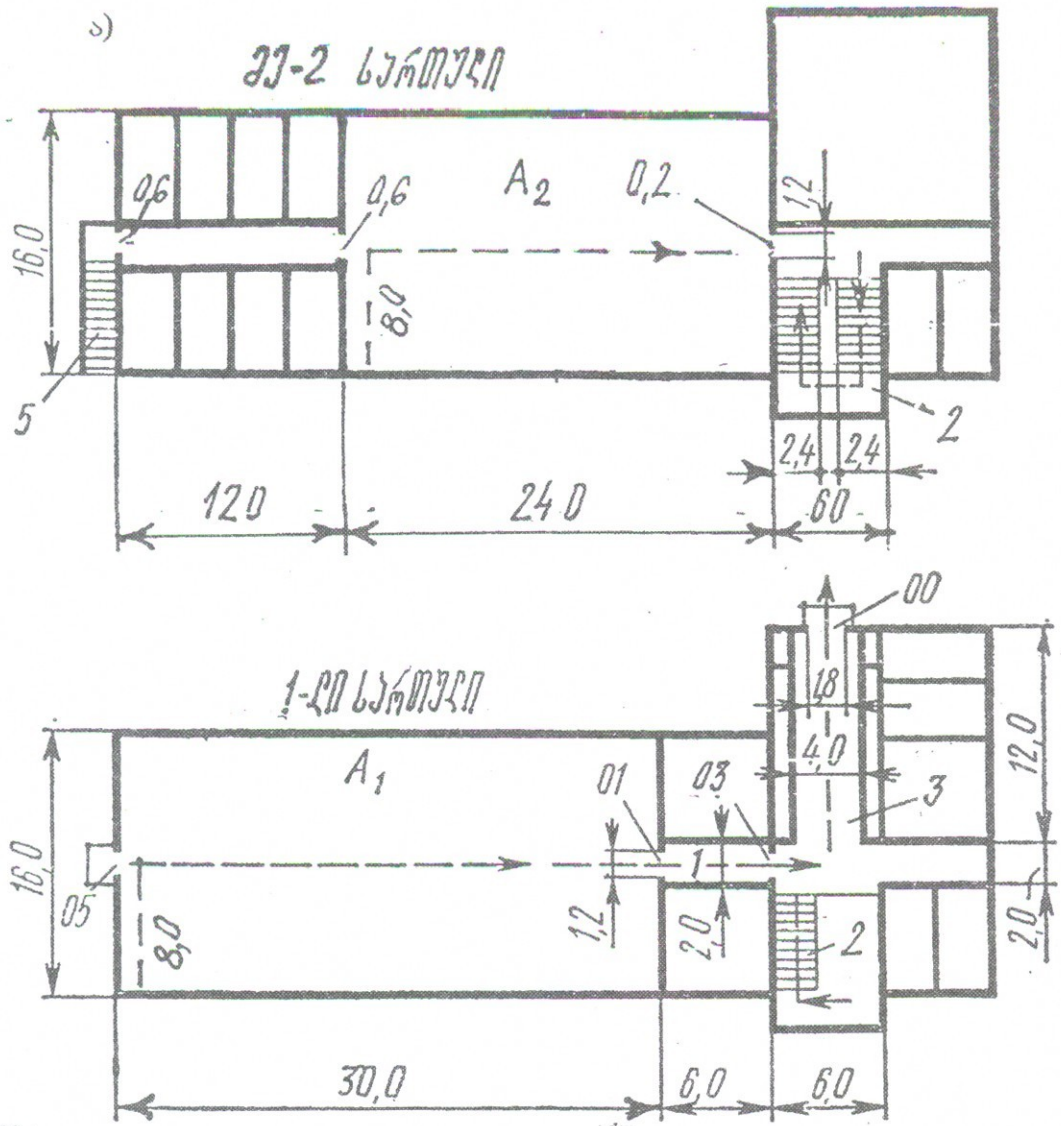




სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8

ხალხის ნაკადის პარამეტრების  
საანგარიშო ცხრილები

D	მოძრაობის სახე					
	ავარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	ს	q	ს	q	ს	q
ჰორიზონტალურ გზაზე						
0,01	81,54	0,82	54,87	0,55		
0,02	78,35	1,57	52,83	1,06	33,5	0,67
0,03	75,24	2,26	50,87	1,53		
0,04	72,31	2,89	48,99	1,96	31,33	1,25
0,05	69,46	3,47	47,19	2,36		
0,06	66,74	4	45,46	2,73	29,15	1,75
0,07	64,18	4,49	43,81	3,07		
0,08	61,71	4,94	42,24	3,38	27,45	2,2
0,09	59,37	5,34	40,72	3,66		
0,1	57,1	5,71	39,27	3,93	25,7	2,57
0,11	54,94	6,04	37,89	4,17		
0,12	52,92	6,35	36,57	4,39	24,12	2,89
0,13	50,97	6,63	35,32	4,61		
0,14	49,15	6,88	34,13	4,78	22,7	3,18
0,15	47,39	7,11	33	4,95		
0,16	45,68	7,31	31,9	5,1	21,4	3,42
0,17	44,11	7,5	30,87	5,25		
0,18	42,61	7,67	29,9	5,38	20,2	3,64
0,19	41,2	7,82	28,97	5,5		
0,2	39,85	7,97	28,1	5,62	19,1	3,82
0,21	38,56	8,1	27,27	5,73		
0,22	37,32	8,21	26,47	5,82	18,13	3,98
0,23	36,22	8,33	25,74	5,92		
0,24	35,13	8,43	25,04	6,01	17,53	4,2
0,25	34,11	8,53	24,38	6,1		
0,26	33,16	8,62	23,75	6,18	16,7	4,34
0,27	32,25	8,71	23,17	6,26		
0,28	31,4	8,79	22,62	6,33	15,85	4,44
0,29	30,59	8,87	22,09	6,41		
0,3	29,87	8,96	21,61	6,48	15,15	4,55
0,31	29,14	9,03	21,15	6,56		
0,32	28,49	9,12	20,72	6,63	14,7	4,7
0,33	27,86	9,19	20,32	6,71		
0,34	27,29	9,28	19,95	6,78	14,27	4,85
0,35	26,75	9,36	19,61	6,86		
0,36	26,22	9,44	19,28	6,94	13,89	5
0,37	25,74	9,52	18,97	7,02		
0,38	25,29	9,61	18,69	7,1	13,55	5,15
0,39	24,88	9,7	18,43	7,19		
0,4	24,48	9,79	18,19	7,28	13,27	5,31
0,41	24,1	9,88	17,96	7,36		
0,42	23,78	9,99	17,76	7,46	13,05	5,48

გაგრძელება

D	მოდრობის სახე					
	აეარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
