

სასელმძღვანელოში მოყვანილია კავშირგაბმულობის ბოქკოვან-ოპტიკური საზღვის აგებისა და ფუნქციონირების პრინციპები. განიხილება შუქგამტარებისა და ოპტიკური კაბელების ტიპების დანახიათება, ოპტიკური საზღვის უმაღლესი კომპონენტების დანიშნულება და მუშაობის პრინციპები, საზღვის პროექტირებისა და მშენებლობის საკითხები.

სასელმძღვანელო განკუთვნილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კავშირგაბმულობის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის. იგი სარგებლობას მოუტანს აგრეთვე ინჟინრებს, რომლებიც მუშაობენ ბოქკოვან-ოპტიკური საზღვის პროექტირებისა და ექსპლოატაციის სფეროში.

წინასიტყვაობა . . . . .

თავი 1. შუამავტარები . . . . .

1.1. ზოგადი ცნობები ელექტრომაგნიტური ტალღების შესახებ . . . . .

1.2. სინათლის გავრცელება ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გარემოში . . . . .

1.3. ბოქკოვან შუქამტარებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები . . . . .

1.4. ბოქკოვანი შუქამტარების პროფილები . . . . .

1.4.1. ზოგადი ცნობები . . . . .

1.4.2. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების საფესუროვანი პროფილი . . . . .

1.4.3. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების გრადიენტული პროფილი . . . . .

1.4.4. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების მრავლსაფესუროვანი პროფილი . . . . .

1.5. ბოქკოვანი შუქამტარის კონსტრუქცია . . . . .

1.6. შუქამტარიანი ძარღვები . . . . .

1.6.1. ღრუ გარსაცმისანი შუქამტარიანი ძარღვები . . . . .

1.6.2. შუქამტარიანი ძარღვი მთლიანი დამცავი გარსაცმით, კომპაქტური შუქამტარიანი ძარღვი . . . . .

თავი 2. ბოქკოვან-ოპტიკური კაბელები . . . . .

2.1. ბოქკოვანი კონსტრუქცია . . . . .

2.1.1. გულარა . . . . .

2.1.2. გარსები . . . . .

2.1.3. ჯაფხანი . . . . .

2.2. ბოქკოვანი კლასიფიკაცია . . . . .

2.2.1. გარე გაყვანილობის კაბელები . . . . .

2.2.1.1. მიწისქვეშა კაბელები . . . . .

2.2.1.2. საჭირო კაბელები . . . . .

2.2.1.3. წყალქვეშა კაბელები . . . . .

2.2.2. შიგა გაყვანილობის კაბელები . . . . .

2.2.3. სპეციალური კაბელები . . . . .

2.3. ბოქკოვანი მასსიათებლები . . . . .

2.3.1. მიღება . . . . .

2.3.2. დისპერსია . . . . .

2.3.3. ბოქკოვანი ვატარების ზოლი და კავშირის სიშორე . . . . .

თავი 3. პასიური ოპტიკური კომპონენტები . . . . .

3.1. ოპტიკური შემაერთებლები . . . . .

3.1.1. რაზიომული შეერთება . . . . .

3.1.2. შეერთება შედელებით . . . . .

3.1.3. მექანიკური სკლასი . . . . .

3.2. ოპტიკური განშტოებლები . . . . .

3.3. ტალღური დამკვრივების მოწყობილობები WDM . . . . .

3.4. ოპტიკური იზოლატორები . . . . .

3.5. ატენიუატორები . . . . .

3.6. ოპტიკური გადაძრთველები . . . . .

3.7. შემაერთებელი ქუროები . . . . .

3.8. ოპტიკური გამანაწილებელი და კომუტაციის მოწყობილობები . . . . .

3.8.1. ბოქკოვანი ტერმინირება . . . . .

3.8.2. ოპტიკური კვანძი . . . . .

3.8.2.1. ოპტიკური გამანაწილებელი მოწყობილობები . . . . .

3.8.2.2. ოპტიკური კროსირების მოწყობილობები . . . . .

თავი 4. ელექტროოპტიკური სიბნელის გარდაქმნა . . . . .

4.1. ელექტროოპტიკური მოდულები . . . . .

4.2. ოპტიკოელექტრონული მოდულები . . . . .

4.3. გამამოკლებლები და ოპტიკური მახდიერებლები . . . . .

თავი 5. ბოქკოვან-ოპტიკური საკაბელო კომუნიკაციის სისტემების სპეციფიკაცია . . . . .

5.1. მანქანის პროექტირება . . . . .

5.1.1. გადაცემის მანქანის პროექტირება . . . . .

5.1.2. პროექტირების მექანიკური ასპექტები . . . . .

5.2. მიწისა და სამშენებლო სამუშაოების წარმოება . . . . .	
5.2.1. სამუშაოები დასასრულებელ პუნქტებში (მიგასაქალაქო ზონები) . . . . .	
5.2.2. სამუშაოები დაუსასრულებელ პუნქტებში (ქაღალაქებს შორისი - სასოფლო ზონები) . . . . .	
5.2.3. განსაკუთრებული სამონტაჟო ადგილები . . . . .	

## წინასიტყვაობა

ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში ინფორმაციის კაბელებით გადაცემის სფეროში დიდი გამოყენება პოვა ახალმა ტექნოლოგიამ, რომლის დროსაც სიგნალები გადაეცემა ოპტიკურ შექცამტარებში გაბზავლი სინათლის სხივების საშუალებით.

სინათლე, როგორც შეტყობინებების გადაცემის საშუალება, გამოიყენებოდა ჯერ კიდევ შორეულ წარსულში. კავშირის ასეთი ტიპის მაგალითები დღესაც არსებობს: შუქურები, შუქნიშნები, ავტომანქანების საკონტროლო-სასიგნალო ნათურები და სხვ. 200 წლის წინათ დაიწყო სინათლის გამოყენებით ინფორმაციის შორ მანძილებზე გადაცემის მეთოდების დამუშავება და დანერგვა. ასე მაგალითად, 1790 წელს კლოდ შაპლა საფრანგეთში ააგო ოპტიკური ტელეგრაფის სისტემა, რომელიც შედგებოდა მოძრავი სასიგნალო მოწყობილობების შემცველი სემაფორული კოშკებისაგან. ამ სისტემით შეიძლებოდა ინფორმაციის გადაცემა 20კმ მანძილზე 15 წუთის განმავლობაში. ასეთი სისტემა მოქმედებდა, მაგალითად, მე-19 საუკუნის დასაწყისში პეტერბურგსა და ვარშავას შორის, მისი სიგრძე იყო 1200 კმ.

1880 წელს ამერიკელმა ბელმა გამოიგონა ფოტოფონი, რომელშიც ბგერითი სიგნალები გადაეცემოდა სინათლის საშუალებით. მაგრამ ამ სისტემის მუშაობა დამოკიდებული იყო ამინდზე, ამიტომ მან პრაქტიკული გამოყენება ვერ პოვა.

ათი წლით ადრე, 1870 წელს, ინგლისელმა ტინდალმა აჩვენა, რომ სინათლე შეიძლება გადაცემულ იქნას წყლის ჭაბულით. მის ექსპერიმენტში გამოიყენებოდა სინათლის სრული არეკვლის ეფექტი, რომელზეც დაფუძნებულია თანამედროვე შექცამტარებში სინათლის გადაცემის პრინციპები.

ამ ექსპერიმენტებიდან ნახევარ საუკუნეზე მეტი ვაჭიდა, სანამ გადაიდგმებოდა ახალი ნაბიჯი ოპტიკური გადაცემის სფეროში. 1934 წელს ამერიკელმა ფრენჩმა მიიღო ოპტიკური სისტემის პატენტი, რომელშიც იგი აღწერდა, თუ როგორ უნდა განხორციელებულიყო ბგერითი სიგნალების გადაცემა ოპტიკური კაბელებით.

ამ კონცეფციის ტექნიკური რეალიზება მოხდა მხოლოდ 25 წლის შემდეგ, რასაც ხელი შეუწყო აღნიშნული ტექნოლოგიის დანერგვისათვის საჭირო ნახევარგამტარული ხელსაწყოების გამოგონებამ. 1958 წელს ამერიკელებმა შავლომა და ტაუნსმა დაამუშავეს სინათლის წყაროს - ლაზერის - დამზადების ტექნოლოგია, რომელიც პრაქტიკულად პირველად იქნა გამოყენებული 1960 წელს მეიმანის მიერ. 1962 წელს შექმნილ იქნა ნახევარგამტარული ლაზერების პირველი ნიმუშები, რაშიც დიდი დამსახურება მიუძღვის რუს მეცნიერებს ბასოვსა და პროსოროვს და იგივე ამერიკელ ტაუნსს. იმავე წელს შექმნილ იქნა ფოტომოდემის ძირითადი ელემენტი - ფოტოდiodი. ამგვარად დღის წასრიგში დადგა ახალი პრობლემა - სინათლის გადაცემის არეს შერჩევა.

1966 წელს ინგლისელებმა კომ და პოკემმა წამოაყენეს წინადადება ამ მიზნით ბოქკოვანი მინის გამოყენების თაობაზე. მაგრამ ოპტიკური კავშირის ეფექტური სისტემების ასაგებად, რომლებითაც შესაძლებელი იქნებოდა სიგნალების გადაცემა დიდ მანძილებზე, საჭირო იყო, რომ გადაცემის არეს ჰქონოდა მილევა არა უმეტეს 20 დბ/კმ, იმ დროს როცა 1965 წელს დამზადებული შექცამტარებისათვის ეს სიდიდე შეადგენდა 1000 დბ/კმ.

ეს პრობლემა გარკვეულწილად გადაიჭრა 1970 წელს, როცა ფირმა „კორნინგ გლას უორკში“ შექმნილ იქნა საფესუროვანი პროფილის შექცამტარები, რომელთა მილევა 633ნმ სიგრძის ტალღაზე 20 დბ/კმ-ს არ აღემატებოდა. ორი წლის შემდეგ დამზადებული ვრადიენტული პროფილის შექცამტარების მილევის სიდიდე უკვე 4 დბ/კმ შეადგენდა, ხოლო თანამედროვე ერთმოდინი შექცამტარებისათვის იგი ტოლია 0,2 დბ/კმ 1550 ნმ ტალღის სიგრძეზე.

ბოქკოვან-ოპტიკური კაბელების პრაქტიკული გამოყენება პირველად მოხდა 1973 წელს აშშ სამხედრო-საზღვაო ფლოტის სომალდებზე. სმელეთზე კი ბოქკოვან-ოპტიკური სისტემის საცდელი გაშვება პირველად განხორციელდა ქ. ატლანტაში 1976 წელს.

დღეისათვის ბოქკოვან-ოპტიკური საკაბელო მაგისტრალებით (როგორც სასმელეთო, ისე წყალქვეშა) პრაქტიკულად მთელი მსოფლიო არის დაფარული, ერთერთი ასეთი მაგისტრალის მონაკვეთი გადის ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიაზე. ესაა ტრასა ფოთი-თბილისი, რომელიც შემდეგ ვრძელდება აზერბაიჯანისა და სომხეთის საზღვრებამდე. იგივე ტრასა ფოთიდან ზღვით ვრძელდება რუსეთის ქალაქ ნოვოროსიისკამდე. საიდანაც უკვე შეიძლება დაკავშირება ევროპის ქვეყნებთან. საქართველოში ოპტიკური კავშირის კიდევ ერთი მაგალითია თბილისისა და ქუთაისის შიგააქაქალაქო სატელევიზიო ქსელები, რომელთა მნიშვნელოვანი ნაწილი აგებულია ბოქკოვან-ოპტიკურ კაბელებზე.

ბოქკოვან-ოპტიკური გადაცემის სისტემების დანერგვის ტემპების ზრდა მთელს მსოფლიოში განპირობებულია იმ უპირატესობებით, რომლებიც გააჩნია ოპტიკურ კაბელებს ელექტრონულ კაბელებთან შედარებით. ამ უპირატესობებს მიეკუთვნება ფერადი ლითონების დაზოგვა, ინფორმაციის დიდი ნაკადის გადაცემის შესაძლებლობა, სიგნალის მცირე მილევა სისწორეთა ფართო დიაპაზონში, გარე ელექტრომაგნიტური ხელშეშლებისგან დაცულობა, მცირე ვაბარიტები და წონა, საიმედოობა. განსაკუთრებით

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დღევანდელ პირობებში გატარების ფართო შოლს. რადგან თანამედროვე ეპოქა სასიათღება გადასაცემი ინფორმაციის სულ უფრო მზარდი მოცულობით.

წინამდებარე წიგნის მიზანს წარმოადგენს გაცნოს მკითხველს თანამედროვე ბოჭკოვან-ობტიკური სარეზების აგებისა და მათი ცალკეული კომპონენტების ფუნქციონირების პრინციპები. ესაა პირველი გამოცემა ქართულ ენაზე, რომელიც აღნიშნულ თემატიკას ეხება, და, ბუნებრივია, არ არის დაზღვეული სარეზებისაგან. ავტორები წინასწარ უხდიან მადლობას ყველას, ვინც კონსტრუქციულ შენიშვნებსა და წინადადებებს მიაწვდის მათ წიგნის შინაარსის თაობაზე.

1.1. ზოგადი ცნობები ელექტრომაგნიტური ტალღების შესახებ

მე-19 საუკუნის ერთერთმა უდიდესმა ფიზიკოსმა ჯეიმს მაქსველმა შექმნა ელექტრომაგნიტური ველის თეორია, რომელზე დაყრდნობით შემდეგში ახსნილ იქნა მანამდე უცნობი მოვლენები და კანონზომიერებანი. სასწაულოა, ამ თეორიიდან გამომდინარეობდა ელექტრომაგნიტური ტალღის არსებობა, რომელიც მოგვიანებით ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა ჰერის ჰერცმა.

ელექტრომაგნიტური ტალღა წარმოიქმნება ცვლადი ელექტრული და მაგნიტური ველებით შესაბამისად ახალი მაგნიტური და ელექტრული ველების ფორმირებისას სივრცის მუდმივ არეებში და ამ ველების გავრცელებით სივრცეში. სწორედ ტალღის სივრცეში გადაადგილების თვისება დაედო საფუძვლად მის გამოყენებას ინფორმაციის გადასატანად.

ვაკუუმში ელექტრომაგნიტური ტალღები ვრცელდება სივრცითი სიჩქარით:

$$c_0 = 300\,000 \text{ კმ/წმ}$$

სივრცითი დიელექტრიკული  $\epsilon$  და მაგნიტური  $\mu$  შეღწევალობის მქონე გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარე ტოლია:

$$v = c_0 / \sqrt{\epsilon \mu}$$

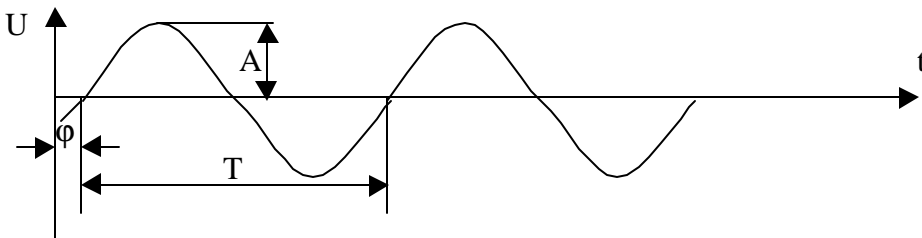
უმარტივეს შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ტალღა აღიწერება სინუსოიდური ფუნქციით (ნახ.1):

$$S = A \sin(\omega t - \varphi),$$

სადაც  $A$  არის ტალღის ამპლიტუდა;  $\omega = 2\pi f$  - კუთხური სიხშირე;  $f$  - რხევების სიხშირე, იზომება ჰერცებში;  $\varphi$  - ფაზური კუთხე, იზომება რადიანებში.

1-ლ ნახაზზე ნაჩვენებია  $T$  სიდიდე აღნიშნავს ერთი სრული რხევის შესაბამის დროის მონაკვეთს. მას რხევის პერიოდი ეწოდება. იგი უკუპროპორციულია  $f$  სიხშირის:

$$f = 1/T.$$



ნახ.1

გარდა აღნიშნული პარამეტრებისა, ელექტრომაგნიტური ტალღის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ტალღის სიგრძე  $\lambda$ . ესაა ტალღის სივრცული პერიოდი, ე.ი. სრული რხევა, გამოსასული მანძილის ერთეულებში.

$f$ ,  $\lambda$  და  $c$  სიდიდეებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$c = f \lambda$$

ელექტრომაგნიტურ ტალღებს გააჩნია უსასრულო სპექტრი, რომლის ნაწილი ადამიანის მიერ ათვისებულია ინფორმაციის გადასაცემად (ცხრილი 1).

სპექტრის ხილული ნაწილი განლაგებულია ვიწრო დიაპაზონში 0,38 მკმ-დან (იისფერი) 0,78 მკმ-მდე (წითელი), რომელიც ესაზღვრება შედარებით მოკლე ტალღების მხრიდან ულტრაიისფერ გამოსხივებას, შედარებით გრძელი ტალღების მხრიდან კი - ინფრაწითელს (ნახ.2).

ბოჭკოვან-ოპტიკურ ხაზებში გამოიყენება ხილული დიაპაზონის სიახლოვეს განლაგებული ინფრაწითელი დიაპაზონის ნაწილი ტალღის სიგრძით 0,8-დან 1,6 მკმ-მდე, ამასთან უპირატესობა ენიჭება 0,85, 1,3 და 1,55 მკმ ტალღის სიგრძეებს.

1.2. სინათლის გავრცელება ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გარემოში

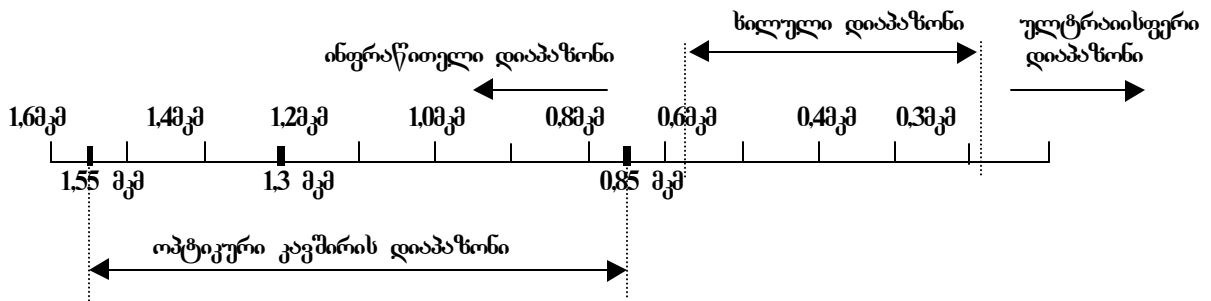
ნებისმიერი ტალღის, მათ შორის სინათლის ტალღის, გავრცელების მიმართულება განისაზღვრება სხივებით, რომლებიც უჩვენებს სივრცეში ტალღის ენერჯის გავრცელების მიმართულებას.

ერთგვაროვან გარემოში სინათლის სხივი ვრცელდება სწორხაზოვნად მანამ, სანამ არ მიაღწევს ამ გარემოსა და მეორე გარემოს საზღვარს. ორი გარემოს საზღვარზე სხივი იცვლის თავის მიმართულებას. სინა-

ცხრილი 1

დიაპაზონი	$\lambda$ , მ	f, ჰც	გამოყენების სფერო
დაბალსიხშირული	$10^7 - 10^4$	$30 - 3 \cdot 10^4$	რადიონავიგაცია, რადიოსატელეკომუნიკაციები
მაღალსიხშირული	$10^4 - 1$	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^8$	რადიომაუწყებლობა, კოსმოსური რადიოკავშირი, ტელევიზია, რადიოლოკაცია, რადიოსარელო კავშირი და სხვ.
- გრძელი ტალღები	$10^4 - 10^3$	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	
- საშუალო ტალღები	$10^3 - 10^2$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	
- მოკლე ტალღები	$10^2 - 10$	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	
- ულტრა მოკლე ტალღები	$10 - 1$	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	
ზემაღალი სიხშირის (ზმს)	$1 - 0.001$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$	რადიომაუწყებლობა, კოსმოსური რადიოკავშირი, ტელევიზია, რადიოლოკაცია, რადიოსარელო კავშირი და სხვ.
- დეციმეტრული ტალღები	$1 - 0.1$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	
- სანტიმეტრული ტალღები	$0.1 - 0.01$	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	
- მილიმეტრული ტალღები	$0.01 - 0.001$	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	
ოპტიკური	$10^{-3} - 20 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{11} - 1.5 \cdot 10^{17}$	კავშირგაბმულობის ბოქოვან-ოპტიკური სისტემები, მედიცინა, კვანტური რადიოელექტრონიკა
- ინფრაწითელი ტალღები	$10^{-3} - 7.5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$	
- ხილული ტალღები	$7.5 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 7.5 \cdot 10^{14}$	
- ულტრაიისფერი ტალღები	$4 \cdot 10^{-7} - 20 \cdot 10^{-10}$	$7.5 \cdot 10^{14} - 1.5 \cdot 10^{17}$	

თლის ნაწილი (ზოგ შემთხვევაში მთლიანად) ბრუნდება პირველ გარემოში ( ამ მოვლენას ს ი ნ ა თ ლ ი ს ა რ ე კ ვ ლ ა ეწოდება), მეორე ნაწილი კი გადის მეორე გარემოში, ამასთან - იცვლის თავისი გავრცელების მიმართულებას (ამ მოვლენას ს ი ნ ა თ ლ ი ს გ ა რ დ ა ტ ე ს ა ეწოდება).



ნახ.2

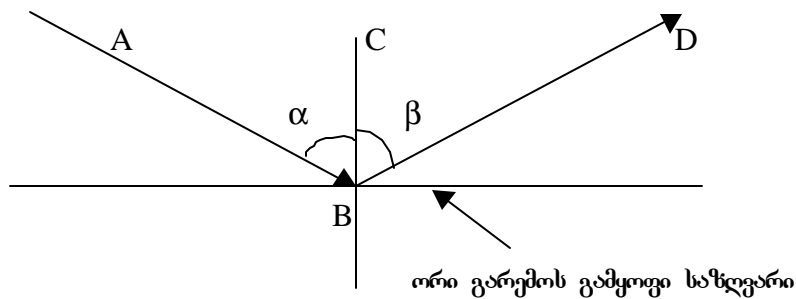
ორი გარემოს გამყოფი საზღვრის თვისებებიდან გამომდინარე არეკვლა შეიძლება იყოს ს ა რ კ უ ლ ი ან გ ა ბ ე უ ლ ა.

თუ საზღვრის უსწორმასწორობათა ზომები სინათლის ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია, მაშინ ასეთ ზედაპირს სარკული ეწოდება. იდეალური სარკული ზედაპირის შემთხვევაში მასზე ვიწრო პარალელური კონის სახით დაცემული სხივები არეკვლის შემდეგაც პარალელური მიმართულებით ვრცელდება. ასეთ მიმართულ არეკვლას სარკული არეკვლა ეწოდება.

თუ საზღვრის უსწორმასწორობათა ზომები სინათლის ტალღის სიგრძეზე მეტია, მაშინ ვიწრო კონა განიბნევა საზღვარზე და არეკვლის შემდეგ სინათლის სხივები ყველა მიმართულებით ვრცელდება. ასეთ არეკვლას გაბნეული ანუ დიფუზური ეწოდება.

სინათლის არეკვლა ხასიათდება შემდეგი კანონით (ნახ. 3): ორი გარემოს გაყოფის საზღვარზე დაცემული სხივი (AB), არეკლილი სხივი (BD) და დაცემის წერტილში აღმართული პერპენდიკულარი (BC) ერთ სიბრტყეში მდებარეობს, ხოლო არეკლის β კუთხე ტოლია დაცემის α კუთხის.

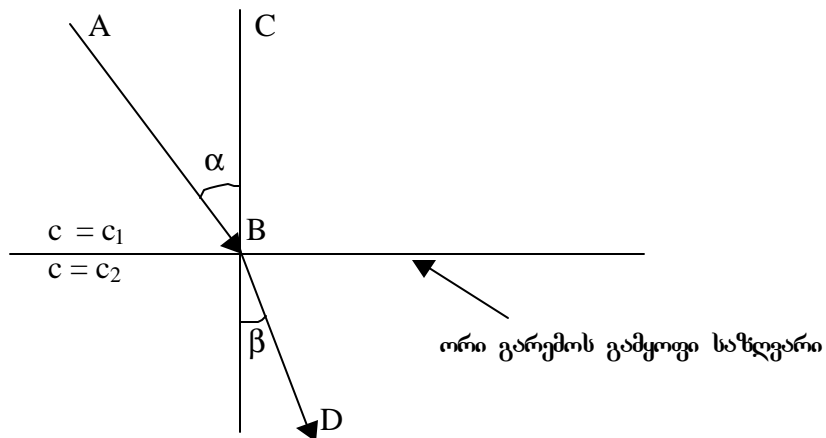
თუ მეორე გარემო გამჭვირვალეა, მაშინ განსაზღვრულ პირობებში სინათლის ნაწილი გაივლის ორი გარემოს საზღვარს და იცვლის თავისი გავრცელების მიმართულებას, ე.ი. გარდატეხება. სინათლის გარდატეხა ხასიათდება შემდეგი კანონით (ნახ. 4): ორი გარემოს გაყოფის საზღვარზე დაცემული სხივი (AB), გარდატეხილი სხივი (BD) და დაცემის წერტილში აღმართული პერპენდიკულარი (BC) ერთ სიბრტყეში



ნახ. 3

მდებარეობს,

გარდა ამისა, იწოდებოდა ოპტიკური კანონის, ე.ი. ნივთიერებისათვის, რომელსაც გააჩნია ერთნაირი თვისებები ყველა მიმართულებით, მართებულია აგრეთვე სინუსის კანონი: დაცემის α კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის β კუთხის სინუსთან მოცემული ორი გარემოსათვის მუდმივი სიდიდეა და ტოლია პირველ გარემოში სინათლის  $c_1$  სიჩქარის მეორე გარემოში სინათლის  $c_2$  სიჩქარესთან ფარდობისა.