0,43	23,43	10,07	17,55	7,55		
0,44	23,14	10,18	17,37	7,64	12,85	5,66
0,45	22,83	10,27	17,19	7,74		
0,46	22,55	10,37	17,03	7,83	12,7	5,85
0,47	22,32	10,49	16,9	7,94		
0,48	22,07	10,59	16,76	8,04	12,49	5,99
0,49	21,84	10,70	16,62	8,14		
0,5	21,62	10,81	16,5	8,25	12,45	6,22
0,51	21,39	10,91	16,38	8,35		
0,52	21,21	11,03	16,28	8,47	12,38	6,44
0,53	21	11,13	16,17	8,57		
0,54	20,8	11,23	16,05	8,67	12,29	6,63
0,55	20,63	11,35	15,97	8,78		
0,56	20,43	11,44	15,86	8,88	12,21	6,85
0,57	20,26	11,55	15,77	8,99		
0,58	20,07	11,64	15,67	9,09	12,15	7,05
0,59	19,91	11,75	15,58	9,19		
0,6	19,72	11,83	15,48	9,29	12,05	7,23
0,61	19,52	11,9	15,37	9,38		
0,62	19,36	12	15,28	9,47	12	7,44
0,63	19,14	12,06	15,16	9,55		
0,64	18,99	12,15	15,07	9,64	11,9	7,62
0,65	18,78	12,21	14,95	9,72		
0,66	18,57	12,26	14,83	9,79	11,8	7,8
0,67	18,37	12,31	14,71	9,85		
0,68	18,16	12,35	14,59	9,92	11,67	7,93
0,69	17,96	12,39	14,46	9,98		
0,7	17,72	12,4	14,31	10,02	11,55	8,08
0,71	17,47	12,4	14,16	10,05		
0,72	17,2	12,42	14,02	10,09	11,37	8,18
0,73	16,99	12,4	13,85	10,11		
0,74	16,73	12,39	13,67	10,12	11,13	8,24
0,75	16,48	12,36	13,51	10,13		
0,76	16,2	12,31	13,32	10,12	10,92	8,3
0,77	15,91	12,25	13,12	10,1		
0,78	15,62	12,18	12,92	10,08	10,65	8,3
0,79	15,32	12,1	12,7	10,03		
0,8	15	12	12,48	9,98	10,36	8,29
0,81	14,66	11,87	12,24	9,91		
0,82	14,39	11,8	12	9,84	10,02	8,2
0,83	13,98	11,6	11,74	9,74		
0,84	13,64	11,46	11,48	9,64	9,63	8,1
0,85	13,31	11,31	11,24	9,55		
0,86	12,91	11,1	10,93	9,4	9,23	7,94
0,87	12,51	10,88	10,63	9,25		
0,88	12,13	10,67	10,34	9,09	8,78	7,73
0,89	11,72	10,43	10,02	8,92		
0,9	11,31	10,18	9,7	8,73	8,3	7,47
0,91	10,89	9,91	9,37	8,53		
0,92	10,52	9,68	9,08	8,35	7,8	7,18

D	მოძრაობის სახეობა					
	აეარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
ღიობებში						
0,01	94,75	0,95	63,76	0,64		
0,02	91,66	1,84	61,81	1,24	39,55	0,79
0,03	88,62	2,66	59,92	1,8		
0,04	85,60	3,42	58,1	2,32	37,5	1,5
0,05	82,87	4,15	56,3	2,82		
0,06	80,30	4,82	54,6	3,28	35,5	2,13
0,07	77,6	5,44	52,97	3,71		
0,08	75,04	6	51,36	4,11	33,83	2,71
0,09	72,67	6,55	49,84	4,49		
0,1	70,29	7,03	48,34	4,83	31,7	3,17
0,11	68,02	7,48	46,91	5,16		
0,12	65,94	7,9	45,53	5,46	30,3	3,64
0,13	63,77	8,28	44,19	5,74		
0,14	61,78	8,65	42,9	6,01	28,75	4,02
0,15	59,85	8,98	41,68	6,25		
0,16	57,92	9,27	40,45	6,47	27,3	4,37
0,17	56,16	9,55	39,3	6,68		
0,18	54,45	9,8	38,21	6,88	25,8	4,65
0,19	52,81	10,04	37,14	7,06		
0,2	51,25	10,25	36,14	7,23	24,6	4,92
0,21	49,7	10,44	35,15	7,38		
0,22	48,22	10,6	34,2	7,52	23,4	5,15
0,23	46,9	10,78	33,33	7,66		
0,24	45,57	10,94	32,48	7,8	22,4	5,37
0,25	44,28	11,07	31,65	7,91		
0,26	43,07	11,2	30,85	8,02	21,42	5,58
0,27	41,93	11,32	30,12	8,13		
0,28	40,82	11,42	29,41	8,23	20,6	5,77
0,29	39,78	11,54	28,72	8,33		
0,3	38,79	11,64	28,07	8,42	19,63	5,89
0,31	37,83	11,73	27,45	8,51		
0,32	36,92	11,81	26,85	8,59	19,05	6,1
0,33	36,02	11,89	26,27	8,67		
0,34	35,21	11,97	25,74	8,75	18,4	6,25
0,35	34,43	12,04	25,24	8,83		
0,36	33,67	12,12	24,76	8,91	17,8	6,4
0,37	32,95	12,19	24,28	8,98		
0,38	32,24	12,26	23,83	9,06	17,3	6,57
0,39	31,58	12,33	23,39	9,13		
0,4	30,97	12,39	23,01	9,2	16,8	6,72
0,41	30,37	12,45	22,63	9,28		
0,42	29,82	12,52	22,27	9,35	16,36	6,87
0,43	29,24	12,58	21,9	9,42		
0,44	28,72	12,64	21,56	9,49	15,92	7
0,45	28,17	12,68	21,21	9,55		
0,46	27,67	12,72	20,9	9,61	15,57	7,16
0,47	27,24	12,78	20,62	9,69		
0,48	26,75	12,84	20,31	9,75	15,23	7,31