ნახ.4

ამ განსაზღვრის თანახმად მე-4 ნახაზიდან გვაქვს:

$$\sin\alpha / \sin\beta = c_1/c_2,$$

ორი გამჭვირვალე გარემოდან ოპტიკურად უფრო მკვრივი ეწოდება იმას, რომელშიც სინათლის გავრცელების სიჩქარე ნაკლებია.

ვაკუმიდან ( $\approx$  ჰაერიდან), რომელშიც სინათლის გავრცელების სიჩქარეა  $c_0$ , სინათლის გავრცელების  $c$  სიჩქარის მქონე გარემოში გადასვლისას ადგილი აქვს ტოლობას:

$$\sin\alpha / \sin\beta = c_0/c = n.$$

$n$  სიდიდეს ეწოდება აღნიშნული გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი. მისი სიდიდეა  $n = 1$ .

გარდატეხის  $n_1$  და  $n_2$  მაჩვენებლებისა და სინათლის  $c_1$  და  $c_2$  სიჩქარეების მქონე ორი განსხვავებული გარემოსათვის ადგილი აქვს ტოლობებს:

$$c_1 = c_0/n_1;$$

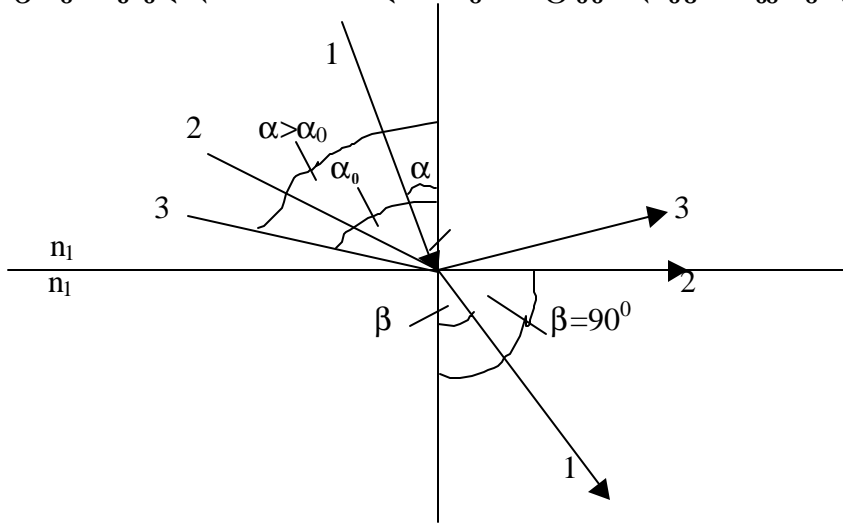
$$c_2 = c_0/n_2.$$

აქედან გამომდინარეობს სნელიუსის გარდატეხის კანონის სხვა ფორმა:

$$\sin\alpha / \sin\beta = n_2/n_1.$$

ამგვარად, დაცემის  $\alpha$  კუთხის სინუსის შეფარდება გარდატეხის  $\beta$  კუთხის სინუსთან ტოლია შესაბამისი გარდატეხის მაჩვენებლების შეტრუნებული ფარდობის.

როგორც ზემოთქმულიდან ჩანს, სინათლის სხივის ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან ოპტიკურად



ნახ. 5

ნაკლებად მკვრივ გარემოში გადასვლისას  $\alpha < \beta$  (ნახ.5, ტენილი1). თუ  $\alpha$ -ს გავზრდით, ცხადია, შესაბამისად გაიზრდება  $\beta$ -ც და რაღაც  $\alpha = \alpha_0$  მნიშვნელობის დროს ადგილი ექნება ტოლობას  $\beta = 90^\circ$ . ამ დროს სინათლის სხივი ვრცელდება ორი გარემოს გამყოფი ზედაპირის პარალელურად (ნახ.5, ტენილი 2). დაცემის  $\alpha_0$  კუთხეს ეწოდება ორი გარემოს კრიტიკული კუთხე. ამ კუთხისათვის მართებულია ტოლობა:

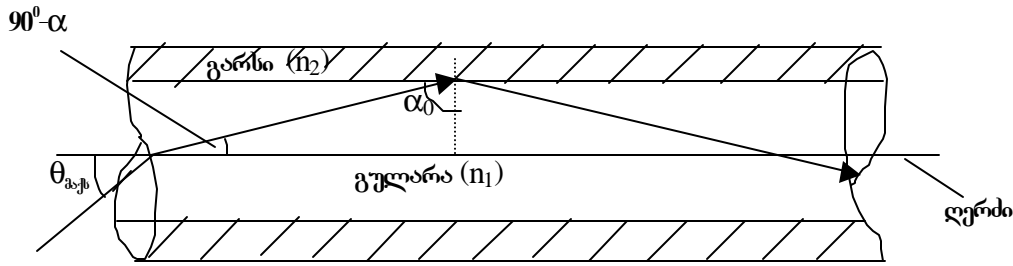
$$\sin\alpha_0 = n_2/n_1 \quad (1)$$

ე.ი. კრიტიკული კუთხე დამოკიდებულია გარემოთა გარდატეხის მაჩვენებლების ფარდობაზე.

$\alpha > \alpha_0$  დროს სინათლის გარდატეხა უკვე შეუძლებელია და სხივი მთლიანად ირეკლება. ამ მოვლენას სინათლის სრული შინაგანი არეკვლა ეწოდება. ადგილი დასანახია, რომ სრული შინაგანი არეკვლა შესაძლებელია, როცა სინათლის სხივი მიემართება ოპტიკურად უფრო მკვრივი გარემოდან ოპტიკურად ნაკლებად მკვრივ გარემოსკენ და შეუძლებელია საწინააღმდეგო შემთხვევაში.

### 1.3. ბოქკოვან შუქგამტარებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები

სრული შინაგანი არეკვლის ეფექტი გამოიყენება სინათლის სხივების გადასაცემად ბოქკოვან შუქგამტარებში. შუქგამტარი წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის ბოქკოს, რომელსაც გააჩნია ორფენოვანი კონსტრუქცია - იგი შედგება გულარა, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n_1$ , მოთავსებულია ღერძის გასწვრივ ვარსი კი, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელია  $n_2$ , დაფენილია მის გარშემო (ნახ.6).  $n_1$  სიდიდე უმნიშვნელოდ აღემატება  $n_2$ -ს. მათი სხვაობის საზომად იყენებენ სიდიდეს:



ნახ.6

$$\Delta \approx (n_1 - n_2) / n_1, \quad (2)$$

რომელსაც გარდატენის მაჩვენებელია  $n_1$  და  $n_2$  სხვაობა ეწოდება.

სინათლის სხივის სრული არეკვლის პრინციპის თანახმად გულარაში შესული ყველა სხივი, რომელიც გადაისრება შუქკამტარის ღერძიდან  $(90^\circ - \alpha_0)$ -ზე ნაკლები კუთხით, გავრცელდება გულარაში. განვსაზღვროთ გულარაში გარედან (ჰაერიდან) სხივის შეყვანის მაქსიმალური შესაძლო კუთხე ღერძის მიმართ  $\theta_{0,კვ}$ , რომლის დროსაც ჯერ კიდევ ადგილი აქვს სრულ არეკვლას გულარაში. სნელიუსის კანონის თანახმად გვექნება:

$$\sin \theta_{0,კვ} / \sin(90^\circ - \alpha_0) = n_1 / n_0.$$

რადგან  $n_0 = 1$ , ამიტომ

$$\sin \theta_{0,კვ} = n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}.$$

(1)-ის გათვალისწინებით გვექნება:

$$\sin \theta_{0,კვ} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (3)$$

$\theta_{0,კვ}$  კუთხეს ეწოდება შუქკამტარის შესასვლელი კუთხე რიბონის აპერტურის ანგარიშით. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ  $n_1$  და  $n_2$  სიდიდეებზე, სიდიდეს

$$NA = \sin \theta_{0,კვ} \quad (4)$$

ეწოდება შუქკამტარის რიცხვის რიბონის აპერტურის ანგარიშით. მას დიდი მნიშვნელობა აქვს ბოქკოვან შუქკამტარში სინათლის შესაყვანად.

(2), (3) და (4) ტოლობებიდან გამოდინარობს:

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 = NA^2 / 2n_1^2 \quad (5)$$

ოპტიკური ბოქკოს გულარას დიამეტრისა და შუქკამტარში შეყვანილი სინათლის ტალღის სიგრძეების თანაზომადობის გამო შუქკამტარში ადგილი აქვს სინათლის ტალღების ინტერფერენციის მოვლენას.

ინტერფერენცია არის ორი ან მეტი ტალღის ზედიზე და ასეთი სახით შერწყმა ერთ ტალღაში. ორი ტალღის ინტერფერენციის სუფთა სურათი შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ მაშინ, როცა მათ ერთი და იგივე ტალღის სიგრძე და ერთმანეთის მიმართ ფაზათა მუდმივი სხვაობა აქვს დროის ნებისმიერ მომენტში. ასეთ ტალღებს კოჰერენტული ეწოდება. თუ ორი კოჰერენტული ტალღა სივრცის რაღაც წერტილში განსწავდება ერთმანეთისგან ტალღის  $\lambda$  სიგრძის ჯერადი ფაზით, მაშინ ხდება მათი ამპლიტუდების შეკრება. ამ მოვლენას კონსტრუქციული ინტერფერენცია ეწოდება. მეორე მხრივ, თუ ფაზათა სხვაობა  $\lambda/2$  ჯერადია, ხდება ამპლიტუდათა გამოკლება, რომლის დროსაც თანაზომადობის ტალღები ამ წერტილში ჩაისშობა. ამ მოვლენას დესტრუქციული ინტერფერენცია ეწოდება.

სინათლის ორი ჩვეულებრივი წყაროს, მაგალითად, ვარვარების ნათურის, გამოსხივების ზედიზესას ინტერფერენცია არ ხდება, რადგან ჩვეულებრივი წყაროს სინათლე არ არის კოჰერენტული. ვარვარების ძაფი ასხივებს სინათლის იმპულსებს, რომელთა განლაგება დროში არაფიქსირებულია არ ექვემდებარება. ეს არის შემთხვევითი პროცესი, რომლის დაინშნულებაა უბრალოდ გარემოს განათება.

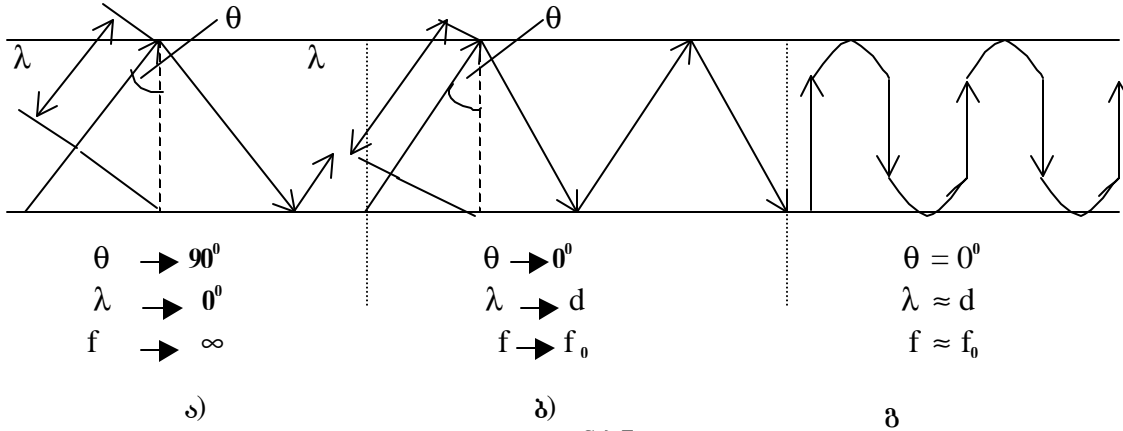
სინათლის გადასაცემად ოპტიკური შუქკამტარებით გამოიყენება სინათლის კოჰერენტული წყარო, ამიტომ ოპტიკურ ტალღაშუქარში ადგილი აქვს ინტერფერენციის მოვლენას, რაც იმით მტკიცდება, რომ სინათლე ვრცელდება გულარაში მხოლოდ განსაზღვრული კუთხეებით, სახელდობრ, იმ მიმართულებებით, რომლებშიც ადგილი აქვს კონსტრუქციულ ინტერფერენციას. სინათლის დასაშვებ ტალღებს, რომელთაც

შეუძლია ოპტიკურ ბოჭკოში გავრცელება, ეწოდება მ ო დ ე ბ ა. ყოველ მოდას შეესაბამება თავისი სიხვი, რომელიც შედის შუქამტარში მისთვის დამახასიათებელი კუთხით.

შემოვიტანოთ შუქამტარების კ რ ი ტ ი კ უ ლ ი ს ი ს შ ი რ ი ს ა და კ რ ი ტ ი კ უ ლ ი ტ ა ლ ლ ი ს ს ი გ რ ძ ი ს ცნებები.

როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, შუქამტარში სინათლის ტალღის გავრცელებისათვის მისი სიგრძე  $\lambda$  არ უნდა აღემატებოდეს გავრცელების არეს (ამ შემთხვევაში - გულარას)  $d$  დიამეტრს, ამიტომ გადაცემა შესაძლებელია მხოლოდ ძალიან მაღალი სისშირეების დიაპაზონში. ფაქტობრივად შუქამტარები წარმოადგენს მაღალსისშირულ ფილტრებს, რომელთაც გააჩნია რაღაც წაკვეთის (კრიტიკული) სისშირე -  $f_0$ . ამ სისშირეს შეესაბამება ტალღის სიგრძე  $\lambda_0$ , რომელზე ნაკლები სიგრძის ტალღები შუქამტარში ვრცელდება, მეტი სიგრძის კი - არა.

მე-7 ნახაზზე ნაჩვენებია სხვადასხვა სისშირის ტალღების გავრცელება შუქამტარში.



ნახ.7

ძალიან მაღალ სისშირეებზე ველის მთელი ენერგია კონცენტრირდება გულარაში, რაც სინათლის სრულ არეკვლას შეესაბამება. სისშირის შემცირებისას კი ხდება ველის გადახანწილება და იგი ნაწილობრივ გადადის გარემომცველ სივრცეში (სხივი გარდატეხდება გარსში). კრიტიკული სისშირის დროს ველი აღარ ვრცელდება შუქამტარის გასწვრივ და ენერგია მთლიანად განიბნევა გარემოში.

მე-7,ა ნახაზზე ნაჩვენებია მაღალსისშირული გადაცემის შემთხვევა ( $\lambda \rightarrow 0, f \rightarrow \infty$ ). ამ დროს  $\theta \rightarrow 90^\circ$  და სხივის არეკვლათა რიცხვი გულარასა და გარსის საზღვრიდან შედარებით მცირეა. შედეგად ტალღა მისწრაფვის სწორხაზოვანი მოძრაობისათვის შუქამტარის გასწვრივ.

მეორე შემთხვევაში (ნახ.7, ბ)  $\lambda \rightarrow 0, f \rightarrow \infty$ , ხოლო კუთხე  $\theta \rightarrow 0^\circ$ . სინათლის ტალღა მრავალჯერ აირეკლება, მისი გადაადგილება მცირედ ხდება და შუქამტარის გასწვრივ გადაეცემა ენერგიის მცირე ნაწილი.

ტალღის კრიტიკული  $\lambda_0 = d$  სიგრძისა და მისი შესაბამისი  $f_0 = c/\lambda_0 = c/d$  კრიტიკული სისშირის დროს დგება ისეთი რეჟიმი, როცა ტალღა ეცემა გარსს და აირეკლება მისგან პერპენდიკულარულად. ამ დროს შუქამტარში მყარდება მდგარი ტალღის რეჟიმი და ენერგია მასში არ გადაეცემა (ნახ.7,გ).

როგორც მე-7 ნახაზიდან ჩანს

$$\cos\theta = \lambda / d;$$

მეორე მხრივ

$$\cos\theta = \sqrt{1 - \sin^2} = \sqrt{1 - (n_2/n_1)^2}.$$

ამ გამოსახულებათა მარჯვენა მხარეების გატოლების შედეგად მივიღებთ:

$$\lambda_0 = (d/n_1)\sqrt{n_1^2 - n_2^2};$$

$$f_0 = c/\lambda_0 = c_0/(\lambda_0 \cdot n_1) = c_0 / (d\sqrt{n_1^2 - n_2^2}).$$

$\lambda_0$  და  $f_0$  უფრო ზუსტი გათვლისათვის შემოთ მოყვანილ გამოსახულებებში გათვალისწინებულ უნდა იქნას სპეციალური კოეფიციენტი  $P_{nm}$ , რომელსაც ტალღის სხვადასხვა ტიპისათვის სხვადასხვა მნიშვნელობა გააჩნია.

ამგვარად, შუქამტარში შეიძლება გავრცელდეს მხოლოდ ტალღები, რომლებისთვისაც  $\lambda < d$ .

#### 1.4. ბოჭკოვანი შუქგამტარების პროფილები

##### 1.4.1. ზოგადი ცნობები

თუ ბოჭკოვანი შუქგამტარის გარდატეხის  $n$  მაჩვენებელი განისილება, როგორც  $r$  რადიუსის ფუნქცია, მაშინ გამოიყენება ტერმინი **გ ა რ დ ა ტ ე ხ ი ს მ ა ჩ ვ ე ნ ე ბ ლ ი ს გ ა ნ ა წ ი ლ ე ბ ი ს პ რ ო ფ ი ლ ი**. იგი აღწერს გარდატეხის მაჩვენებლის ცვლილებას ბოჭკოს ღერძიდან გარსის მიმართულებით. ამ პროფილზე დამოკიდებული მოდელების გაერთიანება შუქგამტარში.

პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება ე.წ. სარისსობრივი პროფილები, რომელთა ცვალებადობის მრუდი აღიწერება რადიუსის სარისსობრივი ფუნქციით. გულარასათვის მას აქვს სახე:

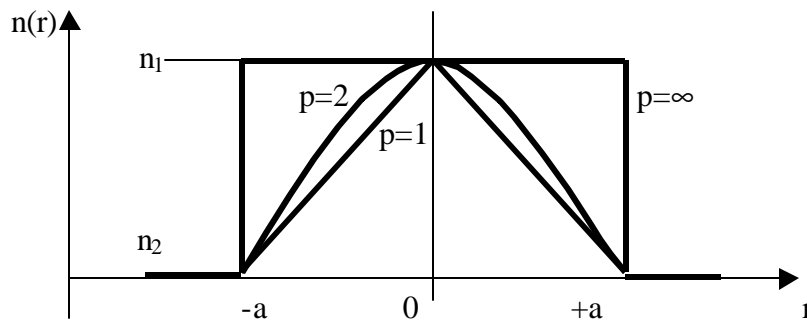
$$n^2(r) = n_1^2 [1 - 2\Delta(r/a)^p],$$

სოლო გარსისათვის -

$$n^2(r) = n_2^2 = \text{const.}$$

აქ  $n_1$  არის გარდატეხის მაჩვენებელი ღერძის გასწვრივ;  $r$  - მანძილი ღერძიდან, მკმ;  $a$  - გულარას რადიუსი, მკმ;  $p$  - პროფილის სარისსის მაჩვენებელი.

მე-8 ნახაზზე მოყვანილია პროფილების ტიპები  $p$  -ს სამი მნიშვნელობისათვის:  $p=1$ ;  $p=2$  და  $p=\infty$ .



ნახ.8

პირველ ორ შემთხვევაში  $r$ -ის ზრდა იწვევს გულარის გარდატეხის მაჩვენებლის თანდათანობით შემცირებას  $n_2$ -დან  $n_1$ -მდე,  $p=\infty$  დროს კი იგი მუდმივია  $r$ -ის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის. გარდატეხის მაჩვენებლის ამ უკანასკნელ პროფილს **ს ა ფ ე ხ უ რ ო ვ ა ნ ი ე წ ო დ ე ბ ა**, დანარჩენებს კი - **გ რ ა დ ი ე ნ ტ უ ლ ი**. ეს სახელი განსაკუთრებით შემორჩა პარაბოლური პროფილის შუქგამტარს, რომლისთვისაც  $p=2$ . გრადიენტული პროფილის მქონე ოპტიკური ბოჭკოები ხასიათდება სინათლის გადაცემის კარგი მახასიათებლებით.

ოპტიკური შუქგამტარის ერთერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია **ნ ო რ მ ი რ ე ბ უ ლ ი ს ი ს - შ ი რ ე V**, რომელიც წარმოადგენს უგანზომილებო სიდიდეს. იგი ტოლია:

$$V = (2\pi a / \lambda) NA = kaNA, \tag{6}$$

სადაც  $k = 2\pi/\lambda$  არის ტ ა ლ დ უ რ ი რ ი ც ხ ვ ა.  $V$  პარამეტრი განსაზღვრავს გულარაში გავცელებული მოდელების  $N$  რიცხვს სარისსობრივი პროფილების მქონე შუქგამტარებისათვის:

$$N \approx V^2 p / 2(p+2). \tag{7}$$

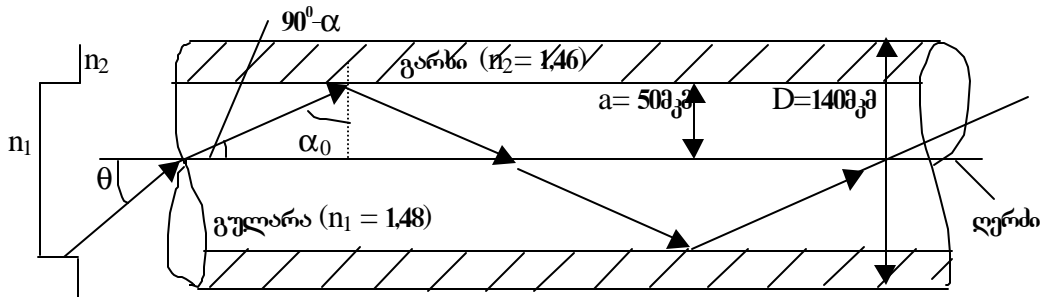
თუ მოდელების რიცხვი შუქგამტარში 1-ზე მეტია, მაშინ ასეთ შუქგამტარს **მ რ ა ვ ა ლ მ ო დ ი ა ნ ი ე წ ო დ ე ბ ა**. როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, შუქგამტარის სარისსობრივი მაჩვენებლების გასაზრდელად საჭიროა მოდელების რიცხვის მაქსიმალურად შემცირება, რაც ფაქტობრივად ნიშნავს  $V$  სიდიდის შემცირებას. ეს კი შეიძლება გულარის  $a$  რადიუსის ან რიცხვითი  $NA$  აპერტურის შემცირებით, ან სინათლის ტალღის სიგრძის გაზრდით. რიცხვითი აპერტურა განსაზღვრავს შუქგამტარში შეყვანილი სინათლის რაოდენობას, ამიტომ ამ სიდიდის მნიშვნელოვანი შემცირება მიზანშეწონილი არ არის. რადიუსის შემცირება ართულებს შუქგამტარების ტექნოლოგიასა და მომსახურებას, ამიტომ მისი ზომაც გარკვეულწილად შეზღუდულია ქვემოთა. სინათლის ტალღის სიგრძის საგრძობი გაზრდაც არაა მიზანშეწონილი, რადგან ამ დროს რთულდება მიმღებ-გადამცემი მოწყობილობების დაშვადება.

მოუხედავად ამ სიძნელეებისა, ობტიკური ბოჭკოების მწარმოებლებმა მაინც შეძლეს ისეთი შუქგამტარების დამზადება, რომლებშიც ვრცელდება მხოლოდ ერთი მოდა, ამიტომ მათ ე რ თ მ ო დ ი ა ნ ი ეწოდება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ერთმოდინი შეიძლება იყოს მხოლოდ საფეხურიანი პროფილის შუქგამტარი. შუქგამტარში მხოლოდ ერთი მოდის არსებობისათვის საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა:

$$V \leq 2,405.$$

#### 1.4.2. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების საფეხურიანი პროფილი.

როგორც აღნიშნული იყო, საფეხურიანი პროფილის მქონე შუქგამტარებში გარდატეხის  $n_1$  მაჩვენებელი ერთნაირია გულარის მთელს განივკვეთზე. ნახ. მე-9 ნახაზზე ნაჩვენებია სინათლის სხივების სგლა ასეთი ტიპის მრავალმოდინ შუქგამტარში, აგრეთვე - მისი ტიპური ზომები და გარდატეხის მაჩვენებლების სიდიდეები.



ნახ.9

მრავალმოდინი საფეხურიანი შუქგამტარისათვის (1) გამოსახულებიდან გვექნება:

$$\sin \alpha_0 = n_2/n_1 = 1,46/1,48 \approx 0,985;$$

მაშინ

$$\alpha_0 = 80,6^\circ.$$

ამგვარად, სინათლის ყველა სხივი, რომელიც ადგენს შუქგამტარის ღერძთან  $90^\circ - 80,6^\circ = 9,4^\circ$ -ის ტოლ ან მასზე ნაკლებ კუთხეს, ვრცელდება გულარაში.

გულარაში სინათლის ჰაერიდან შეყვანის კუთხე განისაზღვრება (3)-დან:

$$\sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,48^2 - 1,46^2} \approx 0,242;$$

აქედან

$$\theta \approx 14^\circ.$$

რიცხვითი აპერტურა და გარდატეხის მაჩვენებელი ნორმირებული სხვაობა შესაბამისად ტოლია:

$$NA \approx 0,242;$$

$$\Delta = NA^2 / 2n_1^2 \approx 0,242^2 / 2 \cdot 1,48^2 \approx 0,0134 \approx 1,34\%.$$

განვსაზღვროთ საფეხურიანი პროფილის შუქგამტარის ნორმირებული სისშირე და მოდების რიცხვი 0,85 მკმ, 1,3 მკმ და 1,55 მკმ შუბა სისშირეებისათვის.