გაგრძელება

D	შობრაობის სახე					
	აგარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
0,49	26,32	12,89	20,03	9,81		
0,5	25,87	12,94	19,75	9,88	14,9	7,45
0,51	25,43	12,98	19,47	9,94		
0,52	25,06	13,03	19,23	10	14,62	7,6
0,53	24,66	13,07	18,98	10,06		
0,54	24,25	13,11	18,71	10,12	14,31	7,74
0,55	23,89	13,14	18,49	10,17		
0,56	23,51	13,16	18,25	10,22	14,05	7,87
0,57	23,14	13,2	18,01	10,27		
0,58	22,76	13,21	17,77	10,31	13,78	8
0,59	22,42	13,23	17,54	10,35		
0,6	22,07	13,24	17,32	10,39	13,5	8,1
0,61	21,7	13,24	17,09	10,42		
0,62	21,39	13,25	16,88	10,46	13,25	8,22
0,63	21,03	13,25	16,65	10,49		
0,64	20,74	13,27	16,46	10,53	13	8,32
0,65	20,37	13,25	16,22	10,55		
0,66	20,02	13,21	15,99	10,55	12,7	8,38
0,67	19,66	13,19	15,74	10,56		
0,68	19,32	13,16	15,52	10,57	12,41	8,45
0,69	19,04	13,13	15,33	10,57		
0,7	18,71	13,1	15,11	10,58	12,2	8,55
0,71	18,39	13,07	14,9	10,58		
0,72	18,11	13,04	14,71	10,59	11,92	8,59
0,73	17,78	12,98	14,49	10,58		
0,74	17,47	12,92	14,27	10,56	11,62	8,6
0,75	17,18	12,87	14,08	10,55		
0,76	16,87	12,82	13,87	10,54	11,37	8,63
0,77	16,55	12,76	13,64	10,52		
0,78	16,25	12,67	13,44	10,48	11,1	8,65
0,79	15,93	12,59	13,21	10,44		
0,8	15,61	12,49	12,99	10,39	10,78	8,63
0,81	15,27	12,38	12,75	10,33		
0,82	14,97	12,27	12,53	10,27	10,47	8,57
0,83	14,63	12,14	12,28	10,19		
0,84	14,29	12,01	12,03	10,11	10,1	8,5
0,85	13,98	11,85	11,81	10,02		
0,86	13,62	11,72	11,53	9,92	9,75	8,39
0,87	13,25	11,53	11,26	9,8		
0,88	12,89	11,34	10,99	9,67	9,33	8,21
0,89	12,52	11,14	10,7	9,52		
0,9	12,14	10,93	10,41	9,37	8,9	8
0,91	11,75	10,71	10,11	9,22		
0,92	11,42	10,50	9,85	9,06	8,48	7,8
კიბეზე ქვევით						
0,01	59,48	0,59	49,16	0,49		
0,02	58,75	1,17	48,55	0,97	36,91	0,74
0,03	57,98	1,74	47,92	1,44		
0,04	57,21	2,29	47,28	1,89	35,9	1,48

გაგრძელება

D	მოძრაობის სახე					
	აგარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	ს	q	ს	q	ს	q
0,05	56,13	2,81	46,39	2,32		
0,06	55,18	3,32	45,6	2,74	31,67	2,08
0,07	54,17	3,79	44,77	3,13		
0,08	53,2	4,26	43,97	3,52	33,36	2,96
0,09	52,13	4,69	43,08	3,88		
0,1	51,04	5,11	42,18	4,22	32,07	3,21
0,11	49,92	5,49	41,26	4,54		
0,12	48,76	5,86	40,3	4,84	30,6	3,67
0,13	47,65	6,2	39,38	5,12		
0,14	46,54	6,51	38,46	5,38	29,22	4,1
0,15	45,4	6,81	37,52	5,63		
0,16	44,27	7,08	36,59	5,85	27,8	4,45
0,17	43,1	7,32	35,62	6,05		
0,18	41,96	7,55	34,68	6,24	26,35	4,74
0,19	40,91	7,77	33,81	6,42		
0,2	39,82	7,96	32,91	6,58	25	5
0,21	38,77	8,14	32,04	6,73		
0,22	37,7	8,3	31,16	6,86	24	5,28
0,23	36,66	8,43	30,3	6,97		
0,24	35,6	8,54	29,42	7,06	22,38	5,37
0,25	34,63	8,65	28,62	7,15		
0,26	33,65	8,75	27,81	7,23	21,15	5,5
0,27	32,66	8,82	26,99	7,29		
0,28	31,73	8,88	26,22	7,34	19,93	5,58
0,29	30,79	8,93	25,45	7,38		
0,3	29,94	8,98	24,74	7,42	18,8	5,64
0,31	29,08	9,01	24,03	7,45		
0,32	28,23	9,04	23,33	7,47	17,61	5,64
0,33	27,44	9,05	22,68	7,48		
0,34	26,62	9,05	22	7,48	16,7	5,68
0,35	25,85	9,04	21,36	7,47		
0,36	25,11	9,04	20,75	7,47	15,76	5,67
0,37	24,38	9,01	20,15	7,45		
0,38	23,63	8,98	19,53	7,42	14,84	5,64
0,39	22,97	8,95	18,98	7,4		
0,4	22,3	8,92	18,43	7,37	14	5,6
0,41	21,64	8,87	17,89	7,33		
0,42	20,97	8,81	17,33	7,28	13,17	5,53
0,43	20,34	8,75	16,81	7,23		
0,44	19,74	8,69	16,31	7,18	12,4	5,36
0,45	19,12	8,6	15,8	7,11		
0,46	18,59	8,54	15,36	7,06	11,67	5,36
0,47	18,04	8,47	14,91	7		
0,48	17,44	8,37	14,41	6,92	10,95	5,26
0,49	16,89	8,28	13,96	6,84		
0,5	16,35	8,18	13,51	6,76	10,27	5,13
0,51	15,79	8,06	13,05	6,66		
0,52	15,27	7,94	12,62	6,56	9,6	5
0,53	14,79	7,84	12,22	6,48		
0,54	14,31	7,73	11,83	6,39	9	4,86



გაგრძელება

D	მოქრობის სახე					
	აერიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
0,55	13,83	7,61	11,43	6,29		
0,56	13,37	7,49	11,05	6,19	8,4	4,71
0,57	12,93	7,37	10,69	6,09		
0,58	12,54	7,27	10,36	6,01	7,87	4,55
0,59	12,12	7,15	10,02	5,91		
0,6	11,72	7,03	9,69	5,81	7,36	4,42
0,61	11,35	6,92	9,38	5,72		
0,62	10,99	6,81	9,08	5,63	6,9	4,28
0,63	10,6	6,68	8,76	5,52		
0,64	10,3	6,58	8,51	5,44	6,47	4,14
0,65	9,98	6,49	8,25	5,36		
0,66	9,66	6,38	7,98	5,27	6,06	4
0,67	9,34	6,26	7,72	5,17		
0,68	9,05	6,15	7,48	5,08	5,69	3,87
0,69	8,82	6,07	7,29	5,02		
0,7	8,57	6	7,08	4,96	5,38	3,77
0,71	8,35	6,93	6,9	4,9		
0,72	8,11	5,83	6,7	4,82	5,1	3,67
0,73	7,88	5,75	6,51	4,75		
0,74	7,7	5,7	6,36	4,71	4,84	3,58
0,75	7,54	5,65	6,23	4,67		
0,76	7,37	5,6	6,09	4,63	4,63	3,52
0,77	7,21	5,55	5,96	4,59		
0,78	7,08	5,52	5,85	4,56	4,45	3,47
0,79	6,96	5,49	5,75	4,54		
0,8	6,84	5,47	5,65	4,52	4,29	3,44
0,81	6,73	5,45	5,56	4,5		
0,82	6,63	5,43	5,48	4,49	4,17	3,43
0,83	6,55	5,43	5,41	4,49		
0,84	6,47	5,43	5,35	4,49	4,07	3,42
0,85	6,41	5,43	5,30	4,49		
0,86	6,32	5,42	5,22	4,48	3,97	3,41
0,87	6,22	5,41	5,14	4,47		
0,88	6,14	5,41	5,08	4,47	3,86	3,4
0,89	6,1	5,41	5,04	4,48		
0,9	6,03	5,41	4,98	4,48	3,78	3,4
0,91	5,93	5,4	4,9	4,46		
0,92	5,86	5,38	4,84	4,45	3,68	3,39
კიბეზე ზევით						
0,01	55,24	0,55	43,84	0,44		
0,02	53,99	1,08	42,85	0,86	35,1	0,7
0,03	52,69	1,58	41,82	1,25		
0,04	51,29	2,05	40,71	1,63	33,35	1,4
0,05	49,83	2,49	39,55	1,98		
0,06	48,35	2,9	38,37	2,3	31,43	1,89
0,07	46,81	3,28	37,15	2,6		
0,08	45,23	3,62	35,9	2,87	29,43	2,35
0,09	43,66	3,93	34,65	3,12		
0,1	42,01	4,2	33,34	3,33	27,35	2,73