(6)-დან გვექნება:

$$V_{0,85} = (2\pi a / \lambda) NA = (3,14 \cdot 0,242 \cdot 1000 \mu\text{მ}) / 0,85 \mu\text{მ} \approx 89,4;$$

$$V_{1,3} = (2\pi a / \lambda) NA = (3,14 \cdot 0,242 \cdot 1000 \mu\text{მ}) / 1,3 \mu\text{მ} \approx 58,4;$$

$$V_{1,55} = (2\pi a / \lambda) NA = (3,14 \cdot 0,242 \cdot 1000 \mu\text{მ}) / 1,55 \mu\text{მ} \approx 49.$$

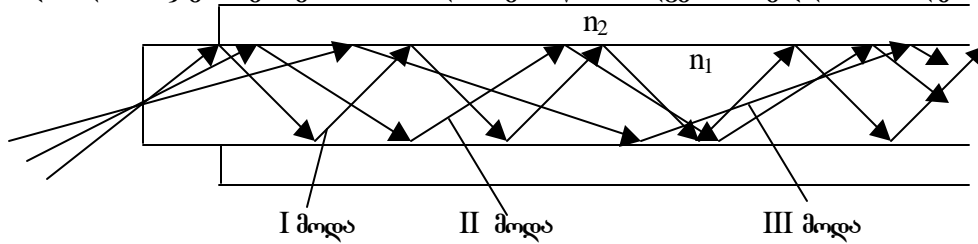
(7)-დან გვექნება:

$$N_{0,85} \approx V^2 / 2 = 89,4^2 / 2 \approx 4000;$$

$$N_{1,3} \approx V^2 / 2 = 58,4^2 / 2 \approx 1705;$$

$$N_{155} \approx V^2/2 = 49^2/2 \approx 1200.$$

მრავალმოდურიანი შუქკამტარებში ყოველი მოდა აღივსება შუქკამტარის შესასვლელზე თავის განსაზღვრული შეყვანის კუთხით და ვრცელდება მასში სხვადასხვა ტრანსვერსული (ნახ.10). ამის გამო სხვადასხვა მოდების მიერ გავლილი მანძილი სხვადასხვაა, რაც იწვევს მათ დროში დაძვრას ერთმანეთის მიმართ ბოქკოს გამოსასვლელზე, ამგვარად წარმოიქმნება ეწ. მ ო დ უ რ ი დ ი ს ჰ ე რ ს ი ა, რომელიც სინათლის დამახინჯების ერთერთ ძირითად მიზეზს წარმოადგენს, სასელდობრ, მოდური დისპერსიის შედეგად



ნახ.10

სინათლის მოკლე იმპულსი ფართოვდება ხაზში გავრცელების პროცესში, რის შედეგადაც მცირდება გადაცემის სიჩქარე. ამ მოვლენაზე ქვემოთ იქნება საუბარი.

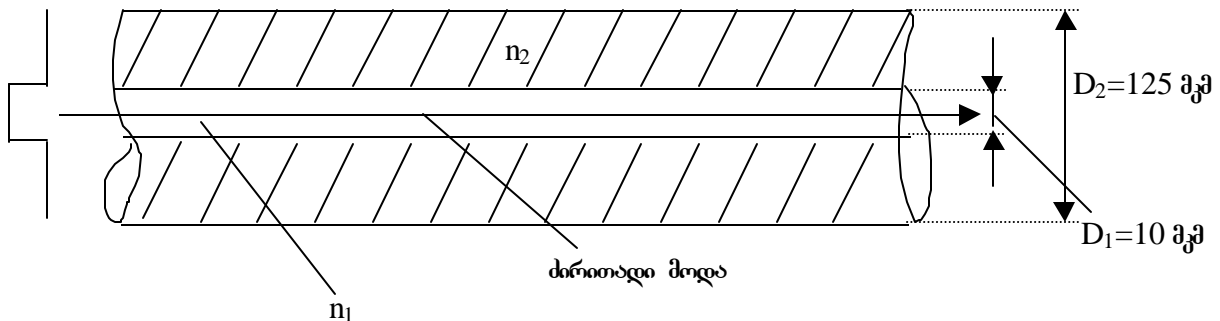
ერთმოდურიანი შუქკამტარებში მოდურ დისპერსიას ადგილი არ აქვს. ისინი ხასიათდება ეწ. ქ რ ო მ ა - ტ უ ლ ი დ ი ს ჰ ე რ ს ი ი თ (იხ. ქვემოთ), რომლის სიდიდე, როგორც წესი, ძალზე მცირეა.

მე-11 ნახაზზე ნაჩვენებია სინათლის სვლა ერთმოდურიანი შუქკამტარში, აგრეთვე - ასეთი შუქკამტარის ტიპური ზომები.

ერთმოდურიანი შუქკამტარისათვის  $n_1=1,46$  და  $\Delta = 0,003$ . აქედან გვექნება:

$$NA = \sin\theta_{\text{აკ}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \approx 1,46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,003} \approx 0,113;$$

$$\theta_{\text{აკ}} \approx 6,5^\circ.$$



ნახ.11

ამგვარად, ერთმოდურიანი შუქკამტარებში მრავალმოდურიანი საფენსუროვანი შუქკამტარებთან შედარებით მცირდება არა მარტო გულარას დიამეტრი, არამედ რიცხვითი და, აქედან გამომდინარე, კუთხური აპერტურები, რაც შედარებით ართულებს სინათლის შეყვანას ერთმოდურიანი შუქკამტარებში.

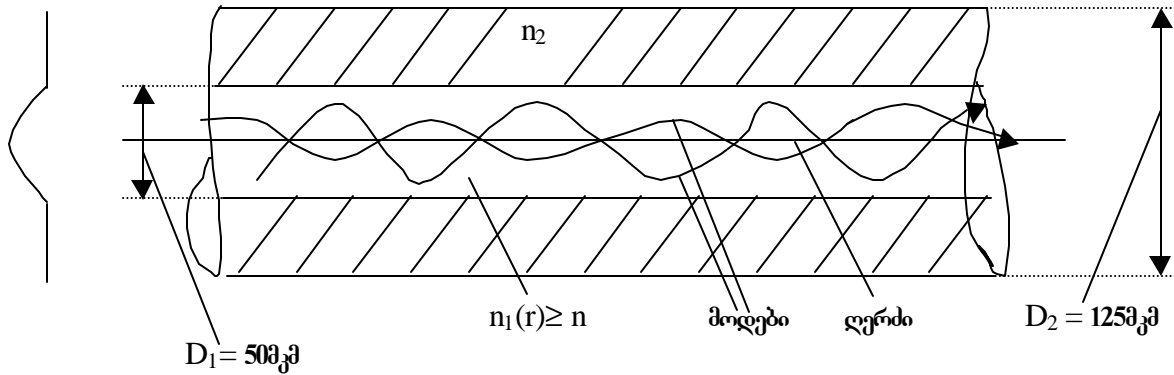
ტალღის კრიტიკული  $\lambda_0$  სიგრძე, რომლის ზემოთაც შუქკამტარში ვრცელდება მხოლოდ ძირითადი მოდა, და რომლისთვისაც ნორმირებული სისშირე ტოლია  $V_0=2,405$ , ტიპური ერთმოდურიანი შუქკამტარისათვის განისაზღვრება:

$$\lambda_0 = (2\pi a / V_0) NA = (3,14 \cdot 10 \cdot 0,113 \cdot 0,85 \mu\text{მ}) / 2,405 \approx 1,255 \mu\text{მ}.$$

### 1.4.3. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების გრადიენტული პროფილი.

გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების გრადიენტული პროფილის მქონე შუქკამტარებში, რომლებსთვისაც  $p = 2$ , მოდათაშორისი დისპერსია მნიშვნელოვნად მცირეა მრავალმოდურიანი საფენსუროვანი შუქკამტარების ანალოგიურ დისპერსიასთან შედარებით.

მე-12 ნახაზზე ნაჩვენებია სინათლის სვლა გრადიენტულ შუქკამტარში, აგრეთვე - ასეთი შუქკამტარის ტიპური ზომები. გულარაში გარდატეხის მაჩვენებლის უწყვეტი ცვლილების გამო სხივებიც უწყვეტად გარდატეხდება, ამიტომ ისინი ბოჭკოში ვრცელდება ტალღისებრი ან სრასნისებრი სპირალური ტრაექტორიებით და არა წიგზავისებრით, როგორც ეს ხდება საფეხსუროვან მრავალმოდინ შუქკამტარებში. სხივები, რომლებიც გულარას ღერძის სიანსლოვეს ირსევა, უფრო გრძელ მანძილს გადის, ვიდრე ღერძის გასწვრივ გაფრცელებული სხივი, მაგრამ იმის გამო, რომ ღერძიდან დაშორებასთან ერთად გარდატეხის მაჩვენებელი მცირდება, იზრდება სინათლის გაფრცელების სიჩქარე და უფრო გრძელი მანძილი კომპენსირდება გაფრცელების მცირე დროით. შედეგად სწავდასწვა სხივების დროში დაყოფნებას ერთმანეთის მიმართ პრაქტიკულად ადგილი არ აქვს (საშუალოდ ეს დაყოფნება დაახლოებით 16წმ-ის ტოლია ერთ კილომეტრზე, როცა სხივი ამ მანძილს გადის 5მკმ განმავლობაში).



ნახ.12

გრადიენტული შუქკამტარის გულარის ღერძზე გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობაა  $n_1=1,46$ , ხოლო გარდატეხის მაჩვენებელია სწავობა  $\Delta=0,01$ .

ტიპური გრადიენტული შუქკამტარის რიცხვითი და კუთხური აპერტურები შესაბამისად ტოლია:

$$NA = \sin\theta_{\text{აკვ}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \approx 1,46 \sqrt{2 \cdot 0,01} \approx 0,206;$$

$$\theta_{\text{აკვ}} \approx 11,9^\circ$$

1.4.4. გარდატეხის მაჩვენებლის განაწილების მრავალსაფეხსუროვანი პროფილი.

ერთმოდინ შუქკამტარებში განასწავებენ დისპერსიის ორ სახეს: მ ა ს ა ლ ი ს და ტ ა ლ ლ - გ ა მ ტ ა რ უ ლ ს.

ცნობილია, რომ მასალის გარდატეხის მაჩვენებელი, და, აქედან გამომდინარე, სინათლის გაფრცელების სიჩქარე, დამოკიდებულია მასში გაფრცელებული ტალღის სიგრძეზე.

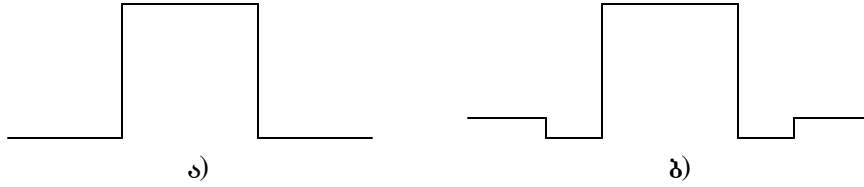
სახელდობრ, გარდატეხის მაჩვენებელი მცირდება ტალღის სიგრძის ზრდასთან ერთად, ეს წარმოადგენს ეწ. მასალის დისპერსიის მიზეზს შუქკამტარებში.

ტალღეამტარული დისპერსია წარმოიქმნება ძირითადი მოდის სინათლის ნაწილობრივ ვარსში გადანაწილების გამო. ამ დისპერსიის სიდიდე განისაზღვრება გარდატეხის მაჩვენებელია სწავობის ტალღის სიგრძისგან დამოკიდებულებით.

ეს ორი დისპერსია, ერთად აღებული, შეადგენს ქრომატულ დისპერსიას. მასალის დისპერსია შეიძლება შეცვლილ იქნას დამატებითი ლეგირების საშუალებით, მაგრამ უმნიშვნელოდ, რაც შეეხება ტალღეამტარულ დისპერსიას, იგი შეიძლება საგრძნობლად იქნას შეცვლილი გარდატეხის მაჩვენებლის პროფილის სწვა სტრუქტურის გამოყენებით.

საფეხსუროვანი პროფილის ჩვეულებრივი ერთმოდინანი შუქკამტარისათვის ზემოთ აღნიშნული ორი დისპერსიის ჯამი  $\lambda=1300\text{მკმ}$  ტალღის სიგრძეზე ნულის ტოლია, სწვა ტალღის სიგრძეებზე კი - არა. იმისათვის, რომ მივიღოთ ნულოვანი ჯამური დისპერსია სწვა ტალღებზეც, საჭიროა ტალღეამტარული დისპერსიის შეცვლა, რისთვისაც შეცვლილ უნდა იქნას შუქკამტარის პროფილი. ასე მაგალითად, გარდატეხის მაჩვენებლის ეწ. მრავალსაფეხსუროვან პროფილიან შუქკამტარებში ნულოვანი დისპერსიის მქონე ტალღის სიგრძე ან წანაცვლებულია 1550 ნმ-მდე (ბოჭკოვანი შუქკამტარები წ ა ნ ა ც ვ ლ ე ბ უ ლ ი

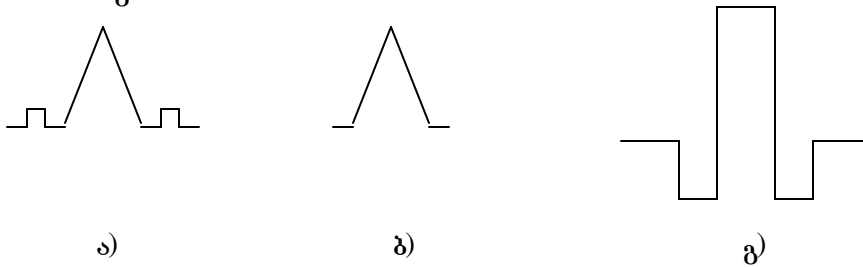
დისპერსიით), ან დისპერსიის სიდიდე ძალზე მცირეა ტალღათა დიაპაზონში 1300 ნმ-დან 1550 ნმ-მდე (ბოჭკოვანი შუქამტარები კომპენსირებული დისპერსიით).



ნახ.13

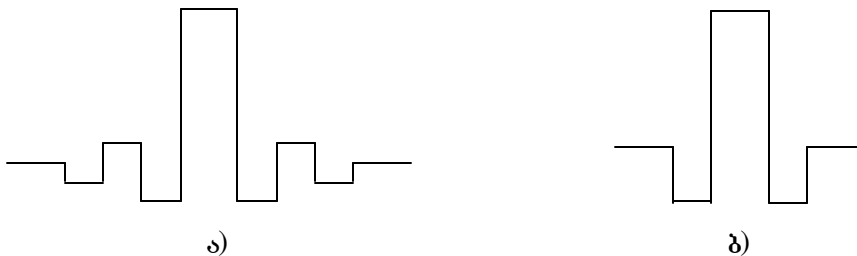
მე-13 ნახაზზე ნაჩვენებია პროფილები დისპერსიის წანაცვლების გარეშე ჩვეულებრივი (ნახ.13,ა) და გარსის გარდატენის შემცირებული მაჩვენებლით(ნახ.13,ბ).

მე-14 ნახაზზე ნაჩვენებია პროფილები დისპერსიის წანაცვლებით: მრავალსაფეხურიანი სამკუთხა გულარით (ნახ.14,ა), სამკუთხა (ნახ.14,ბ), და მრავალსაფეხურიანი გარსის გარდატენის ორსაფეხურიანი მაჩვენებლით (ნახ.14,გ).



ნახ.14

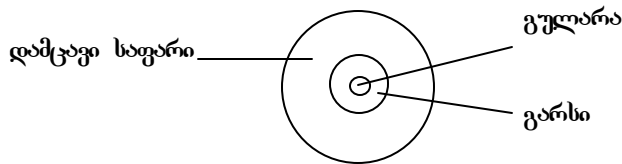
მე-15 ნახაზზე ნაჩვენებია პროფილები კომპენსირებული დისპერსიით: მრავალსაფეხურიანი გარსის გარდატენის ორსაფეხურიანი მაჩვენებლით (ნახ.15,ა) და W-სებრი (ნახ.15,ბ).



ნახ.15

1.5. ბოჭკოვანი შუქამტარის კონსტრუქცია

ბოჭკოვანი შუქამტარის უმაღლესი ორი ძირითადი ელემენტის - გულარასა და გარსის - შესახებ შემოთავაზებულია. მათ გარდა შუქამტარი შეიცავს დამცავ საფარს (ნახ.16).



ნახ.16

დამცავი საფარი წარმოადგენს ფენას, რომელიც დატანილია გარსის ზედაპირზე შუქამტარის დამზადების პროცესში. მისი ძირითადი დანიშნულებაა შუქამტარის დაცვა გარეშე შემოქმედებისაგან. დამცავ საფარს, როგორც წესი, ამზადებენ რამდენიმე ფენიდან. მაგალითად, გარსზე ჯერ შეიძლება დატანილი იქნას

ეპოქსიაკრილატის ან სილიციუმის ორგანული კომპაუნდის ფენა, ზემოდან კი - პოლიმერის (ფტოროპლასტი, პოლიეთილენი და სხვ.) ან ლაქის ფენა. დამცავ საფარს თანაბარი სისქე უნდა ჰქონდეს ბოჭკოს მთელ სიგრძეზე. მისი გარდატეხის მაჩვენებელი მეტი უნდა იყოს გარსის გარდატეხის მაჩვენებელზე, რათა გარსში შეყვანილი სინათლის არასასურველი ტალღები შთაინთქას საფარის პლასტმასით. ბოჭკოს საერთო დიამეტრი საფართთან ერთად 400-500 მკმ-ია.

მრავალმოდინანი შუქგამტარების გულარა და გარსი შეიძლება დამზადდეს როგორც კვარცული მინისგან, ისე - პლასტმასისგან. ამ თვალსაზრისით განასხვავებენ შუქგამტარების შემდეგ ტიპებს: კვარცი/კვარცი, კვარცი/პლასტმასა და პლასტმასა/პლასტმასა (პირველად მოყვანილია გულარას მასალა). ეს უკანასკნელი გამოიყენება ინფორმაციის გადასაცემად მოკლე მანძილებზე ( $\approx 100\text{მ}$ ).

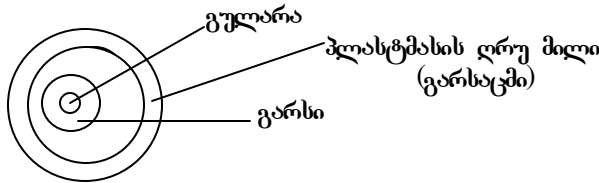
იმისათვის, რომ შესაძლებელი იყოს ცალკეული ბოჭკოების ერთმანეთისგან განსხვავება, მათ ღებავენ სხვადასხვა ფერად. საღებავის ფერები ისე შეირჩევა, რომ მათ არ მოახდინოს ზეგავლენა შუქგამტარის ოპტიკურ მახასიათებლებზე.

შუქგამტარების კონსტრუქციული მახასიათებლები სტანდარტიზებულია საერთაშორისო დონეზე, თუმცა არსებობს არასტანდარტული კონსტრუქციების შუქგამტარები, რომლებიც განკუთვნილია სპეციფიკურ შემთხვევებში გამოსაყენებლად.

1.6. შუქგამტარიანი ძარღვები

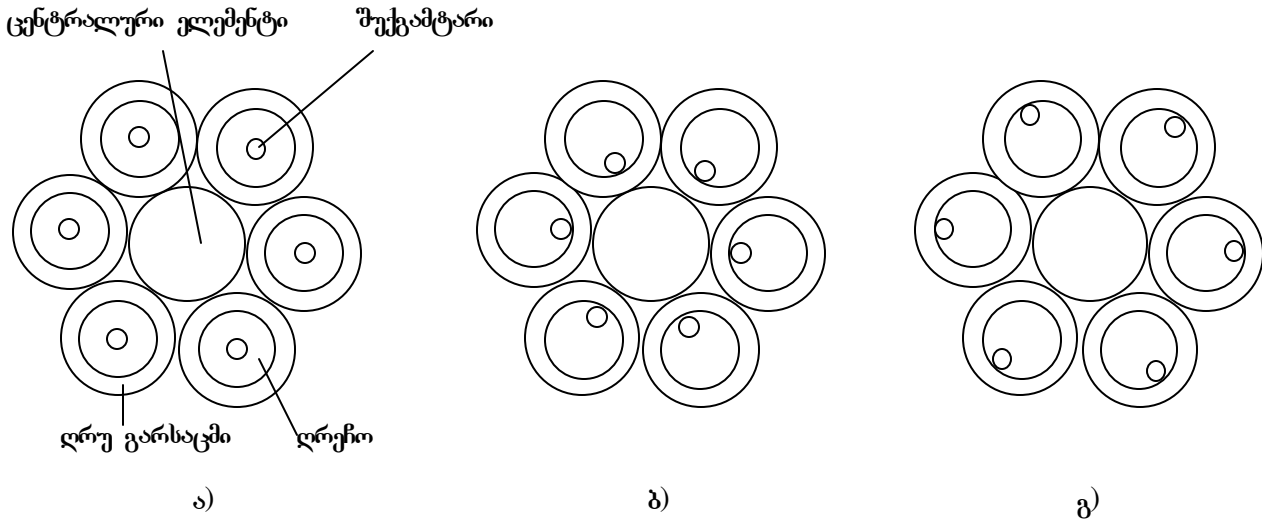
1.6.1. ღრუ გარსაცმინი შუქგამტარიანი ძარღვები

შუქგამტარის გარეშე ხელშეშლებისაგან დაცვის მიზნით დამუშავებულია სპეციალური კონსტრუქცია, კწ. ე რ თ შ უ ქ გ ა მ ტ ა რ ი ა ნ ი ძ ა რ ღ ვ ი (ნახ.17), რომელიც წარმოადგენს პლასტმასის ღრუ მილ-გარსაცმს მასში თავისუფლად ჩადებული შუქგამტარით. ამ კონსტრუქციას წაყენება შეეძლება მოთხოვნები: იგი საკმაოდ უნდა იყოს დაცული ხუნვისა და დეფორმაციისგან, ინარჩუნებდეს ფორმას, იყოს მდგრადი დაძველებისადმი, მოქნილი და მექანიკური ზემოქმედებისადმი მდგრადობის თვალსაზრისით არ ჩამოეგარდებოდეს სიმეტრიული და კოაქსიალური კაბელების წყვილებს.



ნახ.17

გარსაცმი შედგება შიგა დამცავი ფენისაგან, რომელსაც გააჩნია ხუნვის ძალზე მცირე კოეფიციენტი, და გარე ფენისაგან, რომელიც იცავს შუქგამტარს მექანიკური დაზიანებისაგან. შუქგამტარი ღრუ მილში ჩადებისას რჩება მილიმეტრის რამდენიმე მეათედის სივანის ღრწო, რაც იძლევა შუქგამტარის თავისუფალი მოძრაობის



ნახ.18

საშუალებას რადიალური მიმართულებით. ეს კი, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს შუქამტარის ერთიანი ძირითადი მახასიათებლის - მიღვეის - დასაშვებ დონის შენარჩუნებას ოპტიკური კაბელის გაჭიმვის ან შეკუმშვის გარკვეული სიდიდეების დროს.

მე-18 ნახაზზე მოყვანილია შუქამტარების ღრუ გარსაცმში განლაგება კაბელზე გარეშე მექანიკური ზემოქმედების არარსებობისას, კაბელის გაჭიმვისას და კაბელის გრძივი შეკუმშვისას.

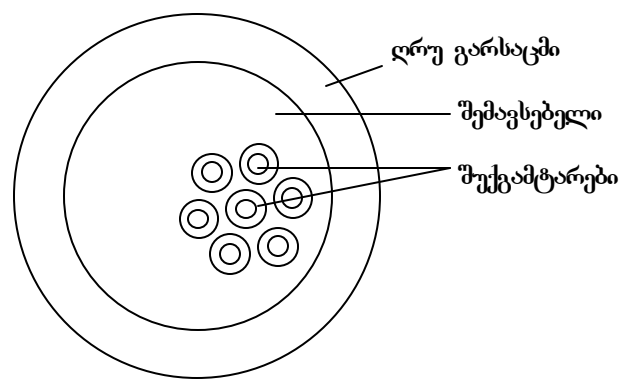
პირველ შემთხვევაში გარსაცმისა და შუქამტარის სიგრძეები ტოლია და ეს უკანასკნელი განლაგებულია მილის შუაში (ნახ.18,ა).

მეორე შემთხვევაში კაბელზე მოდებულია გაჭიმვის მექანიკური ძაბვა, რომელიც მოქმედებს გარსაცმზე (მაგრამ არა შუქამტარზე). გარსაცმის სიგრძე აღემატება შუქამტარისას, ამიტომ იგი გადაადგილდება გარსაცმის შიგა მხრის მიმართულებით (ნახ.18,ბ), ამასთან ისე, რომ დასაწყისში იგი გარსაცმს არ ეხება და არ განიცდის დეფორმაციას, რომელიც შუქამტარის მიღვეის გაზრდის ერთიანი ძირითადი მიზეზია. მიღვევა ზრდას იწყებს მხოლოდ კაბელის დაჭიმულობის რაღაც სიდიდის დროს, როცა შუქამტარი შეეხება გარსაცმის შიგა ზედაპირს.