გაგრძელება

D	შობრაობის სახე					
	აგარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
0,11	40,38	4,44	32,05	3,52		
0,12	38,75	4,65	30,76	3,69	25,2	3,01
0,13	37,27	4,85	29,58	3,85		
0,14	35,7	5	28,33	3,97	23,2	3,25
0,15	34,22	5,13	27,16	4,07		
0,16	32,76	5,24	26	4,16	21,32	3,41
0,17	31,42	5,34	24,94	4,24		
0,18	30,14	5,43	23,92	4,31	19,6	3,53
0,19	28,9	5,49	22,94	4,36		
0,2	27,8	5,56	22,06	4,41	18,1	3,61
0,21	26,74	5,62	21,22	4,46		
0,22	25,74	5,66	20,43	4,49	16,75	3,69
0,23	24,85	5,71	19,72	4,53		
0,24	24,04	5,77	19,08	4,58	15,63	3,75
0,25	23,28	5,82	18,48	4,62		
0,26	22,59	5,87	17,93	4,66	14,7	3,82
0,27	21,99	5,93	17,45	4,71		
0,28	21,43	6	17,01	4,76	13,95	3,91
0,29	20,93	6,07	16,61	4,82		
0,3	20,5	6,15	16,27	4,88	13,34	4
0,31	20,12	6,24	15,97	4,95		
0,32	19,77	6,32	15,69	5,02	12,85	4,11
0,33	19,43	6,41	15,42	5,09		
0,34	19,15	6,51	15,2	5,17	12,47	4,24
0,35	18,93	6,63	15,02	5,26		
0,36	18,71	6,74	14,85	5,35	12,17	4,37
0,37	18,5	6,84	14,68	5,43		
0,38	18,32	6,98	14,54	5,53	11,92	4,53
0,39	18,16	7,08	14,41	5,62		
0,4	17,99	7,19	14,28	5,71	11,7	4,68
0,41	17,83	7,31	14,15	5,8		
0,42	17,7	7,43	14,05	5,9	11,51	4,84
0,43	17,55	7,55	13,93	5,99		
0,44	17,44	7,67	13,84	6,09	11,35	5
0,45	17,30	7,8	13,73	6,19		
0,46	17,16	7,9	13,62	6,27	11,1	5,11
0,47	17,06	8,01	13,54	6,36		
0,48	16,91	8,11	13,42	6,44	11	5,28
0,49	16,77	8,22	13,31	6,52		
0,50	16,66	8,33	13,22	6,61	10,84	5,42
0,51	16,51	8,42	13,1	6,68		
0,52	16,39	8,53	13,01	6,77	10,68	5,53
0,53	16,25	8,62	12,9	6,84		
0,54	16,1	8,69	12,78	6,9	10,47	5,65
0,55	15,98	8,78	12,68	6,97		
0,56	15,83	8,86	12,56	7,03	10,3	5,76
0,57	15,71	8,96	12,47	7,11		
0,58	15,57	9,03	12,36	7,17	10,12	5,88
0,59	15,45	9,11	12,26	7,23		
0,6	15,31	9,19	12,15	7,29	9,96	5,98

გაგრძელება

D	მოდრაობის სახე					
	ავარიული		ნორმალური		კომფორტული	
	u	q	u	q	u	q
0,61	15,04	9,17	11,94	7,28		
0,62	14,8	9,17	11,75	7,28	9,63	5,97
0,63	14,55	9,17	11,55	7,28		
0,64	14,31	9,16	11,36	7,27	9,3	5,95
0,65	14,07	9,15	11,17	7,26		
0,66	13,82	9,12	10,97	7,24	9	5,94
0,67	13,58	9,10	10,78	7,22		
0,68	13,34	9,07	10,59	7,2	8,67	5,9
0,69	13,12	9,05	10,41	7,18		
0,7	12,88	9,01	10,22	7,15	8,39	5,87
0,71	12,65	8,98	10,04	7,13		
0,72	12,44	8,95	9,87	7,1	8,1	5,83
0,73	12,21	8,91	9,69	7,07		
0,74	11,98	8,87	9,51	7,04	7,8	5,78
0,75	11,79	8,85	9,36	7,02		
0,76	11,58	8,79	9,19	6,98	7,53	5,72
0,77	11,38	8,76	9,03	6,95		
0,78	11,16	8,71	8,86	6,91	7,27	5,67
0,79	10,96	8,66	8,7	6,87		
0,8	10,77	8,62	8,55	6,84	7	5,6
0,81	10,56	8,56	8,38	6,79		
0,82	10,37	8,51	8,23	6,75	6,75	5,54
0,83	10,18	8,44	8,08	6,7		
0,84	9,98	8,38	7,92	6,65	6,5	5,46
0,85	9,8	8,33	7,78	6,61		
0,86	9,59	8,25	7,61	6,55	6,24	5,36
0,87	9,37	8,15	7,44	6,47		
0,88	9,17	8,06	7,28	6,4	5,97	5,24
0,89	8,95	7,96	7,1	6,32		
0,9	8,76	7,88	6,95	6,25	5,7	5,13
0,91	8,51	7,74	6,75	6,14		
0,92	8,3	7,64	6,59	6,06	5,4	4,87