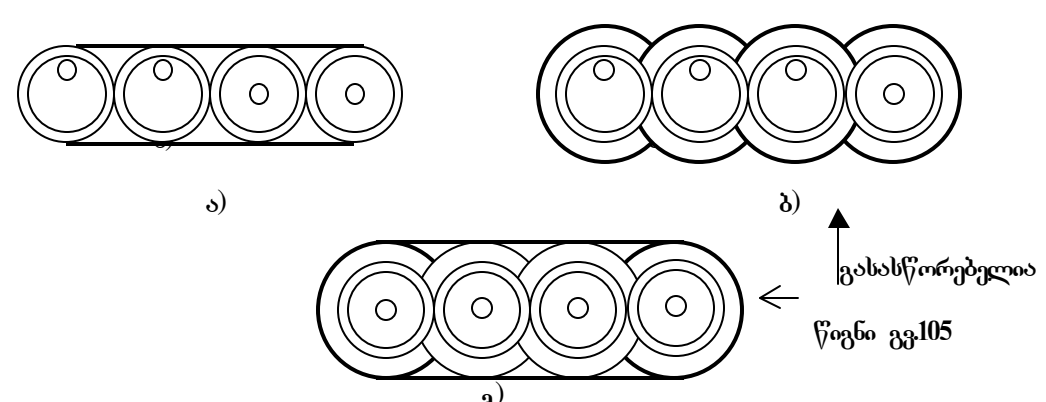
მესამე შემთხვევაში კაბელი (და, მამასადამე, გარსაცმიც) გრძივად იკუმშება, რასაც ადგილი აქვს მასზე დაბალი ტემპერატურის ზემოქმედების დროს. ამ დროს შუქამტარი გადაინაცვლება გარსაცმის გარე მხრის მიმართულებით (ნახ.18,გ), ამასთან წინა შემთხვევის ანალოგიურად დასაწყისში შუქამტარის დეფორმაცია არ ხდება და მიღვევა არ იცვლება, შეკუმშვის გარკვეული სიდიდის დროს კი ხდება შუქამტარისა და გარსაცმის შიგა ზედაპირის ურთიერთშეხება, რის შემდეგაც მიღვევა იწყებს ზრდას.

ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელის დაზიანებისას მოსალოდნელია ღრუ გარსაცმში წყლის შეღწევა, რომელმაც გაყინვის შემთხვევაში შეიძლება გამოიწვიოს შუქამტარის დეფორმაცია, და, აქედან გამომდინარე, მიღვეის გაზრდა. ამის თავიდან ასაცილებლად გარსაცმის მოცულობას ავსებენ შემავსებლით. ესაა ქიმიურად ნეიტრალური მასა, რომელიც ტემპერატურათა დიაპაზონში 30<sup>0</sup>-დან +70<sup>0</sup>-მდე ხასიათდება ერთი და იგივე თვისებებით - არ იყინება, არ გამოედინება და არ აზიანებს შუქამტარის დამცავ საფარს. ეს მასა შეიძლება ადვილად იქნას მოშორებული საჭიროებისამებრ შუქამტარის ზედაპირიდან, რაც მეტად მნიშვნელოვანია შუქამტარებში სინათლის შეყვანა-გამოყვანის ან მათი შეერთების პროცესში, ვინაიდან შუქამტარების შესაბამისი ნაწილები ამ დროს წინასწარ კარგად უნდა იყოს გასუფთავებული.

ღრუ გარსაცმიან ერთშუქამტარიან ძარღვებთან ერთად ფართოდ გამოიყენება ღრუ გარსაცმიანი მ რ ა ვ ა ლ შ უ ქ ა მ ტ ა რ ი ა ნ ი ძ ა რ ღ ვ ე ბ ი (ნახ.19), რომლებიც შეიცავს 2-12 შუქამტარს.



ნახ.19



ნახ.20

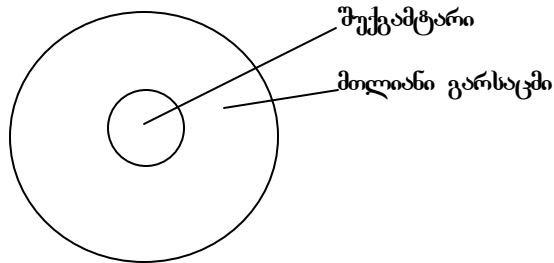
ნახ.19-ზე ნაჩვენები კონსტრუქცია შეიძლება დასვეწილ იქნას ე.წ. ლ ე ნ ტ უ რ ი ტექნოლოგიის გამოყენებით (ნახ.20). ამ დროს ორი ან მეტი ბოქკოვანი შუქამტარი მზადდება ერთიანი მოდულის სახით, რომელიც წარმოადგენს ბრტყელ მრავალშუქამტარიან ძარღვს. ცალკეული შუქამტარები განლაგებულია ერთ სიბრტყეში პარალელურად თანაბარი ბიჯით. ისინი შეიძლება განლაგებულ იქნას ორ აპკს შორის და შეწებებულ იქნას ერთმანეთთან სპეციალური ფისით (ნახ.20,ა), შეწებებულ იქნას აპკების გარეშე განაპირა მომიჯნავე ზედაპირებით (ნახ.20,ბ) ან მოთავსებულ იქნას შემავსებლით შევსებულ პლასტმასის საერთო გარსში და ამგვარად იქნას სისტად დაკავშირებული ერთმანეთთან (ნახ.20,გ).

ღრუ გარსაცმიანი მრავალშუქამტარიანი ძარღვების ბაზაზე მზადდება ღრუ გარსაცმიანი მ ა ქ ს ი მ რ ა ვ ა ლ შ უ ქ ა მ ტ ა რ ი ა ნ ი ძ ა რ ღ ვ ე ბ ი, რომლებშიც შეიძლება განლაგდეს 16-მდე შუქამტარი.

ღრუ გარსაცმიანი შუქამტარიანი ძარღვები ძირითადად გამოიყენება გარე საკაბელო საზღვრებზე, რომლებსაც მოეთხოვება გარეშე ხელშეშლებისადმი დიდი მდგრადობა, აგრეთვე - იმ შემთხვევებში, როცა საჭიროა კაბელების დამზადება არასტანდარტული მიწებისათვის.

1.6.2. შუქამტარიანი ძარღვი მთლიანი დამცავი გარსაცმით. კომპაქტური შუქამტარიანი ძარღვი.

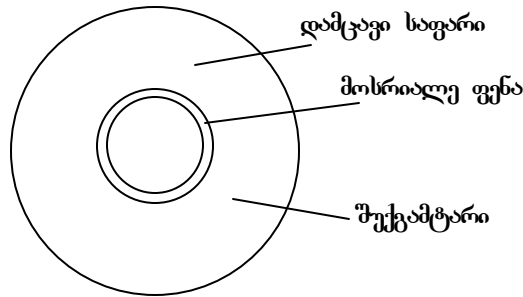
ბოქკოვანი შუქამტარების გარე ხელშეშლებისაგან დაცვის მარტივი საშუალებაა უშუალოდ შუქამტარის დამცავ საფარზე პლასტმასის მ თ ლ ი ა ნ ი მყარი გარსაცმის დაფენა (ნახ.19). ამ შემთხვევა-



ნახ.21

ში ძარღვის მთლიანი დიამეტრი მცირდება ღრუ გარსაცმიანი ძარღვების შესაბამის დიამეტრთან შედარებით დაახლოებით 0,5 მმ-ით, მაგრამ უარესდება შუქამტარის წარსწობრივი მანქანათმშენებლები. მართლაც, მთლიანი დამცავი გარსაცმის შემთხვევაში კაბელის დაგროვლება ან გრძივი შეკუმშვა უშუალოდ შუქამტარზეც მოქმედებს, რაც იწვევს მის დეფორმაციას და, შესაბამისად, მიღების გაზრდას.

ღრუ გარსაცმიანი ერთშუქამტარიანი შემავსებლიანი ძარღვისა და მთლიან გარსაცმიანი ძარღვის აგების პრინციპების შერწყმით დაშუშავებულ იქნა კ თ მ მ ა ქ ტ უ რ ი შუქამტარიანი ძარღვის კონსტრუქცია (ნახ.22). მისი არსი შემდეგში მდგომარეობს: ღრუ სივრცე შუქამტარის რბილ საფარსა და ძალიან მაგარ დამცავ გარსაცმს შორის შემცირებულია ღრუ გარსაცმიან ერთშუქამტარიან ძარღვის შესაბამის სივრცესთან შედარებით იმდენად, რომ შუქამტარი ცურავს მხოლოდ 50-დან 100 მკმ ფარგლებში, რის შედეგადაც მცირდება ძარღვის დიამეტრი. ფაქტობრივად, კომპაქტური შუქამტარიანი ძარღვი წარმოადგენს მთლიან გარსაცმიან ძარღვს, რომელშიც შუქამტარი გარკვეულწილად დაშორებულია გარსაცმისგან მოსრიადლე ფენით. ასეთი დაშორება ძალზე მოსწონებულს ხდის კომპაქტური შუქამტარიანი ძარღვის მონტაჟს, რადგან ღრუ



ნახ.22

გარსაცმიანი ძარღვის მსგავსად ადვილია მისი დამცავი ფენის მოშორება ძარღვების შეერთების წინ. სხვა მხრივ კომპაქტური შუქამტარიანი ძარღვისა და მთლიან გარსაცმიანი ძარღვის მანქანათმშენებლები ერთნაირია.

შექმტარიანი ძარღვი მთლიანი დაშცავი გარსაცმით და კომპაქტური შექმტარიანი ძარღვი ძირითადად გამოიყენება შიგა გაყვანილობის კაბელების მონტაჟისათვის.

ბოქვოვან-ობტიკური კაბელი (ბოქ) წარმოადგენს კონსტრუქციას, რომელიც შედგება ერთ დამცავ ვარსში მოთავსებული განსაზღვრული სისტემით შეგრენილი ობტიკური ბოქვოებისაგან. საქიროების შემოსვენებაში იგი შეიძლება შეიცავდეს ძალოვან და მადემფირებელ ელემენტებს. ბოქ უნდა ხასიათდებოდეს დიდი საიმედოობითა და ექსპლუატაციის დიდი ხანგრძლიობით, უძლებდეს ტემპერატურის მკვეთრ ნახტომებს და მექანიკურ დატვირთვებს.

2.1. ბოქ კონსტრუქცია

ბოქ ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტებს წარმოადგენს გ უ ლ ა რ ა, გ ა რ ს ი, დ ა მ ც ა ვ ი ს ა ფ ა რ ი და ჯ ა ვ შ ა ნ ა, რომელთა შემაჯდენლობაში თავის მხრივ შედის სხვა ელემენტები. ესენია:

- შექტამტარიანი ძარღვები ან კონსტრუქციები, სპეციალურად გამზადებული კაბელში ჩასადებად (ბრტყელი ლენტები, ლენტების მატრიცები);
- პლასტიკის ან მეტალის მილისებრი მოდულები (ობტიკური მოდულები), რომლებშიც განლაგებულია შექტამტარები;
- პროფილირებული გულარები, რომელთა ღრმულებში განლაგდება შექტამტარის ძარღვები, მათი კონები ან ობტიკური მოდულები;
- ძალოვანი ელემენტები: ცენტრალური (პლასტიკური მინის ღერო, არამიდის ძაფების შეკვრა, ფოლადის მავთული, ალუმინის ღერო) და გარე (მეტალის მავთულის ერთი ან რამდენიმე სხვა);
- სპეციალური ელემენტები, მაგალითად, დენგამტარი ფენები მესამრიდ ტროსებში ამ უკანასკნელების სვედრითი წინაღობის შესამცირებლად;
- ტექნოლოგიური ელემენტები, როგორცაა ჰიდროფობული შემავესებლები, წყლის მახლოკირებელი ლენტები, სხვადასხვა ტექნოლოგიური საფენები და გარსები, რომლებიც ეწინააღმდეგება კაბელში სინესტის შეღწევას;
- კორდელის ტიპის ტექნოლოგიური ელემენტები (შემავესებლები), რომლებიც გამოიყენება ობტიკური მოდულების მაგიერ მაშინ, როცა საქიროთა შექტამტარების მცირე რაოდენობა, კაბელის კონსტრუქციის შენარჩუნება კი აუცილებელია;
- სპეციალურად ინტეგრირებული ელემენტები, როგორცაა სასამსახურო დანიშნულების სპილენძის ძარღვები, რომლებიც გამოიყენება ჰიბრიდულ კაბელებში;
- ფოლადის (უფრო ხშირად - ვოფირებული) ლენტები, აგრეთვე - მრგვალი უკანგავი ან მოთუთიებული მავთულები, რომლებიც გამოიყენება მექანიკური დაზიანებისა და მღრღნელებისაგან დამცავი ჯავშნის დასამზადებლად.

განვიხილოთ ბოქ ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტების აგების პრინციპები.

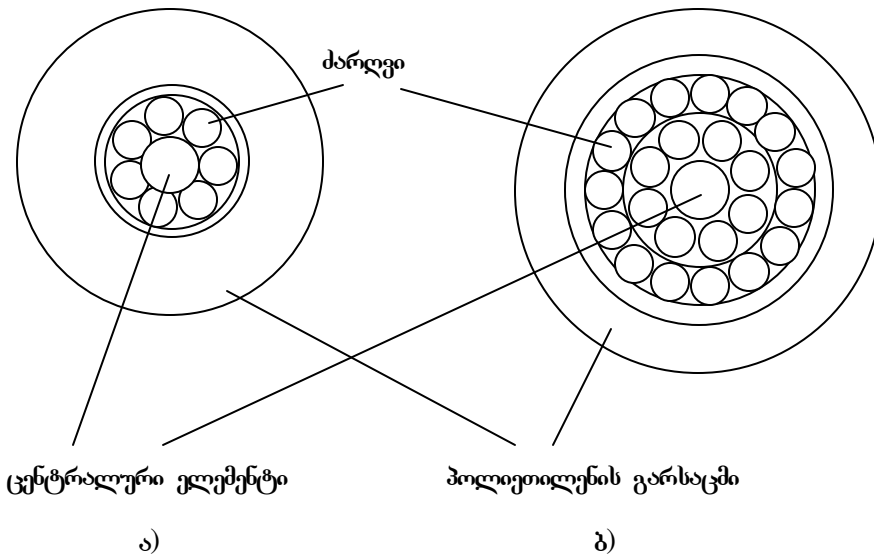
2.1.1. გულარა

ღრუ ვარსაცმიანი ერთ და მრავალშექტამტარიანი ძარღვების შემცველი ბოქ-ის მექანიკური სიმტკიცის გასაზრდელად ეს ძარღვები შეიგრიება კაბელის ძ ა ლ ო ვ ა ნ ი ანუ ც ე ნ ტ რ ა ლ უ რ ი ე ლ ე მ ე ნ ტ ი ს ვარსეში. მისი დანიშნულებაა დაიცვას კაბელი გაღუნვისა და გაჭიმვისაგან. ცენტრალური ელემენტის, ისევე როგორც კაბელის ზოგიერთი სხვა ელემენტის, სტრუქტურა დამოკიდებულია არა მარტო კაბელის კონსტრუქციულ თავისებურებებზე არამედ იმაზეც არის კაბელი მთლიანად დიელექტრიკული თუ არა. მაგალითად, მთლიანად დიელექტრიკული კაბელისათვის ცენტრალური ელემენტი მზადდება მალალი მდგრადობის პლასტიკური მინის ან არამიდის ძაფებისაგან, არამთლიანად დიელექტრიკული კაბელისთვის კი იგი შეიძლება დამზადდეს ფოლადისაგან.

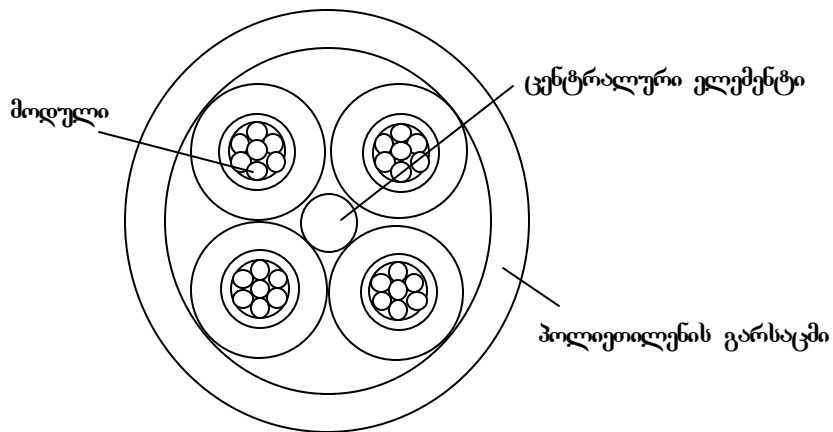
შექტამტარიანი ძარღვებთან ერთად შეიძლება შეგრენილ იქნას შ ე მ ა ვ ს ე ბ ლ ე ბ ი, ანუ უშექტამტარო ძარღვები ან პოლიეთილენის ელემენტები, აგრეთვე - სპილენძის ძარღვების წყვილები ან ოთხეულები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ შემავესებლები და სპილენძის ძარღვები შეიძლება შეიგრიოს არა მარტო ღრუ ვარსაცმიან, არამედ მთლიან ვარსაცმიან და კომპაქტურ ძარღვებთან ან ლენტურ კონსტრუქციებთან ერთად. ძალოვანი და შეგრენილი ელემენტების ერთობლიობას მათ სამაგრ ლენტთან ან გარსთან ერთად (თუ ეს უკანასკნელები არსებობს) ეწოდება კ ა ბ ე ლ ი ს გ უ ლ ა რ ა.

ბოქ-ში ძირითადად გამოიყენება ფ ე ნ ო ვ ა ნ ი გრენა, როდესაც შესაგრენი ელემენტები განლაგდება კონცენტრირებულად ცენტრალური ელემენტის გარშემო ერთ ან რამდენიმე ფენად. განასხვავებენ

ფენოვანი გრენის ორ ნაირსახეობას: ნ ა ხ ვ ე ვ ი ა ნ გრენას (ნახ.23) და ჯ გ უ ფ ე ბ ა დ გრენას (ნახ.24). 23-ეა ნახაზზე ნაჩვენებია ერთნახევრიანი, 23-ეა ნახაზზე კი - ორნახევრიანი ფენოვანი გრენის შემთხვევები. ჯგუფებად გრენისას კაბელის გულარა შეიცავს წინასწარ შეგრეხილი ელემენტებისაგან შედგენილ მოდულებს, ამიტომ ასეთ კაბელს მ ო დ უ ლ უ რ ი ეწოდება. მოდული წარმოადგენს პოლიმერის, ალუმინის ან უკანგავი ფოლადის მილს, რომლის შიგნითაც განლაგებულია შექცამტარების კონა.



ნახ.23



ნახ.24

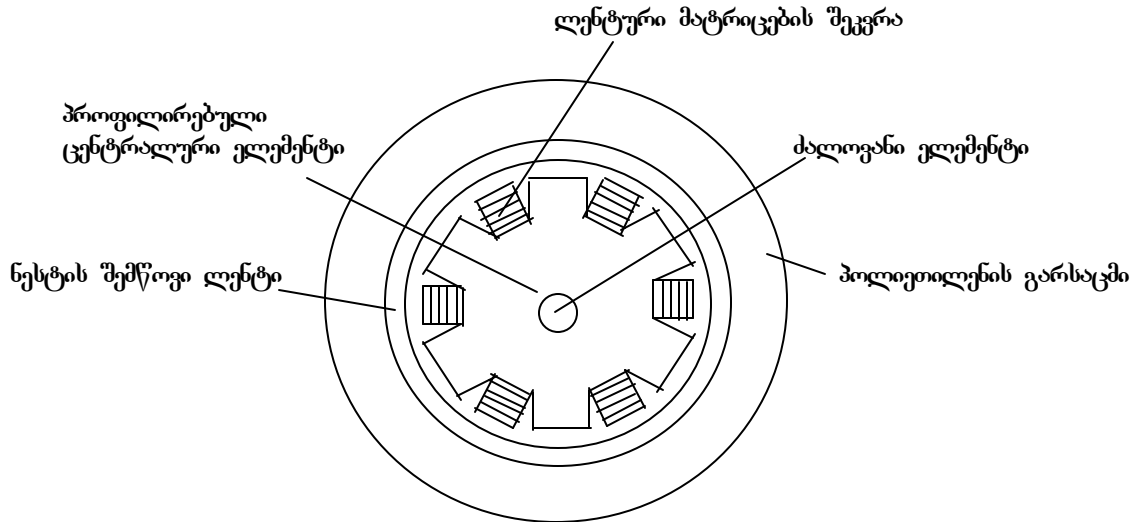
იგი შეიძლება განლაგებული იქნას ან თავისუფლად, ან შედარებით მჭიდროდ იქნას ჩადებული პლასტმასის დამატებით მილებში, რაც მოსახერხებელია სხვადასხვა ჯგუფების სელექციისათვის შექცამტარების ტიპების, დანიშნულების ან მომხმარებელთა ჯგუფების მიხედვით (ამ მიზნით შექცამტარი დაფარულია ფერადი გარსით).

24-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ე.წ. მრავალმოდულიანი კაბელი. მასში რამდენიმე მილი შეიგრისება ცენტრალური ელემენტის ან ცენტრალური ქარღვის გარშემო მოდულ-შემაგვსებლებთან ან სასამსახურო ქარღვებთან ერთად. გარდა ამისა, არსებობს ერთმოდულიანი კაბელები, რომლებშიც მილი განლაგებულია ცენტრში და შეიცავს თავისუფლად ჩადებულ ან ჯგუფებად შეკრულ შექცამტარებს.

კავშირგაბმულობის საერთაშორისო და საქალაქთაშორისო ხაზებზე ძირითადად გამოიყენება ნახევრიანი გრენის კაბელები მრავალშექცამტარიანი ღრუ გარსიანი ქარღვებით, ადგილობრივ ხაზებზე კი - გრენის ორივე ტიპის კაბელები.

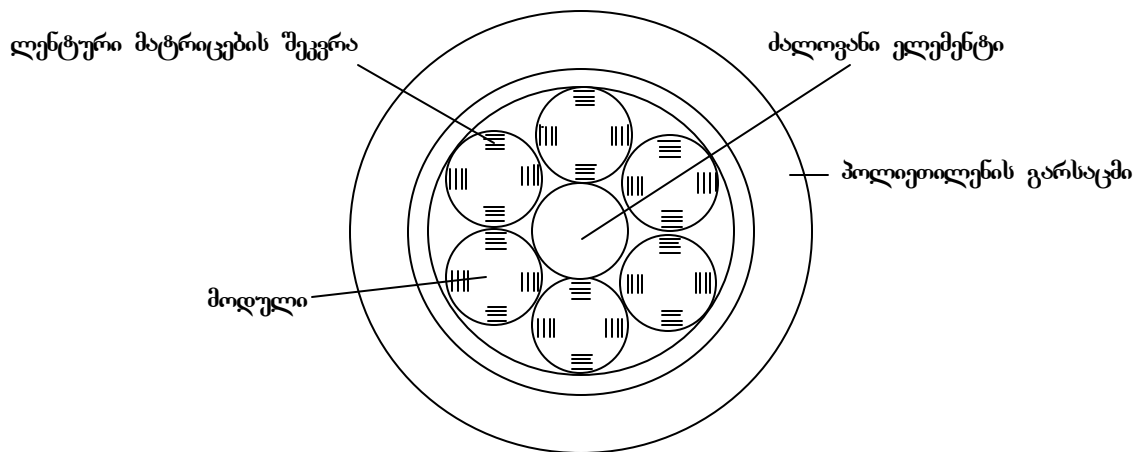
ერთნახევრიანი გრენის კაბელის ნაირსახეობას წარმოადგენს კაბელი მ რ ო ფ ი ლ ი რ ე ბ უ ლ ი ცენტრალური ელემენტით. მასში შექცამტარები იგრისება ფენებად არა ქარღვებში, არამედ გრძივ ღრმულებში, რომლებიც სპირალისებრად არის დატანილი ცენტრალური ელემენტის ზედაპირზე (ნახ.25). ამასთან ამ ღრმულებში შეიძლება როგორც ცალკეული შექცამტარების, ისე ლენტური კონსტრუქციის ჩადება.

ღრმულები შეიძლება შეივსოს შემავსებლით (კომპაუნდი), ან ნესტისაგან დაცული იქნას მთელ სიგრძეზე სპეციალური ლენტით ან ნართით.



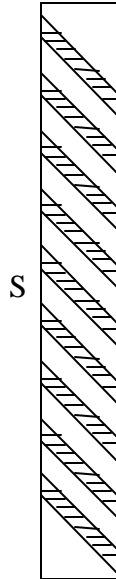
ნახ.25

კაბელში შექცამტარების რიცხვის გასაზრდელად საერთო გარსაცმში შეიძლება შეივსოს მოდულურ პრინციპზე აგებული მაპროფილბელი ცენტრალური ელემენტის მქონე რამდენიმე საკაბელო კონსტრუქცია (ნახ.26).

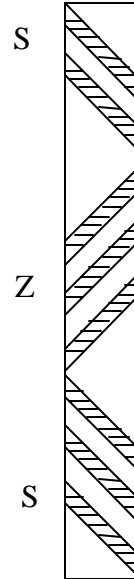


ნახ.26

არსებობს საკაბელო ელემენტების შეგროვების ორი ტიპი: S-ტიპი და SZ-ტიპი. S-ტიპის შეგროვებას ეწოდება სპირალური, რადგანაც ამ დროს ელემენტები შეივსება სპირალისებურად ერთი მიმართულებით და ერთნაირი კუთხით კაბელის გრძივი ღერძის მიმართ (ნახ.27). SZ-ტიპის შეგროვებისას ნახევრათა გარკვეული რიცხვის შემდეგ ივსლება გრძის მიმართულება, ამიტომ თავიდან შესაგრენი ელემენტები აღწერს ღერძის გასწვრივ S, მიმართულების შეცვლის შემდეგ კი - Z ასოს ფორმას. მიმართულების შეცვლის წერტილში ისინი განლაგებულია ღერძის პარალელურად (ნახ.28). SZ-ტიპის შეგროვებისას მიმართულების შეცვლის გამო იქმნება შეგროვების ფიქსირების საჭიროება, რისთვისაც მათ შემოდან ახვევენ წებოვან ლენტს. სპირალური გრძისას შესაგრენი ელემენტის მიერ შემოსაზღული სრავნისებრი მრუდის ერთსახელა წერტილებს შორის მანძილს ეწოდება შეგროვების ბიჯი. შექცამტარის საჭირო სიმტკიცისა და მიღების მანძილთაგან უზრუნველსაყოფად არ შეიძლება მისი ძალიან შეგროვება, სახელდობრ, სიმრუდის მინიმალური დასაშვები რადიუსი არ უნდა იყოს 65 მმ-ზე ნაკლები.



ნახ.27



ნახ.28

როგორც აღნიშნული იყო, ბმ კონსტრუქციის ერთერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილი - ცენტრალური ელემენტი - მზადდება ერთმანეთთან თერმომდგრადი ფისით დაკავშირებული მაღალი სიმტკიცის მინის ბოჭკოებისაგან ან ფოლადისგან. ამასთან თუ ელემენტის დიამეტრი საკმარისი არ არის კაბელის გულარისათვის, მაშინ მას სელოფნურად ზრდიან, რისთვისაც ელემენტზე ახვევენ, მაგალითად, პოლიეთილენის შემკვრელ ვარსს. კაბელის გაჭიმვაზე გამძლეობის უზრუნველსაყოფად აგრეთვე გამოიყენება ბოჭკოვანი მინა ან არამიდი.

გარე გაცხანობის კაბელებში წყალგაუმტარობის უზრუნველსაყოფად სივრცეს გულარას ძარღვებს შორის ავსებენ სპეციალური კომპაუნდით, შიგა გაცხანობის კაბელებში კი ასეთი საჭიროება არ არსებობს. შემდგომი ტექნოლოგიური ოპერაციების დროს გულარას ელემენტების დაზიანებისგან დასაცავად მათ ფარავენ თხელი პლასტმასის აპკით, რომელსაც შეიძლება გააჩნდეს ერთი ან რამდენიმე ფენა.

ბმ მწარმოებელი ფირმის იდენტიფიკაციისათვის კაბელის ვარსის დაფენის პროცესში გულარასა და ვარსს შორის ხდება ფირმის ამომცნობი ფერადი ძაფების დატანა. ვარდა ამისა, შემკვრელის სურვილისამებრ ზოგჯერ ამ ძაფებთან ერთად დებენ ქაღალდის ლენტს, რომელზეც აღნიშნულია კაბელის სიგრძე.

## 2.1.2. ვარსები

კაბელის ვარსის დანიშნულებაა გულარას დაცვა მექანიკური, თბური, ქიმიური ზემოქმედებისაგან და სინესტისაგან.

არსებული ვარსებიდან ყველაზე მეტი გამოიყენება ჰბოვა პლასტმასის ვარსებმა - პოლიეთილენის, პოლივინილქლორიდის, ფტორის შემცველი პლასტმასის და სხვ. უფრო ნაკლებად გამოიყენება მეტალის ვარსები (ტყვიის, ფოლადის), რომელთაც აქვს სერიოზული ნაკლი: კაბელის გაჭიმვის შემდეგ მათში რჩება ნარჩენი დეფორმაცია, რომელმაც დროთა ვითარებაში შეიძლება იმოქმედოს შექცამტარების მახასიათებლებზე.

თუ კომპაუნდის გულარის მქონე კაბელებში იყენებენ ვარსს, რომელიც არ შეიცავს მეტალს, მაშინ ვარსსა და კომპაუნდს შორის ათავსებენ პლასტმასის დამცავ ფენას, რათა კომპაუნდი გულარიდან არ მოხვდეს ვარსში.

პოლიეთილენის ვარსი ხასიათდება დაბალი დიელექტრიკული შეღწევადობითა და მცირე დანაკარგებით, ამასთან მისი დიელექტრიკული თვისებები მუდმივია ტემპერატურათა ფართო დიაპაზონში. იგი აკმაყოფილებს ყველა ტიპურ მექანიკურ და ქიმიურ მოთხოვნას და ძირითადად გამოიყენება გარე გაცხანობისათვის. კაბელის ვარსზე მაღალი მოსალოდნელი დატვირთვების შემთხვევაში ვარსის დასამზადებლად იყენებენ პოლიეთილენის ნაირსახეობებს - დაბალი ან საშუალო სიმკვრივის პოლიეთილენს. ზოგჯერ გამოიყენება მრავალფენოვანი ვარსი, რომლის ძირითად შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ორივე მხრიდან პოლიეთილენის ფენით დაფარული 0,2 მმ სისქის ალუმინის ლენტა.

პოლივინილქლორიდული ვარსი ძირითადად გამოიყენება შიგა გაცხანობის კაბელებში, თუმცა იმ შემთხვევაში, როცა გრუნტი შეიცავს აგრესიულ ნივთიერებებს, მისი გამოყენება მიზანშეწონილია გარე გაცხანობისთვისაც.

ფტორის შემცველი პლასტმასის გარსებს, მაგალითად, პერფტორეთილენ-პროპილენს, იყენებენ მაშინ, როცა კაბელის ჩადების ადგილზე მოსალოდნელია 100<sup>0</sup>-ზე მეტი ტემპერატურა. გარდა ამისა, ეს გარსები მდგრადია ატმოსფერული შემოქმედებისადმი.

ზოგჯერ აალებსადმი მდგრადობასთან ერთად გარსს წაყენება მოთხოვნა, რომ იგი არ უნდა შეიცავდეს ჰალოგენებს. ასეთ შემთხვევაში იყენებენ ეთილენისა და ვინილაცეტატის სობოლიმერის შემცველ გარსებს, რომლებიც შევსებულია ალუმინის ჰიდროტრიოქსიდით. 250<sup>0</sup>-ზე მეტი ტემპერატურის დროს ალუმინის ჰიდროტრიოქსიდთან წყალი გამოიყოფა, რაც ხელს უშლის აალებას. აღნიშნულ გარსებს გაჩნია თითქმის ისეთივე მექანიკური მახასიათებლები, როგორც პოლიეთილენის გარსებს.

გარე გაცხანისა და სპეციალურ კაბელებში გარდა წემოთ ნახსენები გარსებისა გამოიყენება დ ა მ ც ა ვ ი გ ა რ ს ი ა ნუ ს ა ფ ა რ ი, რომელიც იცავს კაბელის გარსზე დატანილ ჯავშანს კოროზიისა და გარე შემოქმედებისაგან. დამცავი საფარი დამზადებულია პოლიეთილენისგან და დაფენილია ბიტუმის ანტიკოროზიულ ნივთიერებაზე. თუ საჭიროა წეთის ან ნავთობისადმი მდგრადი დამცავი გარსების დამზადება, მაშინ პოლიეთილენის საფარს წემოდან აფენენ შესაბამისი სისქის პოლივინილქლორიდულ დამცავ საფარს, დანარჩენ შემთხვევებში კი გამოიყენება პოლიეთილენის შავი დამცავი საფარი.

### 2.1.3. ჯავშანი

როგორც წესი, ბმ ნიადაგში ან მიწებში ჩადებისას ძალოვანი ელემენტები სავსებით უზრუნველყოფს მის დაცვას ტიპური გრძივი დატვირთვებისგან. მაგრამ კაბელის ჩადებისას წყალქვეშ, შასტებში, მისი დაცვისათვის მღრღნელებისაგან, ან იმ შემთხვევებში, როცა მოსალოდნელია ძალზე დიდი მექანიკური დატვირთვები, გამოიყენება ჯ ა ვ შ ა ნ ი.

ჯავშანი ისეთი ელემენტებისაგან უნდა იყოს დამზადებული, რომლებიც უმნიშვნელოდ ზრდის კაბელის წონას და თითქმის არ ამცირებს მის მოქნილობას, ამასთან - ახასიათებს დიდი წინააღმდეგობა გრძივი გაჭიმვისა და შეკუმშვისადმი. ასეთი თვისებებით ხასიათდება არამიდის ბოჭკოები და ფოლადი.

არამიდის ბოჭკოები ძირითადად გამოიყენება კაბელის მექანიკური დატვირთვებისადმი სიმტკიცის გასაზრდელად. იგივე დანიშნულებით წყალქვეშა კაბელებში გამოიყენება ფოლადის მოთუთიებული მრგვალი მავთული ან უკანგავი ფოლადის მავთული, შეგროვილი ერთ ან რამდენიმე ფენად.

მღრღნელებისაგან დაცვის მიზნით გამოიყენება ვოფირებული კოროზიამდგრადი ფოლადის ლენტით არმირებული ფენოვანი გარსი, რომელზეც წემოდან დატანილია პოლიეთილენის გარსი ან ფოლადის ლენტური ტიპის ჯავშანი. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ უკანასკნელზე დაუშვებელია გაჭიმვის ძალების მოდება.

## 2.2. ბმ ტიპები

დღეისათვის არსებობს ბმ ტიპების დიდი რაოდენობა, რომლებიც განსხვავდება დანიშნულების, ჩადების პრობებისა და შემადგენელი ელემენტების კონსტრუქციის მიხედვით.

დანიშნულების-მიხედვით კაბელები იყოფა სამ კატეგორიად: გ ა რ ე გ ა ყ ვ ა ნ ი ლ ბ ი ს, შ ი გ ა გ ა ყ ვ ა ნ ი ლ ბ ი ს და ს ჰ ე ც ი ა ლ უ რ ი.

გარე გაცხანის კაბელები, რომლებიც გამოიყენება კავშირგაბმულობის ხაზებზე, ჩადების პრობების მიხედვით იყოფა მიწისქვეშა, საჰაერო და წყალქვეშა კაბელებად.

შიგა გაცხანის (შიგაობიექტური) კაბელები გამოიყენება სატელეფონო სადგურებში, ოფისებში და კლიენტების შენობებში. მათი ჩადების პრობების მიხედვით ისინი შეიძლება დაიყოს ვერტიკალური ჩადების კაბელებად, ჰორიზონტალური ჩადების კაბელებად და კომუტაციის ზონარებად. ეს კაბელები ძირითადად გამოიყენება ლოკალურ ბოჭკოვან ქსელებში.

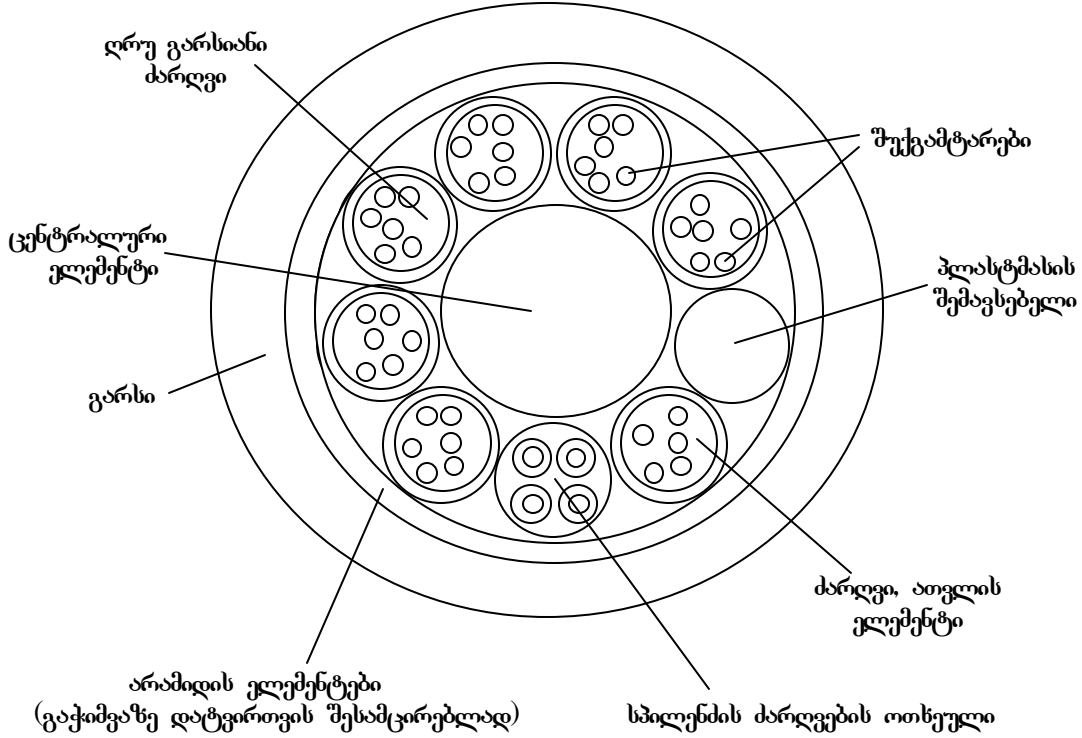
სპეციალურ კაბელებს მიეკუთვნება თხელი სპეციალური გარსის მქონე ერთბოჭკოიანი კაბელები, რომლებიც გამოიყენება სწავდასწავა სპეცმოწყობილობებისა და ხელსაწყოების შიდა კომუტაციის წრეებში, მრავალბოჭკოიანი ბრტყელი კაბელები, რომლებიც გამოიყენება სუპერკომპიუტერების შიდა შინებისა და კომპიუტერული ქსელების სახით და მრავალბოჭკოიანი მოცულობითი (მატრიცული) კაბელები, რომლებიც გამოიყენება ბრტყელი გრაფიკული ობიექტების პირდაპირი გადაცემისათვის (მაგალითად, ვიდეოგამოსახულებების გადასაცემად ისინი შეიცავს ათასობით ან ათიათასობით ბოჭკოს).

განვისილით აღნიშნული კაბელები უფრო დაწვრილებით.

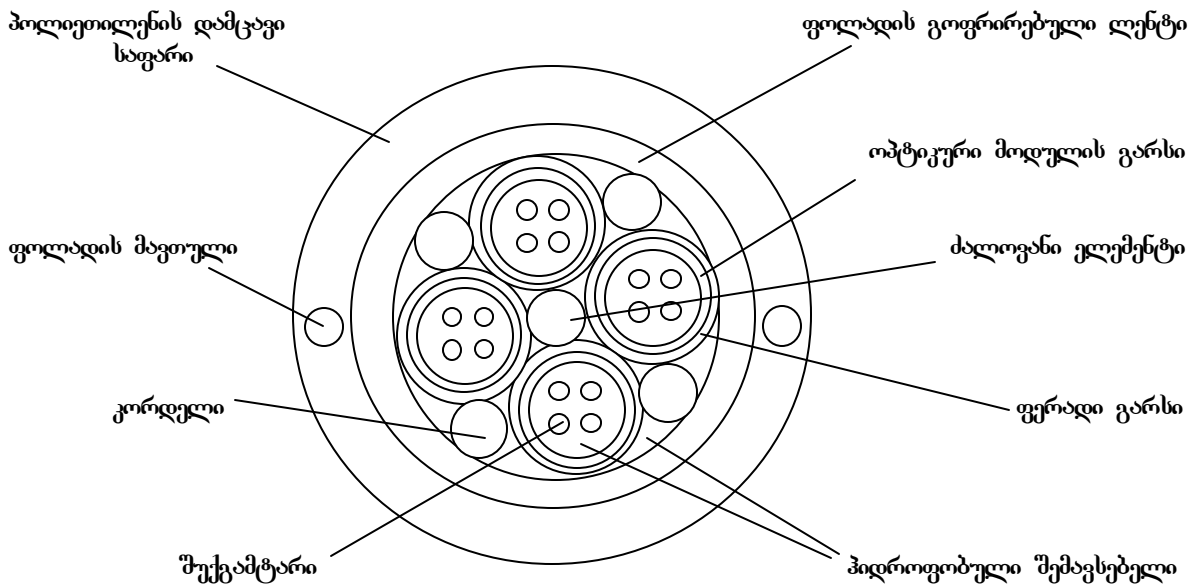
### 2.2.1. გარე გაცხანის კაბელები

გარე გაცხანის ბმ ასეთივე დანიშნულების მეტალის კაბელებთან შედარებით გააჩნია რიგი

უბირატესობები: მათი სამშენებლო სიგრძე გაცილებით აღემატება მეტალის კაბელების სამშენებლო სიგრძეს; ბმს ანასიათებს უფრო მცირე დიამეტრი და წონა, რაც კომპაქტურს ხდის საკაბელო ბარაბანს; მოლიანად დიელექტრიკული ბმს-ის დამზადების შესაძლებლობა მდგრადს ხდის მას გარე ელექტროული ხელშეშლების მიმართ; ბმს-ს გააჩნია გაცილებით მცირე მილევა, სახელობრო, ერთმოდინი შექცამტარების შემთხვევაში მილევა ტალღის სიგრძისგან დამოკიდებულებით იცვლება (0,2-0,5)დბ/კმ ფარგლებში, ვრადიენტული პროფილის შექცამტარების შემთხვევაში კი - (0,7-3,5) დბ/კმ ფარგლებში. ამის გამო ოპტიკურ ხაზებში სარეგენერაციო უბნის სიგრძე რამდენიმე ათეულ და ასეულ კილომეტრს აღწევს, რაც გაცილებით აღემატება იგივე პარამეტრს



ნახ.29



ნახ.30

მეტალის კაბელიანი საწებისათვის; ბმ-ს გააჩნია ფართო ვატარების ზოლი, სახელდობრ, მრავალმოდინი შექამტარებისათვის იგი შეადგენს 1,2 ვპც/კმ, ერთმოდინისათვის კი - 10 ვპც/კმ-ზე მეტს. ამის გამო ბმ-ს ფართო გამოყენებას პოულობს ფართოზოლოვან ინტეგრალურ ქსელებში.

### 2.2.1.1. მიწისქვეშა კაბელები

მიწისქვეშა კაბელები იყოფა საკაბელო კანალიზაციაში ან გვირაბებში ჩასადებ, გრუნტში ჩასადებ და სპეციალურ მიწებში ავტომატურად ჩასადებ კაბელებად.

აღნიშნულ კაბელებს, როგორც წესი, პოლიეთილენის გარსაში გააჩნია. შექამტარების საჭირო რაოდენობიდან გამომდინარე გამოიყენება ღრუ გარსიანი ერთშექამტარიანი ან მრავალშექამტარიანი (2-12 შექამტარი) ძარღვები. ამასთან ერთშექამტარიანი ძარღვები გამოიყენება, როცა შექამტარების რიცხვი კაბელში არ აღემატება 16-ს, მრავალშექამტარიანი კი - როცა ეს რიცხვი 16-ზე მეტია. როგორც ერთშექამტარიანი, ისე მრავალშექამტარიანი ძარღვები შეგრესილია ფენებად ცენტრალური ელემენტის გარშემო. შექამტარიანი ძარღვები და გულარა შეესებულა კომპაუნდით, რაც კაბელს ხდის მდგრადს სინესტის მიმართ. მოლიან გარსაციანი შექამტარების შემცველი კაბელები გარე გაცხიანობისათვის, როგორც წესი, არ გამოიყენება, რადგანაც მათ არ გააჩნია დიდი მდგრადობა გაჭიმვისა და შეკუმშვის მიმართ. ხშირ შემთხვევებში მიწისქვეშა მაგისტრალური კაბელები ჩაიდება პლასტმასის მიწებში, მაგრამ როცა ეს გარკვეული მიზეზების გამო არ ხდება, კაბელების მდგრადობისაგან დასაცავად იყენებენ გოფირებული ფოლადის ლენტისგან ან 0,1 მმ სისქის ფოლადის ლენტებისაგან დამზადებულ ჯაგშანს.

მიწისქვეშა საქალაქთაშორისო მრავალშექამტარიანი ბმ-ს ერთერთი შესაძლო კონსტრუქცია ნაჩვენებია 29-ე ნახაზზე. ასეთი კაბელების ერთმოდინი შექამტარების შემცველ ძარღვებში განლაგებულია 2-12 შექამტარი. ძარღვების თვლა იწყება მარჯობული ძარღვიდან და სწარმოებს თანმიმდევრობით, ამასთან თვლის პროცესში შემავსებლები (სპილენძის ძარღვები, უშექამტარო ღეროები) მსუდველობაში არ მიიღება.

მრავალშექამტარიანი გრადიენტული პროფილის მრავალმოდინი შექამტარების შემცველ ძარღვში განლაგებულია 12-მდე შექამტარი. ცენტრალური ელემენტის გარშემო შეგრესილია არანაკლებ 5 ძარღვისა, რომელთაგან ერთი შეიძლება წარმოადგენდეს სათადარიგოს ან უშექამტარო შემავსებელს. ამავე დროს ეს ძარღვი მარჯობული ელემენტისა, რომელსაც დანარჩენი ელემენტებისაგან განსხვავებული შეფერილობა აქვს. გარდა ამისა სასამსახურო კავშირის განსახორციელებლად ერთერთი ძარღვი შეიძლება შეიცვალოს პლასტმასის გარსიანი სპილენძის ერთი ოთხეულით. კაბელის სტანდარტული კონსტრუქციები შეიცავს 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 ან 120 შექამტარს, ამასთან თითოეულ ძარღვში განლაგებულია 10 შექამტარი.

30-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მიწისქვეშა შიგასაქალაქო მრავალშექამტარიანი ბმ-ს ერთერთი შესაძლო კონსტრუქცია. იგი განკუთვნილია საქალაქო საკაბელო კანალიზაციაში ჩასადებად. კაბელის დიამეტრია 13 მმ, შეიცავს 16 ერთმოდინ შექამტარს, სამშენებლო სიგრძე - 5000მ. ნორმალური ფუნქციონირების ვადაა 25 წელი.

### 2.2.1.2. საჰაერო კაბელები

საჰაერო კაბელებს მიეკუთვნება თვითგადამტანი კაბელები, რომლებსაც ჰკიდებენ სხვადასხვა ტიპის სამაგრებზე (ელექტროგადამტეში საწების, რკინიგზის საკონტაქტო ქსელის და სხვ.) ტროსით ან მის გარეშე, მიმაგრებადი კაბელები, რომლებიც მაგრდება გადამტან გამტარზე დიელექტრიკული ზონრების, ლენტის, სპეციალური დამჭერების ან მეტალის მავთულის სპირალისებრი ნაჭრების საშუალებით, ხევეადი კაბელები, რომლებიც იხვევა გადამტანი (ფაზის ან დამიწების) გამტარის გარშემო და მესამრიდ ტროსში ჩაშენებული კაბელები.

31-ე და 32-ე ნახაზებზე მოყვანილია საჰაერო ბმ-ს ორი ტიპი, შესაბამისად - კიდული და მესამრიდ ტროსში ჩაშენებული.

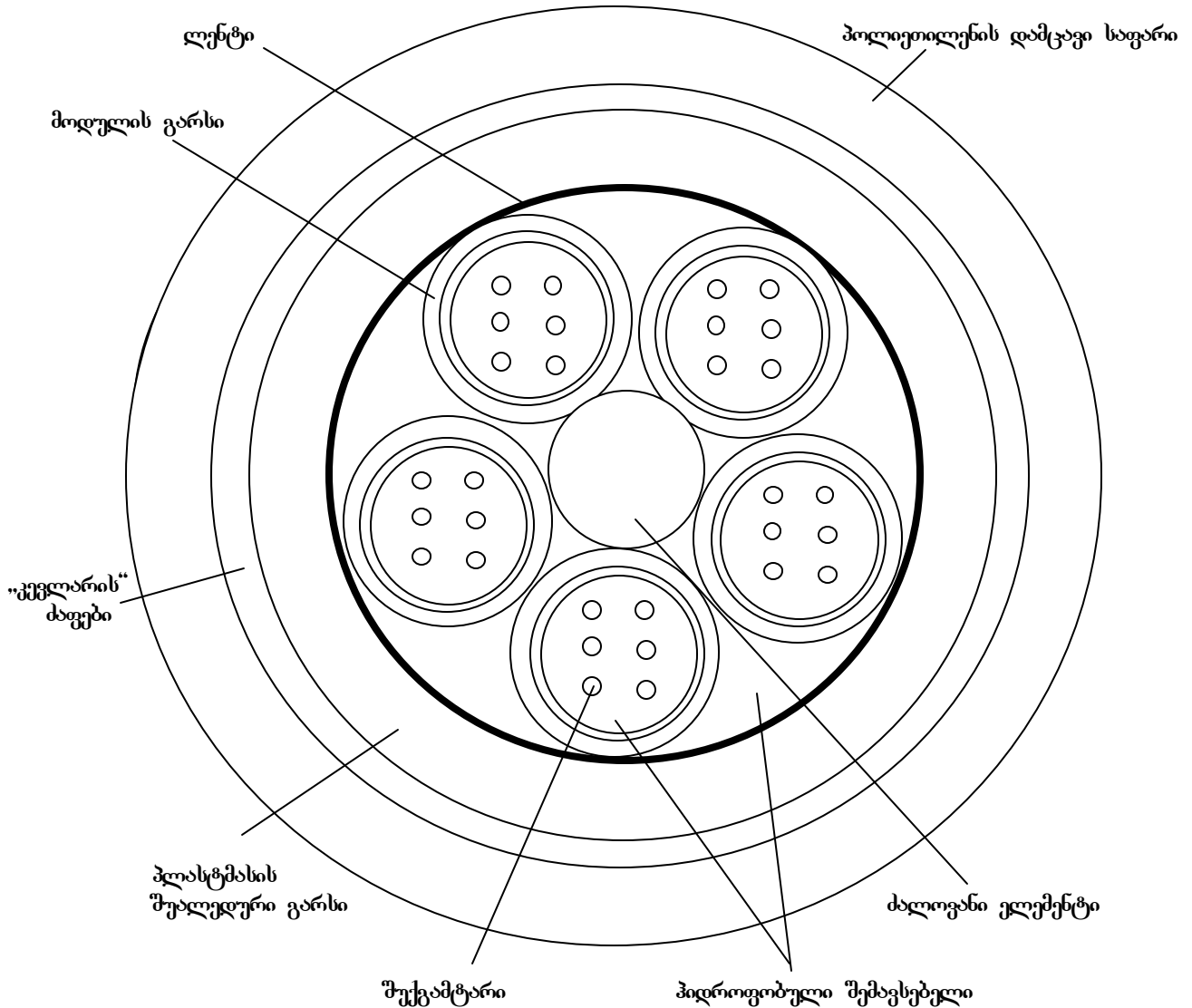
კიდული ოპტიკური კაბელი განკუთვნილია რკინიგზის ელექტროგადამტეში საწების სამაგრებზე, ქალაქის განათების ან სატელეფონო კავშირის ბოძებზე დასაკიდებლად. კაბელის დიამეტრია 14,5 მმ, იგი შეიცავს 30-მდე ერთმოდინ შექამტარს. კაბელის სამშენებლო სიგრძეა 4000მ, ნორმალური ფუნქციონირების ვადა - 25 წელი.