№	მნიშვნელობა	ფორმულა	სიდიდე და ერთეული
1	აღამიანის ჰორიზონტალური პროექციის ფართობი	$f = \frac{\pi}{4} ac \text{ (მ}^2\text{)}$	$\alpha$ - ჰორიზონტალური პროექციის სიგანე (მ) $c$ - ჰორიზონტალური პროექციის სისქე (მ)
2	დახრილი გზის სიგრძე	$L = \frac{L'}{\cos \alpha} \text{ (მ)}$	$L'$ - დახრილი გზის ჰორიზონტ. პროექცია (მ) $\alpha$ - დახრის კუთხე ჰორიზონტის მიმართ
3	ხაღხის ნაკადის სიმჭიდროვე	$D = \frac{\sum f}{\delta l} = \frac{Nf}{\delta l} \text{ (მ}^2\text{/მ}^2\text{)}$	$N$ - ხაღხის რაოდენობა ნაკადში ან ჰორიზონტალური პროექციების ჯამი (მ <sup>2</sup> ) $\delta$ - ნაკადის სიგანე $l$ - ნაკადის სიგრძე
4	ნაკადის მაქსიმალური სიმჭიდროვე	$D_{\max} = 0,92$	—
5	გამტარუნარიანობა	$Q = D v \delta \text{ (მ}^3\text{/წთ)}$	$v$ - მოძრაობის სიჩქარე (მ/წთ)
6	ნაკადის მოძრაობის ინტენსიურობა	$q = vD \text{ (მ/წთ)}$	—
7	მოძრაობის ინტენსიურობა გზის შემდგომ მონაკვეთზე (n+1)	$q_{n+1} =$ $= q_n \frac{\delta_n}{\delta_{n+1}} \text{ (მ/წთ)}$	—
8	მოძრაობის ინტენსიურობა გზის შემდგომ მონაკვეთზე (n+1) ნაკადების შერწყმის შემთხვევაში	$q_{n+1} = \frac{\sum Q_n}{\delta_{n+1}} \text{ (მ/წთ)}$	$\sum Q$ - შერწყმული ნაკადების გამტარუნარიანობის ჯამი გზის (n+1) მონაკვეთის წინ

45

ი 17/918

# შინაარსი



შესავალი .....	3
1. ხალხის ნაკადის გადაადგილების სახეობები და გზები .....	4
2. ხალხის ნაკადის პარამეტრები .....	5
2.1. ხალხის ნაკადის სიმჭიდროვე .....	5
2.2. ხალხის ნაკადის სიჩქარე და დრო .....	6
2.3. გზის გამტარუნარიანობა და ხალხის ნაკადის მოძრაობის ინტენსიურობა .....	7
3. ხალხის ნაკადის გადაადგილების ძირითადი კანონზომიერებანი .....	9
3.1. ხალხის ნაკადის პარამეტრების ცვლილებები გზის მომიჯნავე მონაკვეთების საზღვრებთან .....	9
3.2. ხალხის ნაკადების შეერთება (შერწყმა) და დანაწევრება .....	10
4. პრაქტიკული სამუშაოების შესრულების მაგალითები .....	12
ლიტერატურა .....	18
საილუსტრაციო მასალა .....	19
I დანართი .....	27
II დანართი .....	35

35.364  
4  
საქართველო  
საგარეო ურთიერთობების  
სამსახური

ISBN 978-9941-20-300-8



9 789941 203008