საჰაერო კაბელებიდან პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება მესამრიდ ტროსთან დაკავშირებული ბმ-ს, რომლებიც იყოფა ტროსში ჩაშენებულ, ტროსზე დახვეულ და ტროსზე მიმაგრებულ კაბელებად. ამ კაბელებიდან კი, მსოფლიო სტატისტიკის თანახმად 80-90% მოდის მესამრიდ ტროსში ჩაშენებულ კაბელებზე, რომლებიც ფართოდაა დახერგილი თანამედროვე SDH ქსელებში.

მესამრიდ ტროსში ჩაშენებულ ბმ-ს (OPT-GW - Optical Ground Wire) ძირითადად ორი ფუნქცია აკისრია: მაღალსიჩქარიანი ოპტიკური სიგნალების გადაცემა შორ მანძილებზე (ბმ) და მაღალვოლტაჟიანი ელექტროგადამტეში საწის მესამრიდის ან დამამიწებელი გამტარის ფუნქცია (ტროსი). იგი განლაგდება

ელექტროგადამცემი ხაზის გამტარების ზევით, 32-ე ნახაზზე მოყვანილია OPT-GW კაბელის კონსტრუქციის ერთერთი შესაძლო ვარიანტი.

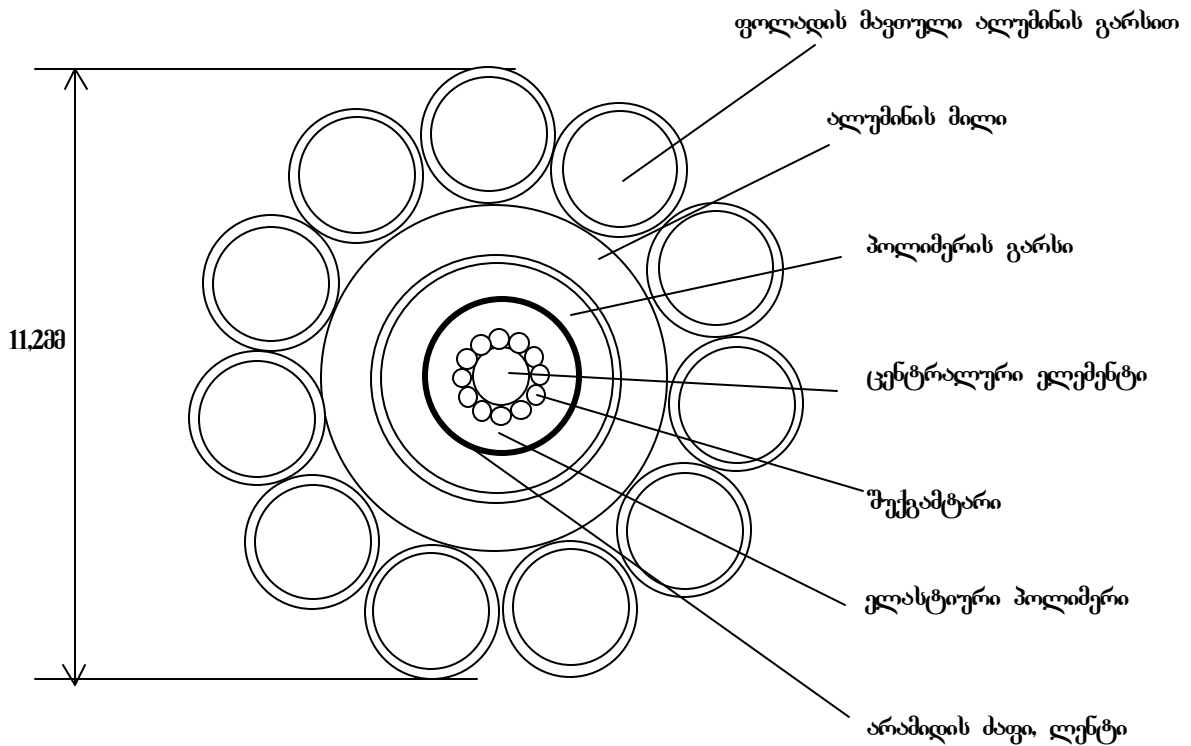
კაბელი შედგება რბილი პოლიმერის გარსში ჩასმული ცენტრალური ელემენტისგან, რომელზეც სპირალურად დასვეულია თორმეტი ერთმოდინი შუქგამტარი. ამას მოჰყვება ელასტიური პოლიმერის ფენა და დამცავი საფარი. ამგვარად მიიღება ოპტიკური მოდული. მოდულის დამცავი ფენის ზემოდან დასვეულია



ნახ.31

არამიდის ძაფი და თერმომდგრადი ლენტი, რომლებიც წარმოადგენს კაბელისათვის თბურ ბარიერს კონსტრუქციის მეტალის გარსაცმში (იხ. ქვემოთ) დენის მეფეთრი ნახტომებისას, რასაც თერმოიზოლაციის არარსებობის დროს შეიძლება მოჰყვეს ტემპერატურის გაზრდა კაბელში 100<sup>0</sup>-მდე, გარდა ამისა, ძაფი სხნის გაქიშვის დეფორმაციას და კრავს კაბელის ცალკეულ უბნებს მისი გადაბმის პროცესში. მოდულის ზემოდან დაფენილია პოლიმერის გარსი.

ალუმინის მილი, რომელშიც მოთავსებულია კაბელი, უზრუნველყოფს მისი საერთო ელექტრული გამტარობის მნიშვნელოვან ნაწილს. ამ გამტარობის დანარჩენი ნაწილი მოდის მილზე ზემოდან დასვეული ალუმინის გარსიანი ფოლადის II მავთულზე, რომლებიც გარდა ამისა უზრუნველყოფს კაბელის ძირითად მდგრადობას გაქიშვაზე.



ნახ.32

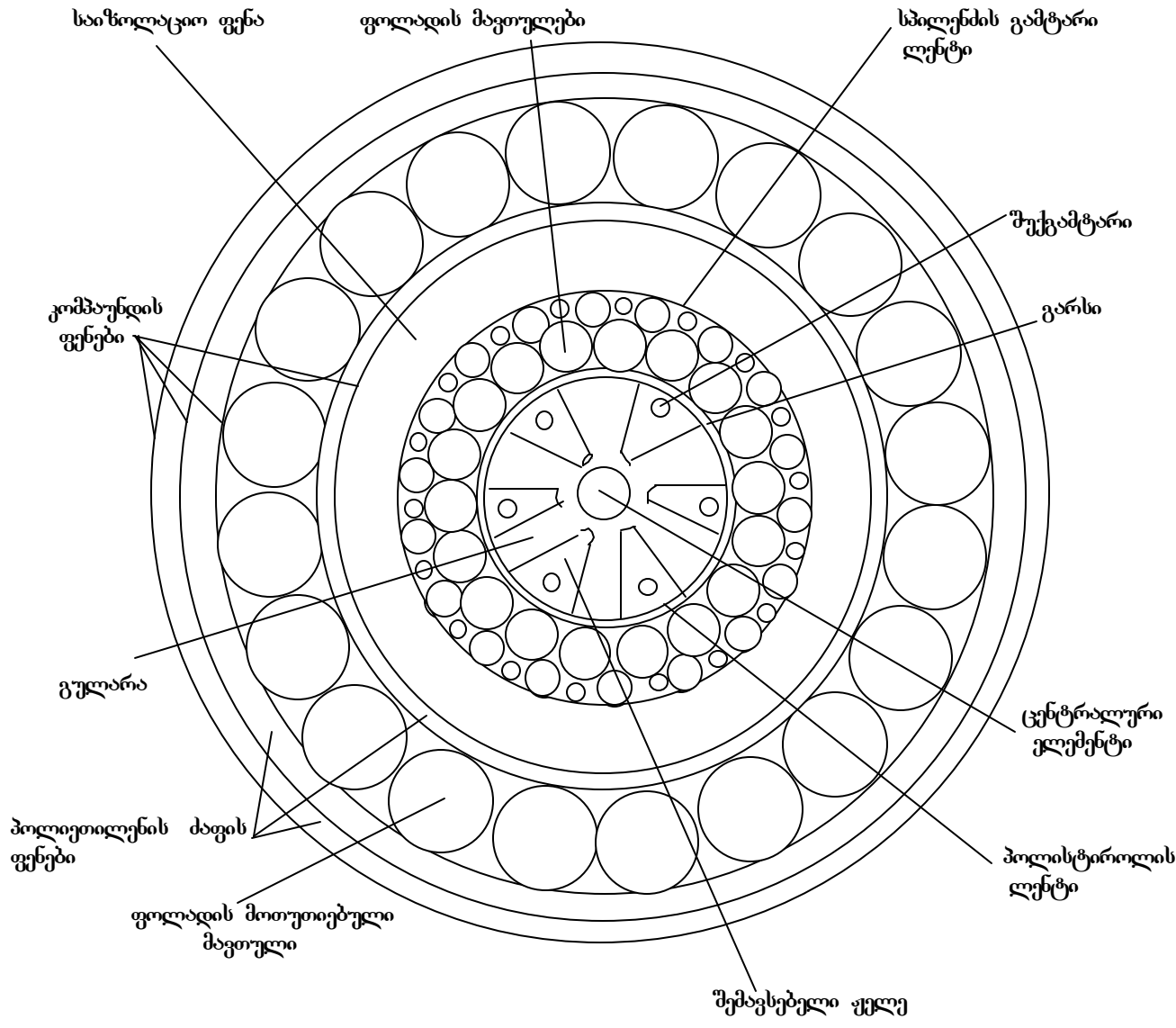
უნდა აღინიშნოს, რომ აღწერილი კონსტრუქციის ძირითადი კონცეფციების საფუძველზე შექმნილია OPT-GW კაბელები, რომლებშიც შუქამტარების რიცხვი რამდენიმე ასეულს აღწევს.

### 2.2.1.3. წყალქვეშა კაბელები

წყალქვეშა კაბელებს მიეკუთვნება არასანაოსნო მდინარეების, მცირე სიღრმის ტბებისა და ქაობების ფსკერზე ჩასადები კაბელები და ზღვებისა და ოკეანეების ფსკერზე ჩასადები კაბელები (რაც შეიძლება გულისხმობდეს არა მარტო კაბელის ჩადებას ფსკერზე, არამედ მათ დამაგრებას გარკვეულ სიღრმეზე ან ფსკერის გრუნტში ჩამარწყას).

დღეისათვის მსოფლიოს ზღვებსა და ოკეანეებში მრავლად არის გაყვანილი საკაბელო ტრასები, რომელთაგან უმრავლესობაში გამოიყენება ბმ. წყალქვეშა კაბელის ჩადება მიწისქვეშასთან შედარებით გაცილებით იაფი ჯდება, რადგან იგი არ მოითხოვს ძვირადღირებულ მიწის სამუშაოებს. ამიტომ არა მარტო საკონტინენტთაშორისო ტრასების, არამედ ზღვების და ოკეანეების სანაპიროებზე განლაგებულ დასასრულელ პუნქტებზე გამავალი ტრასების შერჩევასაც კი უპირატესობა ენიჭება მაგისტრალის წყალქვეშა ვარიანტს.

33-ე ნახაზზე მოყვანილია საზღვაო კაბელის ერთერთი შესაძლო კონსტრუქცია. მექანიკური ზემოქმედებისგან შუქამტარების დაცვის გარდა წყალქვეშა კაბელს მოეთხოვება დაცვა ზღვის წყლისა და გოგირდწყალბადის ზემოქმედებისგან. კაბელის მექანიკური კონსტრუქცია დამყარებულია პლასტიკურ პროფილირებულ გულარაზე, რომლის ღარებში დაჭიმვის გარეშე განლაგებულია შუქამტარები. გულარას გარედან ეკვრის გარსი, რომელიც შედგება ფოლადის მავთულების შრეებისა და მათზე მჭიდროდ შემოწმნილი სპილენძის ლენტისგან. ეს უკანასკნელი ეწინააღმდეგება წყალბადის შეღწევას გულარაში. გარდა ამისა, მასში გადის დაბალი სისძირის დენი, რომელიც გამოიყენება კაბელის შესაძლო დაზიანების ადგილის აღმოსაჩენად. სპილენძის ლენტა იზოლირებულია ზღვის წყლისაგან პოლიეთილენის ფენით. წყლისგან კიდევ უფრო დასაცავად ღრეოები კაბელის ელემენტებს შორის და პროფილირებული გულარას ღარები შევსებულია კომპაუნდით. წყლის სიღრმისა და ფსკერის პირობებისგან დამოკიდებულებით იყენებენ კაბელის სხვადასხვა ტიპის ჯაგშნს: შემსუბუქებულს, ჯაგშნის ერთი ფენით და ჯაგშნის ორი ფენით.



ნახ.33

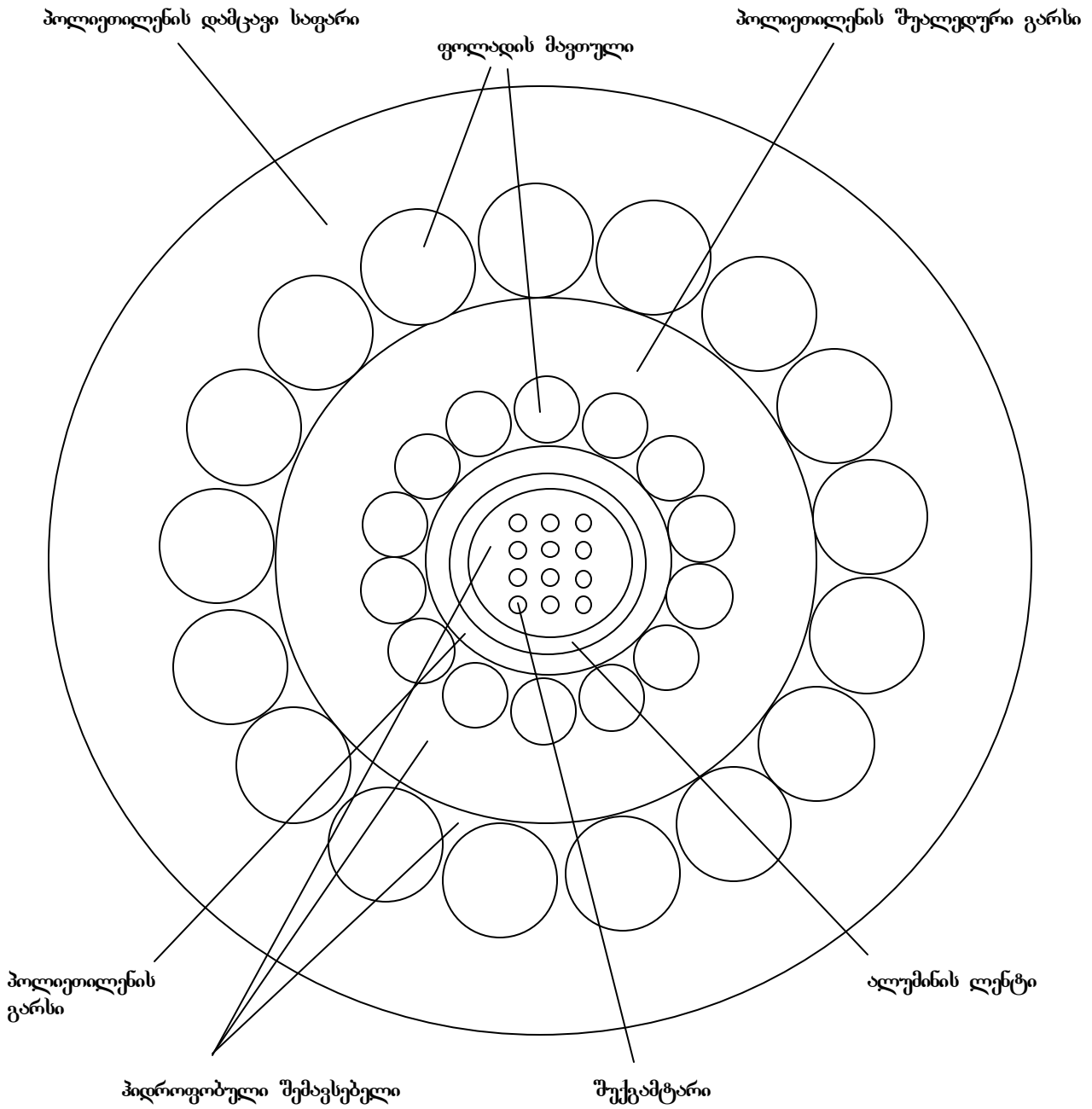
34-ე ნახაზზე მოყვანილია წყალქვეშა კაბელის კიდევ ერთი კონსტრუქცია, რომელიც გამოიყენება სანაოსნო და არასანაოსნო მდინარეების გადასაღლახად. კაბელი შეიცავს 12 ერთმოდინ შუქამტარს, გულარა დაფარულია ფოლადის მავთულებსგან დამზადებული ორმაგი ჯავშნით და პოლიეთილენის ორმაგი საფარით. კაბელის საშენებლო სიგრძეა 3000მ, ნორმალური ფუნქციონირების ვადა - 25 წელი.

2.2.2. შიგა გაყვანილობის კაბელები

პოლიეთილენის გარსიანი გარე გაყვანილობის კაბელების გამოყენება შიგა გაყვანილობისათვის დაუშვებელია მათი დაბალი ცეცხლგამძლეობის გამო, ამიტომ შენობაში შეყვანის შემდეგ მათი ბოლოები შემაერთებელ - გამშტოებელი ქუროს საშუალებით უერთდება შიგა გაყვანილობის კაბელს. კაბელების შეერთების ადგილებში მილევის გაზრდის თავიდან ასაცილებლად შიგა გაყვანილობის კაბელის ოპტიკური მანასიათებლები მაქსიმალურად ახლოს უნდა იყოს გარე გაყვანილობის კაბელის შესაბამის მანასიათებლებთან.

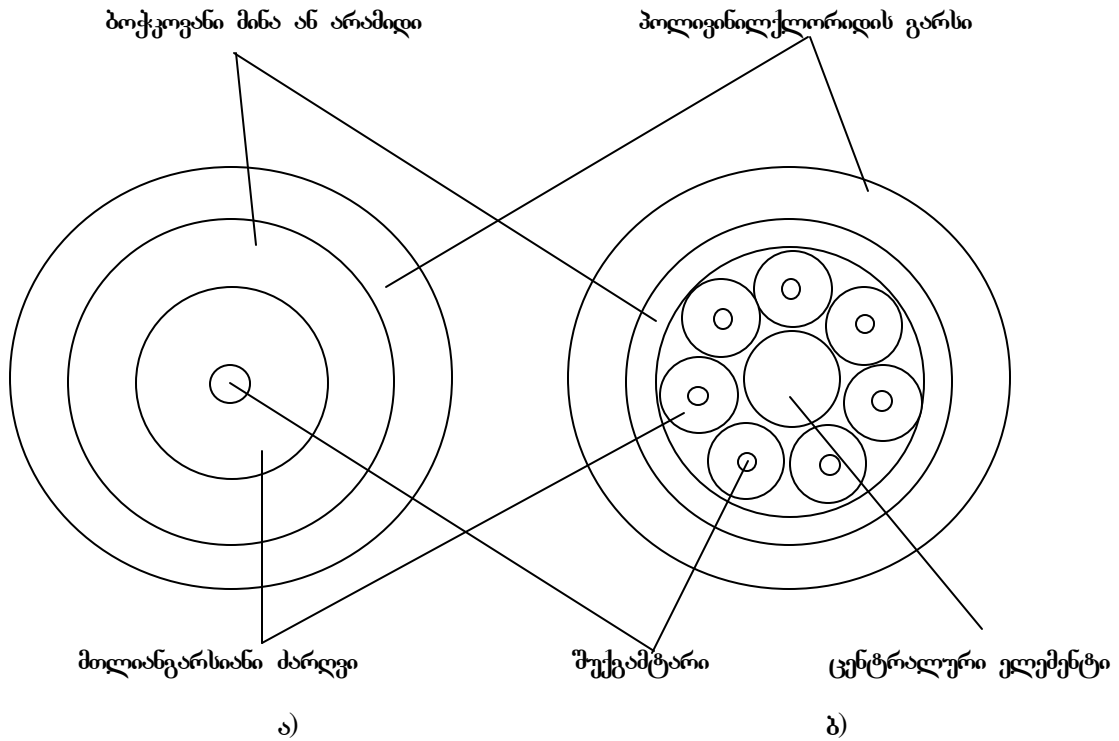
შიგა გაყვანილობის კაბელები შეიძლება შეიცავდეს ერთ ან რამდენიმე ერთშუქამტარიან მოლინგარსიან (ნახ.35, ა და ბ), ან ერთ ან რამდენიმე მრავალშუქამტარიან ღრუგარსიან (ნახ. 36, ა და ბ) ძარღვს. გამოიყენება როგორც ერთმოდინი, ისე მრავალმოდინი შუქამტარები. ყველა შემთხვევაში ძარღვებზე დატანილია ჯერ ბოქვოვანი მინის ან არამიდის ფენა, რომელიც სრლის კაბელის მდგრადობას ღუნვისა და

წარმოების მიზართ, შემდეგ კი - პოლიფინილქლორიდის გარსი. მრავალშუქამტარიანი ძარღვები შეიცავს 10-60 შუქამტარს, რომელთა რიცხვი შეიძლება შეცვლილ იქნას უშუქამტარო შემავსებლების გამოყენებით.

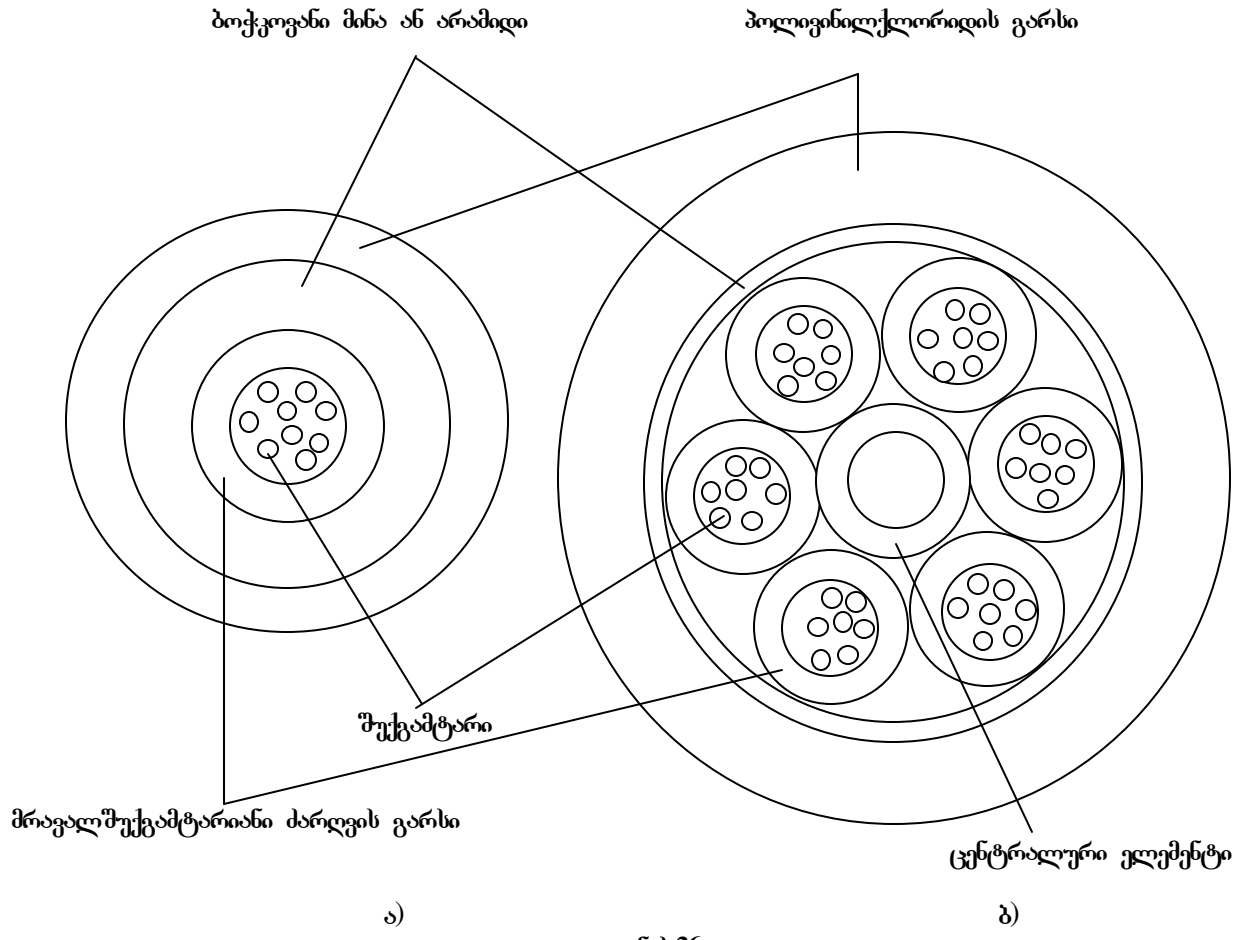


ნახ.34

შიგა გაყვანილობის კაბელებს მიეკუთვნება აგრეთვე მცირე დიამეტრის ერთშუქამტარიანი კაბელები, რომლებიც გამოიყენება გამანაწილებელი კაბელების სახით ქურობში ან საკაბელო გაყვანილობისათვის დგარებსა და გამანაწილებელ ფარებსზე.



ნახ.35



ნახ.36

### 2.2.3. სპეციალური კაბელები

ბმმ მკორე წონის, გაბარიტების და ელექტრული სელშეშლების მიმართ მდგრადობის გამო სპეციალური კაბელები დიდ გამოყენებას პოვებს მოწყობილობებში, რომელთაც განსაკუთრებული მოთხოვნები წაყენება. ასეთებს მიეკუთვნება, მაგალითად, მოწყობილობები, განლაგებული ენერგომომარაგების დაწესებულებებში, სადაც კავშირგაბმულობის მეტალის კაბელებზე დიდ შემოქმედებას ახდენს ძალოვანი კაბელები. ბმმ გამოიყენება მონაცემთა ელექტრონული დამუშავებისა და გამოთვლითი მანქანების მართვის სისტემებში, აგრეთვე თვითმფრინავთშენებლობასა და გემთშენებლობაში, სადაც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კაბელის წონას, მის მექანიკურ გამძლეობას, ვიბრაციისადმი მდგრადობასა და მაღალი ტემპერატურისადმი გამძლეობას. ბმმ-ის გამოყენებას სამხედრო სფეროში განაპირობებს ელექტრული მეთოდებით მისი აღმოჩენის შეუძლებლობა და ინფორმაციის კონფიდენციალობა. ბმმ დიდ გამოყენებას პოულობს მედიცინაშიც.

### 2.3. ბმმ მანსიათებლები

ობტიკური კაბელები ხასიათდება ორი მნიშვნელოვანი პარამეტრით:  $\mu$  ი ლ ე ვ ი თ ა და დ ი ს პ ე რ - ს ი ი თ, რომელთანაც განუყოფლად არის დაკავშირებული გ ა ტ ა რ ე ბ ი ს ზ ო ლ ა.

#### 2.3.1. მიღევა

ობტიკური კაბელების შექტამტარი ტრაქტის მიღევა  $\alpha$  განპირობებულია შექტამტარის ს ა კ უ თ ა - რ ი დანაკარგებით  $\alpha_{\eta}$  და დამატებითი, ე.წ. ს ა კ ა ბ ე ლ ო დანაკარგებით -  $\alpha_{\gamma}$ , რომელთა მიზეზს წარმოადგენს შექტამტარების შეგრება, აგრეთვე - მათი დეფორმირება და გაღუნვა კაბელის დამზადების პროცესში.

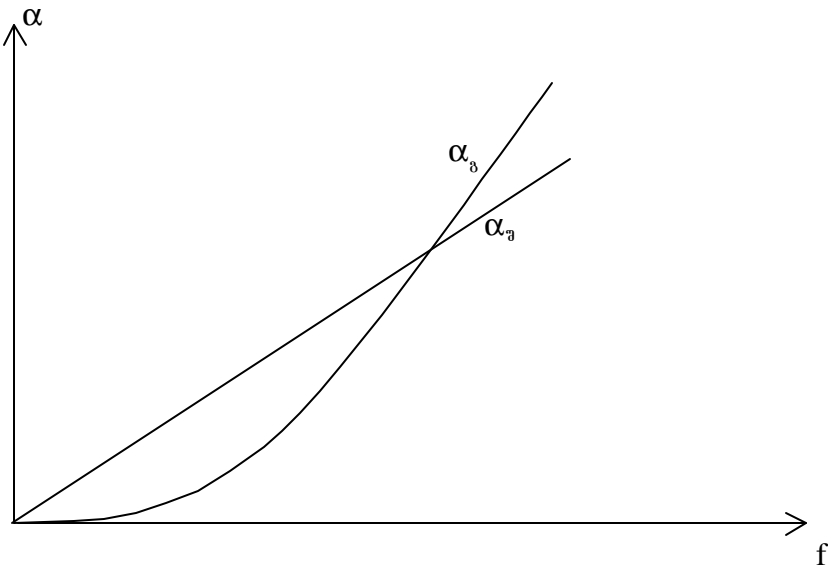
შექტამტარების საკუთარი დანაკარგები შედგება შ თ ა ნ თ ქ მ ი ს  $\alpha_{\eta}$  და გ ა ბ ნ ე ვ ი ს  $\alpha_{\gamma}$  დანაკარგებისაგან. ამგვარად, ვ ა მ უ რ ი მ ი ლ ე ვ ა შექდგენიარად განისაზღვრება:

$$\alpha = \alpha_{\eta} + \alpha_{\gamma} = \alpha_{\eta} + \alpha_{\gamma} + \alpha_{\gamma}$$

შთანთქმის დანაკარგები შედგება როგორც კვარცული მინის საკუთარი დანაკარგებისაგან (ულტრააისფერი და ინფრაწითელი შთანთქმა), ისე მასალაში გარეშე მინარეგების არსებობის გამო გამოწვეული დანაკარგებისაგან. მინარეგები შთანთქავენ სინათლის სიმძლავრის ნაწილს ტალლის გარკვეულ სიგრძეებზე, რომლებიც მოცემული მინარეგებისთვისაა დამანასიათებელი, და განაბნევენ შთანთქმულ ენერგიას ვსოულის სიბბოს ხანით. შთანთქმის მიღევის საანგარიშო ფორმულას აქვს ხანყ

$$\alpha_{\eta} = 8,69 (\pi n / \lambda) \text{ ტგმ,}$$

სადაც  $n$  არის მასალის გარდატენის მაჩვენებელი;  $\lambda$  - ტალლის სიგრძე, მ; ტგმ - დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი შექტამტარში. როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, შთანთქმის მიღევის დამოკიდებულებას სისშირისგან წრფივი ხასიათი აქვს.



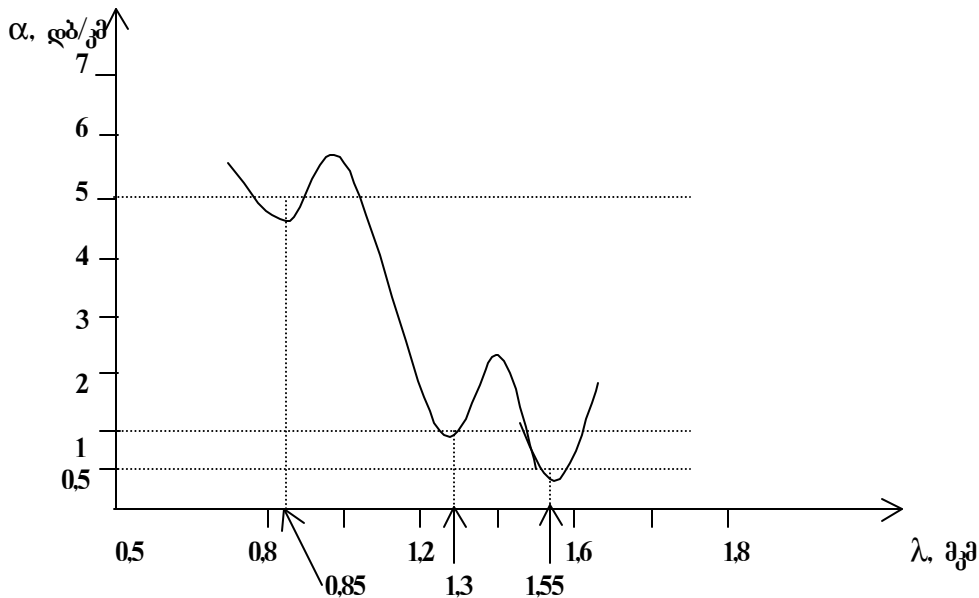
ჯერ კიდევ 1970 წელს დამზადებულ იქნა იმდენად სუფთა ბოქვოვანი მინა (99,9999%), რომ მინარეგების არსებობა აღარ ვახსენებდით მილევის გამოწვევი ფაქტორებიდან გადაამწყვეტი. მილევის შემდგომ შემცირებას ხელს უშლის სინათლის სხივის გაბნევა, რომელიც გამოწვეულია შუქამტარში მიკროსკოპული მასშტაბის არაერთგვაროვნებების არსებობით, ასეთ არაერთგვაროვნებებზე დაცემის შემდეგ სინათლე განიბნევა სხვადასხვა მიმართულებით, რის შედეგად მისი ენერჯის ნაწილი იკარგება გარსში. ასეთი სახის დანაკარგებს გაბნევის დანაკარგები ეწოდება. სინათლის გაბნევის პროცესი შეიძლება კარგი მიახლოებით აღიწეროს რე - ლეი-ს-გაბნევის კანონით, რომლის თანახმადც ტალღის  $\lambda$  სიგრძის ზრდასთან ერთად მილევა მცირდება  $\lambda^4$  კანონით:

$$\alpha_{\text{გ}} = k_{\text{გ}} / \lambda^4,$$

სადაც  $k_{\text{გ}}$  არის გაბნევის კოეფიციენტი (კვარცისათვის იგი ტოლია 0,8 მკმ<sup>4</sup> დბ/კმ).

37-ე ნახაზზე მოყვანილია შთანთქმის და გაბნევის დანაკარგების დამოკიდებულება სინათლის სიგრძეზე. როგორც ამ გრაფიკებიდან ჩანს, შედარებით დაბალ სინათლეებზე მილევა შთანთქმის გამო მეტია, შემდეგ კი - საგრძობლად იზრდება მილევა, გამოწვეული გაბნევით.

გაბნევის დანაკარგების შედარება 0,85 მკმ, 1,3 მკმ და 1,55 მკმ ტალღის სიგრძეებზე გვიჩვენებს, რომ 1,3 მკმ სიგრძის ტალღებისათვის ისინი 18%-ით, ხოლო 1,55 მკმ სიგრძის ტალღებისათვის 9%-ით ნაკლებია 0,85 მკმ სიგრძის ტალღებზე დანაკარგებთან შედარებით. 38-ე ნახაზზე ნაჩვენებია გარეშე მინარეგებისაგან გასუფთავებული კვარცის მინისგან დამზადებული შუქამტარის მილევის დამოკიდებულება ტალღის სიგრძისგან. გრაფიკზე მკაფიოდ ჩანს ე.წ. გამჭვირვალობის სამი ფანჯარა ზემოთ მოყვანილი სამი ტალღის სიგრძისათვის.



ნახ.38

როგორც აღნიშნული იყო, საკაბელო დანაკარგები განპირობებულია შუქამტარების დეფორმირებით, რომელიც გამოწვეულია მათი შეგრესით, ლუწვით, აგრეთვე თერმომექანიკური ზემოქმედებით შუქამტარებზე მათზე გარსებისა და საფარების დატანის პროცესში. კაბელის ჩადებისას ტექნიკური მოთხოვნების დაცვით აღნიშნული დამატებითი დანაკარგები შეადგენს მთლიანი დანაკარგების არა უმეტეს 20% -ს. ისინი შეიძლება გაიზარდოს, თუ კაბელის მოხრის რადიუსი დასაშვებზე ნაკლები ხდება.

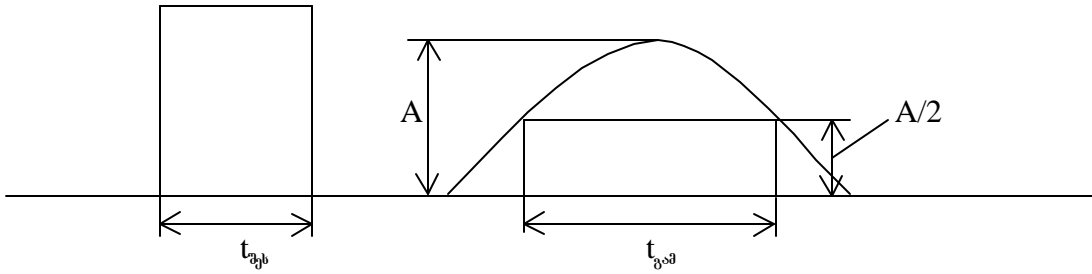
### 2.3.2. დისპერსია

შუქამტარით გადაცემა არა უბრალოდ სინათლის ენერჯია, არამედ მისი სპეციალური - სანიფორმაციო სიგნალი. სინათლის იმპულსები, რომელთა მიმდევრობა განსაზღვრავს სანიფორმაციო ნაკადს, გაფრცხვლების პროცესში ფართოვდება, რასაც დისპერსია ეწოდება (ნახ.39). დისპერსიის შედეგად შეიძლება მოხდეს იმპულსების შედგება, ეს კი შეუძლებელს ხდის მათ გამოყოფას მიმღებში.

დისპერსიას აქვს დროის განზომილება და განისაზღვრება, როგორც  $L$  სიგრძის კაბელის გამოსასვლელი და შესასვლელი იმპულსების სანგრძლიობების -  $t_{\text{გა}}$  და  $t_{\text{შე}}$  - კვადრატების სხვაობა:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{\text{გამ}}^2 - t_{\text{გებ}}^2}$$

როგორც წესი, დისპერსია ნორმირდება  $L_{\text{კმ}}^{-1}$ -ზე გაანგარიშებით და იზომება პწმ/კმ-ში.



ნახ.39

ზოგად შემთხვევაში დისპერსია წასიათდება სამი ძირითადი ფაქტორით: გავრცელებული მოდების სიჩქარეთა განსხვავებით ( მ ო დ ა თ ა შ ო რ ი ს ი დ ი ს პ ე რ ს ი ა -  $\tau_{\text{მოღ}}$ ), შუქგამტარის სტრუქტურის მიმართებული თვისებებით (ტ ა ლ დ გ ა მ ტ ა რ უ ლ ი დ ი ს პ ე რ ს ი ა -  $\tau_{\text{ტ}}$ ) და ოპტიკური ბოჭკოს მასალის თვისებებით ( მ ა ს ა ლ ი ს დ ი ს პ ე რ ს ი ა -  $\tau_{\text{მას}}$ ). ბოლო ორი ფაქტორი ერთად შეადგენს ქ რ ო მ ა ტ უ ლ დისპერსიას -  $\tau_{\text{ქ}}$ , ამგვარად, ჯამური დისპერსია ტოლია:

$$\tau^2 = \tau_{\text{მოღ}}^2 + \tau_{\text{ქ}}^2 = \tau_{\text{მოღ}}^2 + (\tau_{\text{ტ}} + \tau_{\text{მას}})^2$$

მოდათაშორის დისპერსიას ადგილი აქვს მხოლოდ მრავალმოდური შუქგამტარში. მისი ფიზიკური არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ყოველი მოდის შესაბამისი სხივი შუქგამტარში შედის თავისი კუთხით, ამიტომ ისინი გაივლის სხვადასხვა მანძილს გულარაში, და, აქედან გამომდინარე, კაბელის გამოსასვლელზე ჩნდება დროში სხვადასხვა დაყოფებით. ეს კი იწვევს იმპულსის გაფართოებას მოდების შეჯამების შემდეგ. მოდათაშორისი დისპერსიის სიდიდე განისაზღვრება, როგორც კაბელის დასაწყისიდან  $L$  მანძილით დაშორებულ მის კვეთამდე ყველაზე დიდი და ყველაზე მცირე დროით დაყოფებული მოდების მოსვლის მომენტებს შორის სხვაობა. საფეხურიოვანი და გრადიენტული პარაბოლური პროფილის შუქგამტარებისათვის იგი შესაბამისად ტოლია:

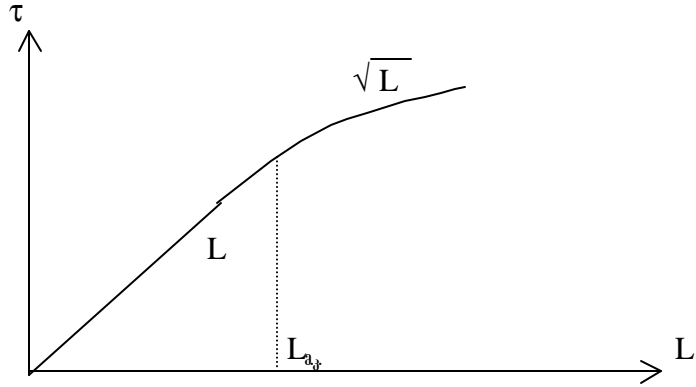
$$\begin{aligned} \tau_{\text{მოღ, საფ}} &= \Delta n_1 L / c_0, & \text{როცა } L < L_{\text{აკ}}; \\ \tau_{\text{მოღ, საფ}} &= (\Delta n_1 / c_0) \sqrt{L \cdot L_{\text{აკ}}}, & \text{როცა } L > L_{\text{აკ}} \end{aligned}$$

და

$$\begin{aligned} \tau_{\text{მოღ, გრად}} &= \Delta^2 n_1 L / 2c_0, & \text{როცა } L < L_{\text{აკ}}; \\ \tau_{\text{მოღ, გრად}} &= (\Delta^2 n_1 / 2c_0) \sqrt{L \cdot L_{\text{აკ}}}, & \text{როცა } L > L_{\text{აკ}} \end{aligned}$$

აქ  $L_{\text{აკ}}$  არის მოდათაშორისი კავშირის სიგრძე, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს: როცა  $L < L_{\text{აკ}}$ , მოდები ერთმანეთზე არ მოქმედებს,  $L > L_{\text{აკ}}$  კი თავს იჩენს მოდათა ურთიერთგავლენა, რაც გამოწვეულია ოპტიკურ ბოჭკოში არაერთგვაროვნებების არსებობით. მოდათა ურთიერთგავლენა იწვევს ენერგიის გადანაწილებას მათ შიგნით, რის შედეგადაც მიიღება დამყარებული რეჟიმი, როცა გამოსხივებაში მონაწილეობს ყველა მოდა გარკვეული პროპორციებით. ყოველივე ზემოთქმულის გამო  $L < L_{\text{აკ}}$  დროს დისპერსია იზრდება წრფივად,  $L > L_{\text{აკ}}$  დროს კი - კვადრატული კანონით (ნახ.40). საფეხურიოვანი შუქგამტარებისათვის  $L_{\text{აკ}}$  5კმ რიგისაა, გრადიენტულისათვის კი - 10კმ რიგის.

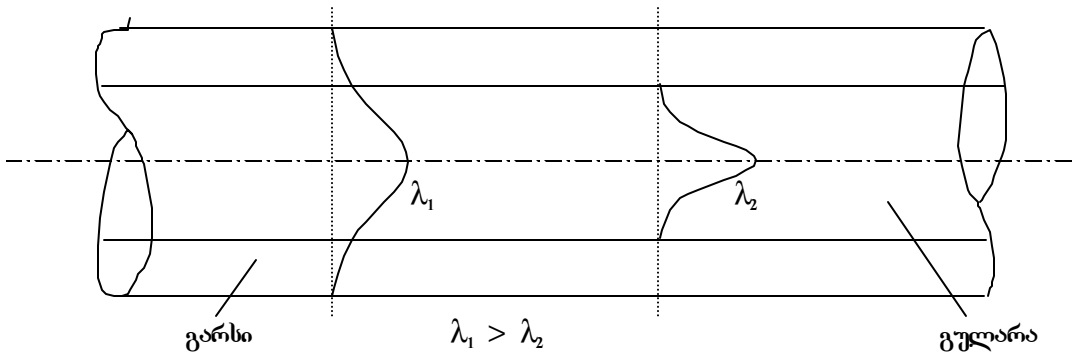
მოდათაშორისი დისპერსიისგან განსხვავებით ქრომატულ დისპერსიას, რომელიც, როგორც აღნიშნული იყო, წარმოადგენს მასალისა და ტალღგამტარული დისპერსიების ჯამს, ადგილი აქვს ყველა ტიპის შუქგამტარში, მაგრამ ის უფრო მკვეთრადაა გამოხატული ერთმოდური შუქგამტარებში, რადგან მათში მოდათაშორისი დისპერსია არ არსებობს. ქვემოთ განხილულია ქრომატული დისპერსიის ტიპები სწორედ ერთმოდური შუქგამტარებისათვის.



ნახ.40

მასალის დისპერსია განპირობებულია ბოქკოს გარდატეხის მაჩვენებლის ტალღის სიგრძისგან დამოკიდებულებით. იგი შეიძლება შეცვლილ იქნას ბოქკოვანი მინის ლევირების საშუალებით, მაგრამ უმნიშვნელოდ.

ტალღეამტარული დისპერსია განპირობებულია მოდის გავრცელების კოეფიციენტის დამოკიდებულებით ტალღის სიგრძისგან. სინათლის ნებისმიერი კოჰერენტული წყარო ასნივებს არა მკაცრად განსაზღვრული  $\lambda$  ტალღის სიგრძის სინათლეს, არამედ რაღაც  $\Delta\lambda$  სიგანის სისწორულ ზოლს, რომელიც განლაგებულია აღნიშნული ტალღის სიგრძის გარშემო. ცნობილია, რომ რაც მეტია ტალღის სიგრძე, მით უფრო ფართოდ შეიქრება შექტამტარში გადაცემული მოდა გულარიდან გარსში (ნახ.41), და, მაშასადამე ამ უკანასკნელში ვრცელდება სინათლის მით უფრო დიდი ნაწილი. რადგან გარსის გარდატეხის მაჩვენებელი მცირეა გულარის გარდატეხის მაჩვენებელზე, ამიტომ სინათლის ეს ნაწილი ვრცელდება უფრო სწრაფად, და მთლიანობაში მოდის გავრცელების სიჩქარე, რომელიც წარმოადგენს გულარისა და გარსში განაწილებული სინათლის ნაკადების გავრცელების სიჩქარეთა საშუალო მნიშვნელობას, იზრდება. აქედან გამომდინარე,  $\Delta\lambda$  დიაპაზონის შედარებით ვრცელი ტალღების გავრცელების საშუალო სიჩქარე მეტია შედარებით მოკლე ტალღების შესაბამის სიჩქარეზე. ამის გამო წარმოიქმნება განსხვავება ტალღების დროით დაყოფებებში, რაც წარმოადგენს ტალღეამტარული დისპერსიის მიზეზს.



ნახ.41

ერთმოდინანი შექტამტარისათვის მასალისა და ტალღეამტარული დისპერსიები შესაბამისად გამოისახება ფორმულებით:

$$\tau_{\text{გა}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot (\lambda/c) \cdot (d^2 n_1 / d\lambda^2) = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda).$$

$$\tau_{\text{ფ}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot 2n_1 \Delta / c \lambda = \Delta\lambda \cdot L \cdot N(\lambda).$$

ამ გამოსახულებებში შემოტანილი კოეფიციენტები -  $M(\lambda)$  და  $N(\lambda)$  შესაბამისად წარმოადგენს მასალისა და ტალღეამტარულ სვედრით დისპერსიებს,  $L$  - კაბელის სიგრძეს, სვედრითი ქრომატული დისპერსიის კოეფიციენტის ჯამური მნიშვნელობაა

$$D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda).$$

კოეფიციენტი  $N(\lambda)$  ყოველთვის დადებითი სიდიდეა,  $M(\lambda)$  კი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი.  $\lambda \approx 1.3$  მკმ-ს დროს ერთმოდინ შუქამტარში ეს ორი კოეფიციენტი ერთმანეთს აკომპენსირებს, ამიტომ ჯამური დისპერსია ტოლია ნულის. ტალღის სიგრძეს, რომელზედაც ამ მოვლენას აქვს ადგილი, ეწოდება ნ უ ლ ო ვ ა ნ ი დ ი ს პ ე რ ს ი ი ს ტ ა ლ დ ი ს ს ი გ რ ძ ე -  $\lambda_0$ . მოცემული კონკრეტული შუქამტარისათვის იგი შეიძლება იცვლებოდეს ტალღის სიგრძეთა რაღაც დიაპაზონში. ქრომატული დისპერსია დაკავშირებულია სგედრით ქრომატულ დისპერსიასთან მარტივი გამოსახულებით:

$$\tau_p(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda.$$

როგორც ამ გამოსახულებიდან ჩანს, ქრომატული დისპერსიის შემცირება შეიძლება მაღალი კოპერენტულობის სინათლის წყაროს გამოყენებით, როგორცაა, მაგალითად, ლაზერი ( $\Delta\lambda \approx 2$  ნმ), ან  $\lambda_0$ -თან მიახლოებული საშუაო ტალღის გამოყენებით.

სწავლასწავა შუქამტარების დისპერსიული მახასიათებლების შედარება გვიჩვენებს, რომ ამ მხრივ საუკეთესოს წარმოადგენს ერთმოდინი შუქამტარები, შემდეგ მოდის პარაბოლური პროფილის გრადიენტული შუქამტარები, ყველაზე ცუდი მახასიათებლები კი გააჩნია საფეხუროვანი პროფილის მრავალმოდინი შუქამტარებს.

### 2.3.3. ბმვ გატარების ზოლი და კავშირის სიშორე

შუქამტარით გადაცემული იმპულსების გაფართოება, რასაც იწვევს დისპერსია, სისშირული თვალსაზრისით ნიშნავს, რომ შუქამტარი ასრულებს დაბალი სისშირის ფილტრის ფუნქციას. მოცემული  $f$  სისშირისათვის შუქამტარის გამოსასვლელზე სინათლის სიმძლავრის  $P_2(f)$  ამპლიტუდის ფარდობას  $P_1(f)$  ამპლიტუდასთან შესასვლელზე ეწოდება ფ ი ლ ტ რ ი ს გ ა დ ა ც ე მ ი ს ფ უ ნ ქ ც ი ა :

$$G(f) = P_2(f) / P_1(f)$$

როგორც წესი, პრაქტიკაში უფრო სწორად იყენებენ გ ა დ ა ც ე მ ი ს ნ ო რ მ ი რ ე ბ უ ლ ფ უ ნ ქ ც ი ა ს -  $G_{\text{ნორ}}(f)$ , რომელიც მიიღება  $G(f)$  ფუნქციის გაყოფით  $G(0)$  ფუნქციაზე. სადაც ეს უკანასკნელი წარმოადგენს  $G(f)$  ფუნქციის მნიშვნელობას  $f=0$  სისშირეზე:

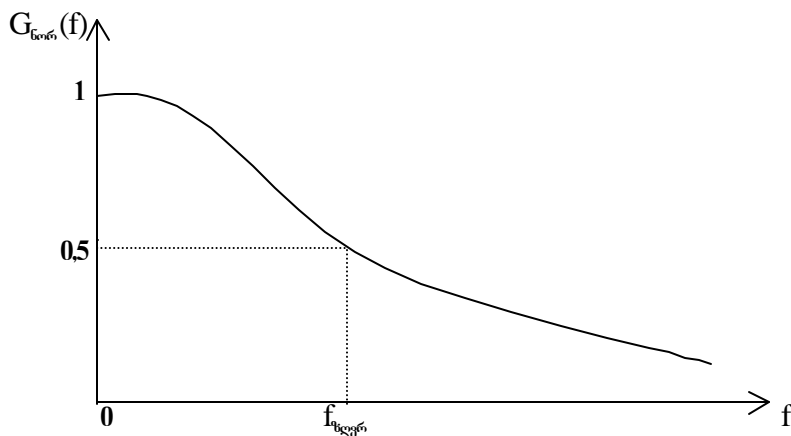
$$G_{\text{ნორ}}(f) = G(f) / G(0).$$

ამ ფუნქციის ტიპიურ მრუდს აქვს 42-ე ნახაზზე ნაჩვენები სახე.  $f_{\text{ზღვრ}}(f)$  სისშირეს, რომლის დროსაც სიდიდე  $G_{\text{ნორ}}(f = f_{\text{ზღვრ}}) = 0,5$ , ეწოდება ფილტრის ზედა ზ დ ვ რ უ ლ ი სისშირე, ხოლო სისშირულ ზოლს

$$\Delta F = (0 - f_{\text{ზღვრ}})$$

- ფილტრის გ ა ტ ა რ ე ბ ი ს ზ ო ლ ი.

შუქამტარის გატარების ზოლი  $\Delta F$  ან პრაქტიკაში გამოყენებული სიდიდე - გატარების ზოლის შუქამტარის  $L$  სიგრძეზე ნამრავლი -  $q = \Delta F \cdot L$  - მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მრავალმოდინი შუქამტარ-



ნახ.42

რების გადაცემის მახასიათებლების აღწერის დროს. რაც შეეხება ერთმოდინი შუქამტარებს, მათი გატარების ზოლი იმდენად დიდია, რომ ის პრაქტიკულად არ ასდენს ზეგავლენას შუქამტარის მახასიათებლებზე, ამიტომ იგი შეიძლება უგულებელყოფილ იქნას, როგორც სელშემშლელი ფაქტორი საკაბელო ხაზის პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პროცესში.

არსებობს სისწორულ ზოლსა და გადაცემის სიშორეს შორის დამოკიდებულების განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი. ერთ-ერთი მათგანი დამყარებულია შემდეგ თანაფარდობებზე:

$$(\Delta F_x / \Delta F) = (L / L_x), \quad \text{როცა } L < L_{a_3} \quad (8)$$

და

$$(\Delta F_x / \Delta F) = \sqrt{L^2 / L_x L_{a_3}}, \quad \text{როცა } L > L_{a_3}. \quad (9)$$

აქ  $X$  ინდექსით აღნიშნულია საძებნი, ინდექსის გარეშე კი - მოცემული სიდიდეები. როგორც წესი, აწარმოებენ  $L = 1$  კმ სიგრძის კაბელის გატარების ზოლის სიდიდის ნორმირებას. იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta F = (0,44/\tau) \text{ მგჰც} \cdot \text{კმ} . \quad (10)$$

მაშინ (8) და (9) ფორმულებიდან მივიღებთ:

$$\Delta F = \Delta F_x \cdot L_x, \quad \text{როცა } L < L_{a_3}$$

და

$$\Delta F = \Delta F_x \cdot \sqrt{L_x L_{a_3}}, \quad \text{როცა } L > L_{a_3} .$$

ამგვარად, დისპერსიის ცნობილი მნიშვნელობის დროს (10)-იდან შეიძლება განისაზღვროს გატარების ზოლის კაბელის სიგრძეზე ნაშრაფლის საძებნი სიდიდე და ამის საფუძველზე შეირჩეს შექცამტარები, რომლებიც ამ სიდიდეს აკმაყოფილებს.

პ ა ს ი უ რ ი ო პ ტ ი კ უ რ ი კ ო მ პ ზ ო ნ ე ნ ტ ე ბ ი

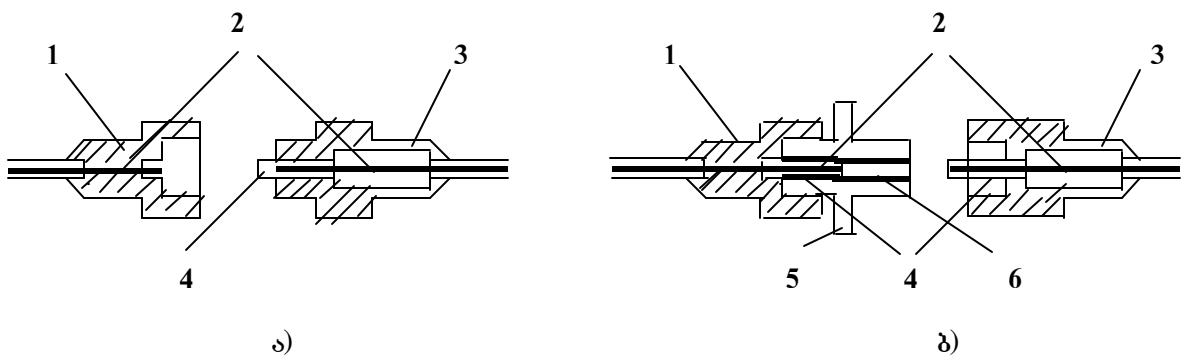
პასიურ ოპტიკურ კომპონენტებს წარმოადგენს ოპტიკური შემაერთებლები, ოპტიკური განმშტოებლები, სპექტრული შექმნილობის სისტემები, ოპტიკური იზოლატორები, ატენიუატორები, შემაერთებელი ქსოვიები, გამანაწილებელი პანელები, კროსირების კარადები, და სხვ. ქვემოთ განვიხილავთ მათი დანიშნულება და მოქმედების პრინციპებს.

3.1. ოპტიკური შემაერთებლები

ოპტიკური შემაერთებელი არის მოწყობილობა, რომლის დანიშნულებაა ბოქვოვან-ოპტიკური სახაზო ტრაქტის სხვადასხვა კომპონენტების შეერთება გამოსხივების შეყვანა-გამოყვანის ადგილებში. ასეთ ადგილებს წარმოადგენს ოპტიკური გადასვლებისა და მიძღვების შექცამტარებთან შეერთების, აგრეთვე - ბმ მონაკვეთების ურთიერთგადაბმისა და მათი სხვა კომპონენტებთან შეერთების წერტილები. ძირითადად განასხვავებენ რაზიომული და ურაზიომული შეერთებებს, რომელთა შორის საშუალოდ მდგომარეობა უკავია შეერთების განსაკუთრებულ ტიპს - მექანო-ოპტიკურ სპლავ-ის ს. რაზიომული შეერთება გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა ორი შექცამტარის ადგილი განმსოლოება და შეერთება, რაც შეიძლება მოხდეს მრავალჯერ. ურაზიომო შეერთება (როგორც წესი - შეღებვა) გამოიყენება საკაბელო სისტემების მუდმივი მონტაჟის ადგილებში.

3.1.1. რაზიომული შეერთება

რაზიომული შეერთებები არსებობს არასიმეტრიული და სიმეტრიული. არასიმეტრიული შეერთების (ნახ.43,ა) უზრუნველსაყოფად საჭიროა ორი ტიპის შემაერთებელი ელემენტი: ბუდიანი და შტეკერიანი. შტეკერის კაპილარულ მილში განლაგებული შექცამტარის ბოლო მილის კედეს ვერ წვდება, ხოლო ბუდიან შემაერთებელში განლაგებული შექცამტარი პირიქით - ბუდის გარეთ გამოდის, ამიტომ შექცამტარების შეერთება ხდება კაპილარული მილის შიგნით. შექცამტარის ღია ბოლოს არსებობა ასეთი შეერთების ნაკლს წარმოადგენს, ამიტომ კონსტრუქციის ეს ტიპი ნაკლებად გამოიყენება.



- 1 - ბუდიანი შემაერთებელი
- 2 - შექცამტარი
- 3 - შტეკერიანი შემაერთებელი
- 4 - დამაბოლოებელი
- 5 - გადასვლის როზეტი
- 6 - ცენტრირების ელემენტი

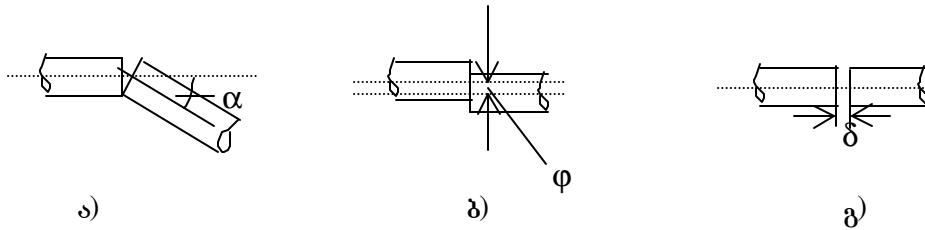
ნახ.43

სიმეტრიული შეერთებისათვის საჭიროა სამი ელემენტი: ორი შემაერთებელი და გადასვლის როზეტი, რომელსაც გააჩნია ცენტრირების ელემენტი (ნახ.43,ბ). შემაერთებლის მთავარ შემაღვენელ ნაწილებს წარმოადგენს ორი დამაბოლოებელი, რომლებშიც განლაგებულია შესაერთებელი შექცამტარების ბოლოები. შეერთებას აწარმოებს გადასვლის როზეტის ცენტრირების ელემენტი, რომელიც შესრულებულია გრძივი ქრილიანი მილის სახით. ცენტრირების ელემენტი მჭიდროდ ეკვრის დამაბოლოებლებს და უზრუნველყოფს მათ თანადერძულობას. დამაბოლოებლის ნაწილებს დამატური ისეთი უნდა იყოს, რომ მასში შექცამტარი თავისუფლად თავსდება და, ამავე დროს, არ მოძრაობდეს რადიალური მიმართულებით. დამაბოლოებლები მზადდება უკანავე ფოლადის ან კერამიკისგან.

შემაერთებლებს წაყენება შემდეგი მოთხოვნები: მცირე შეტანილი დანაკარგები, მცირე უკუარეკვლა, გარე ზემოქმედებისადმი მდგრადობა, კონსტრუქციის საიმედოობა და სიმარტივე, მასწავლებლების უმნიშვნელო გაუარესება მრავალჯერადი განმეორებითი შეერთებების დროს.

შეტანილი დანაკარგები არსებობს ორი სახის: შ ი გ ა და გ ა რ ე  
 შიგა დანაკარგები გამოწვეულია შექცამტარის დამზადების ტექნოლოგიით, სახელობრ, შესაერთებელი შექცამტარების გარდატენის მაჩვენებლებისა და აპერტურების განსწავებით, გულარების სწავდასწვა დიამეტრით და სსვ. შიგა დანაკარგებს ადგილი აქვს სწავდასწვა სტანდარტის მრავალმოდიანი (მაგალითად, 62,5/125 და 50/125), ან მრავალმოდიანი და ერთმოდიანი შექცამტარების შეერთებისას, როცა სინათლის სხივი ვადადის უფრო დიდი დიამეტრის მქონე შექცამტარიდან მცირე დიამეტრის შექცამტარში.

გარე დანაკარგები გამოწვეულია ისეთი ფაქტორებით, როგორცაა შექცამტარების არაიდეალური შეპირაპირება რაზიომში (ნან.44 ა,ბ), შესაერთებელი შექცამტარების ბოლოების ვაჭყუყუიანება, გულარას ბოლოს მოჭრის ზედაპირის არაიდეალური სისწორე და ა.შ.



- ა - შექცამტარების ღერძების კუთხური წანაცვლება
- ბ - შექცამტარების ღერძების რადიალური წანაცვლება
- გ - ღრეჩო შექცამტარების შესაერთებელ ბოლოებს შორის

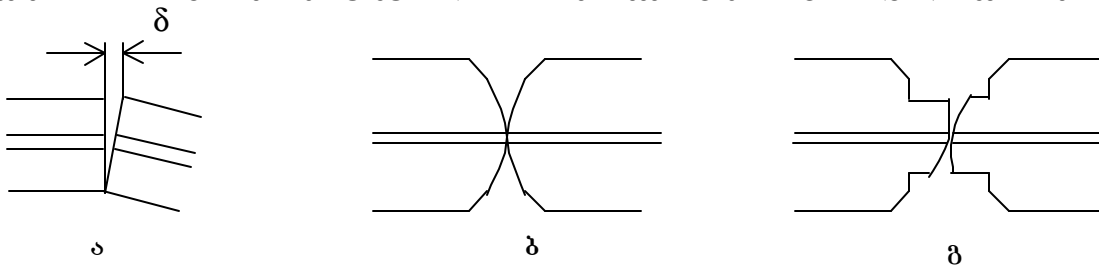
ნან.44

როგორც წესი, ჯგამური დანაკარგები შემაერთებელში შეადგენს 0,3-0,4 დბ.

შექცამტარების რაზიომული შეერთების დროს შეტანილი დანაკარგების შემდეგ სიდიდით მეორე უარყოფით ფაქტორს წარმოადგენს სინათლის უკუდაბრუნება. ამ ფაქტორით გამოწვეულ დანაკარგებს უკუდაბრუნების ეფექტურობა უკუდანიკარგების ძირითადი მიზეზია ფრენელის არეკვლა, გამოწვეული საჭაერო ღრეჩოს არსებობით შემაერთებელ ზედაპირებს შორის (ნან.44,გ). რომელიც სინათლის გაბნევისთან ერთად (გარე დანაკარგები) იწვევს სინათლის არეკვლას შექცამტარისა და ღრეჩოს გარემოთა გარდატენის სწავდასწვა მაჩვენებლების გამო. ფრენელის არეკვლის სფედრითი წილი მნიშვნელოვნად მცირდება, როცა ღრეჩოს სიგანე ვაცილებით მცირეა ტალღის სიგრძეზე ( $\delta/\lambda < 0,1$ ). ღრეჩოს შემცირება შეიძლება სფეროსებრი ზედაპირი მქონე კიდებიანი დამაბოლოებლების გამოყენებით, რაც უზრუნველყოფს შექცამტარების ფიზიკურ კონტაქტს. სფეროსებრი ზედაპირების უპირატესობა ნათლად ჩანს 45-ე ნახააზიდან.

45-ეა ნახაზზე მოყვანილია ბრტყელი ზედაპირების მქონე დამაბოლოებლების შეპირაპირება. პრაქტიკულად ასეთ ზედაპირებს ყოველთვის ვააჩნია ვარკვეული დასრა ნორმალის მიმართ, ამიტომ მათი შეპირაპირების შემდეგ ზედაპირებს შორის რჩება დასრილი ღრეჩო, რაც თავის მხრივ იწვევს ღრეჩოს წარმოქმნას შექცამტარების გულარებს შორის. სფეროსებრი ზედაპირის მქონე დამაბოლოებლების შეპირაპირებისას კი შესება ყოველთვის ხდება შექცამტარის გულარას მიდამოებში (ნან.45,ბ).

უკუარეკვლა შეიძლება კიდევ უფრო შემცირდეს კუთხური (დასრილი) ფიზიკური კონტაქტის გამოყენებისას (ნან.45,გ), ასეთი კონტაქტის დროს, იმ შემთხვევაშიც კი, როცა ადგილი აქვს სხივის არეკვლას,



ნან.45

იგი ვრცელდება არა გულარაში, არამედ სვდება გარსში. მაგრამ ასეთი დამაბოლოებლების დამზადება დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, ამიტომ ისინი ჯერ ნაკლებად გამოიყენება.

უკუარეკვლის სრდას იწვევს მიკრობზარები შექცამტარების შესაერთებელ ზედაპირებზე, ამიტომ ისინი კარგად უნდა იქნას განხილი.

უშუალოდ შექცამტარების შეერთების გარდა ოპტიკური შემაერთებელი გამოიყენება როგორც სწვდასწვა ქსელური მოწყობილობების დამაკავშირებელი კონსტრუქციის - ოპტიკური სონარის - შემაღვენი ელემენტი. ოპტიკური სონარი წარმოადგენს ოპტიკურ მინიკაბელს, რომლის ბოლოებზე მიერთებულია შემაერთებლები. იგი შეიძლება შეიცავდეს როგორც ერთმოდიან, ისე მრავალმოდიან შექცამტარებს - ერთს ან ორს. როზეტი უნდა შეესაბამებოდეს შემაერთებლის ტიპს. არსებობს გადასვლის როზეტები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ორი სწვდასწვა კონსტრუქციის შემაერთებლის შეთავსებას.

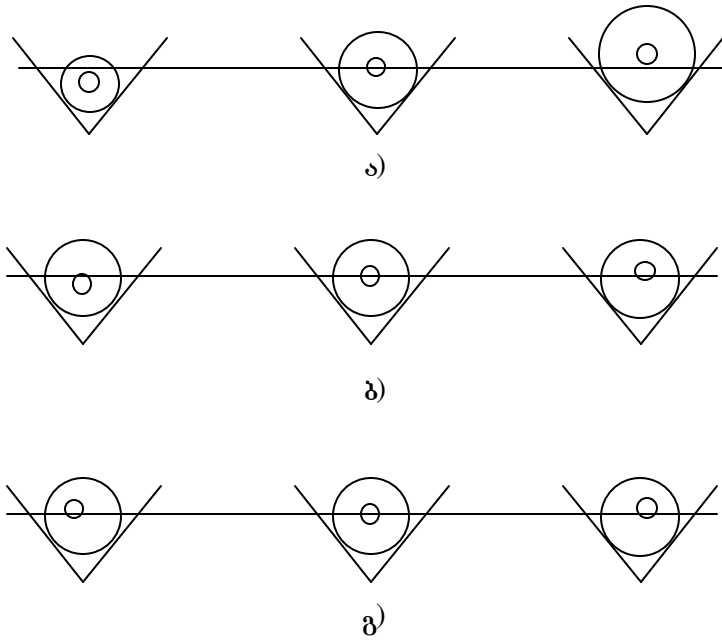
ოპტიკური სონარის დამზადების პროცესში დიდი ყურადღება ექცევა ნორმალური მუშა მანასიათებლების უზრუნველყოფას, განსაკუთრებით - შექცამტარების კიდების განხვვის კარგ სარისსს.

### 3.1.2. შეერთება შედელებით

ოპტიკური ბოჭკოების შედელება არსებობს ორი ტიპის: ერთშექცამტარიანი და მრავალშექცამტარიანი. პირველ შემთხვევაში სდება შექცამტარების ერთი წყვილის, მეორეში კი - ერთდროულად რამდენიმე წყვილის (4-დან 12-მდე) შედელება.

შედელება დაფუძნებულია შექცამტარების ზუსტ ცენტრირებაზე, რის შემდეგაც ისინი შედელება ერთმანეთთან ელექტროდებს შორის რკალური განმუხტვის საშუალებით. არსებობს ცენტრირების ორი სახე: ავტომატური და V-სებრი და რის გამოიყენებით. უფრო სწორად გამოიყენება პირველი მათგანი.

ავტომატური ცენტრირების დროს აწარმოებენ ბოჭკოების შესაერთებელი ადგილის განათებას გვერდიდან ორ მხარეს დაყენებული სარკეების საშუალებით. ამ დროს შედელების წერტილის საწინააღმდეგო



ნახ.46

მხარეს განლაგებულ ეკრანზე ჩნდება გამოსახულება, რომელიც განისაზღვრება შექცამტარის გარდატეხის მაჩვენებლის პროფილით. ამ პროფილის მინიმუმით სელსაწყო დაადგენს გულარას განლაგებას შექცამტარში.

მეორე მეთოდი უფრო მარტივია, მაგრამ ის მოითხოვს შექცამტარის გეომეტრიის მაღალ სარისსს შედელების კარგი მანასიათებლების უზრუნველსაყოფად. 46-ე ნახაზზე მოყვანილია შექცამტარების შესაძლო გეომეტრიული დამახინჯებები: გარსის დიამეტრის არასტაბილობა (ა), გულარა/გარსის კონცენტრიულობის დარღვევა (ბ) და გარსის არაერთგვაროვნებები - გასქელება ან გათხელება (გ). შედელების სარისსზე ძირითადად მოქმედებს პირველი ორი ფაქტორი.

უნდა აღინიშნოს, რომ შუქგამტარის გეომეტრიული დარღვევები არ მოქმედებს შედეგების ხარისხზე ავტომატური მეთოდის დროს, რადგან აქ ცენტრირება ხდება გულარის მდებარეობის მიხედვით.

შედულების შემდეგ გაშიშვლებული შუქგამტარი დაცულ უნდა იქნას მექანიკურად, რისთვისაც იყენებენ დამცავ ჰილზებს. მათი დამაგრება ხდება თერმოული მეთოდით სპეციალურ ლემელში, რომელიც შედეგების აპარატის შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს.

შედულების შედეგად მიიღება უწყვეტი შეერთება, ამიტომ მასში შეტანილი და უკუდანაკარგები გაცილებით ნაკლებია რაზიომულ შეერთებასთან შედარებით. როგორც წესი, შედეგებს აწარმოებენ ან შენობის გარეთ მდებარე ოპტიკური კაბელების მონაკვეთების გადაბმისას, ან კაბელის ბოლოების მიერთებისას შენობის შიგნით. გარე შედეგების დროს გადაბმის წერტილებს იცავენ ჰერმეტიკული ქუროებით, შენობის შიგნით კი მათ ათავსებენ სპეციალურ სპლაის ბოქსებში.

მცირე შეტანილი დანაკარგების გამო შედეგება განსაკუთრებით ეფექტურია გრძელ ოპტიკურ მაგისტრალებში, როცა მანძილი რეტრანსლატორებს შორის რამდენიმე ათეულ კმ შეადგენს. ასეთ მონაკვეთებზე შეიძლება განლაგდეს ერთმოდინი ბმ სამშენებლო სიგრძის რამდენიმე ათეული სეგმენტი.

შედულების ხარისხს განაპირობებს ორი ფაქტორი: შეტანილი დანაკარგები და დაძაბულობა გაჭიმვაზე. უკუდანაკარგების ძირითადი მიზეზი - საჭერო ღრეჩო - შედეგებისას არ არსებობს, რის გამოც ეს დანაკარგები გამოწვეულია მხოლოდ შესადლებელი შუქგამტარების გარდატენის მაჩვენებლებს შორის განსხვავებით. მაგრამ თანამედროვე ერთმოდინი ოპტიკური ბოქსები ხასიათდება გარდატენის მაჩვენებლების ძალზე მაღალი სტაბილობით, ამიტომ უკუდანაკარგები ძალზე მცირეა.

ისევე, როგორც რაზიომული შეერთების შემთხვევაში, შეტანილი დანაკარგები შედგება შიგა და გარე დანაკარგებისაგან. შიგა დანაკარგები გამოწვეულია შესადლებელი შუქგამტარების სხვადასხვა გეომეტრიული მანსიათებლებითა (დიამეტრები, კონცენტრიულობები, აპერტურები) და გარდატენის მაჩვენებლებით, გარე კი - თვით შედეგების პროცესის არასრულყოფილობით, რის შედეგადაც შეიძლება გაჩნდეს ღერძული და კუთხური გადასრები, მოხდეს გულარების დეფორმაცია და გაქუქყიანება. გარე დანაკარგებს დიდად განაპირობებს როგორც შედეგების აპარატის ხარისხი, ისე შედეგების კვალიფიკაცია. დღეისათვის შედეგებისას შეტანილი დანაკარგების სიდიდე მერყეობს ფარგლებში 0,05-0,1 დბ როგორც ერთმოდინი, ისე მრავალმოდინი შუქგამტარებისათვის.

როგორც აღვნიშნეთ, შედეგების ხარისხის მეორე მანსიათებელია დაძაბულობა გაჭიმვაზე, რომელიც საჭიროა შედეგების წერტილების გასაწყვეტად. გაწყვეტის მიზეზი შეიძლება იყოს შედეგების წერტილის მანსიათებლობაში დიდი რაოდენობისა და ზომების მიკრობზარების არსებობა.

მიუხედავად იმისა, რომ შედეგების პროცედურა საკმაოდ ძვირი ჯდება, შედეგება მანც შუქგამტარების შეერთების ყველაზე გავრცელებული და საიმედო ტექნოლოგიაა.

### 3.1.3. მექანიკური სპლაისი

ბმ გაწყვეტისას, მაგალითად, საველე პირობებში, შეიძლება დაზიანების აღდგენა შედეგების გარეშე მექანიკური სპლაისით. იგი წარმოადგენს მარტივ, იაფ მოწყობილობას, რომელიც აწარმოებს მრავალმოდინი და ერთმოდინი შიშველი შუქგამტარების სწრაფ შეპირაპირებას სპეციალური მექანიკური მოძქერების საშუალებით. მექანიკური სპლაისი განსაზღვრულია როგორც ერთჯერადი (მუდმივი შეერთების ორგანიზება), ისე მრავალჯერადი (დროებითი შეერთების ორგანიზება) გამოყენებისათვის. საიმედობისა და შეტანილი დანაკარგების მხრივ მექანიკური სპლაისი ჩამოუვარდება შედეგებს.

### 3.2. ოპტიკური განმშტოებლები

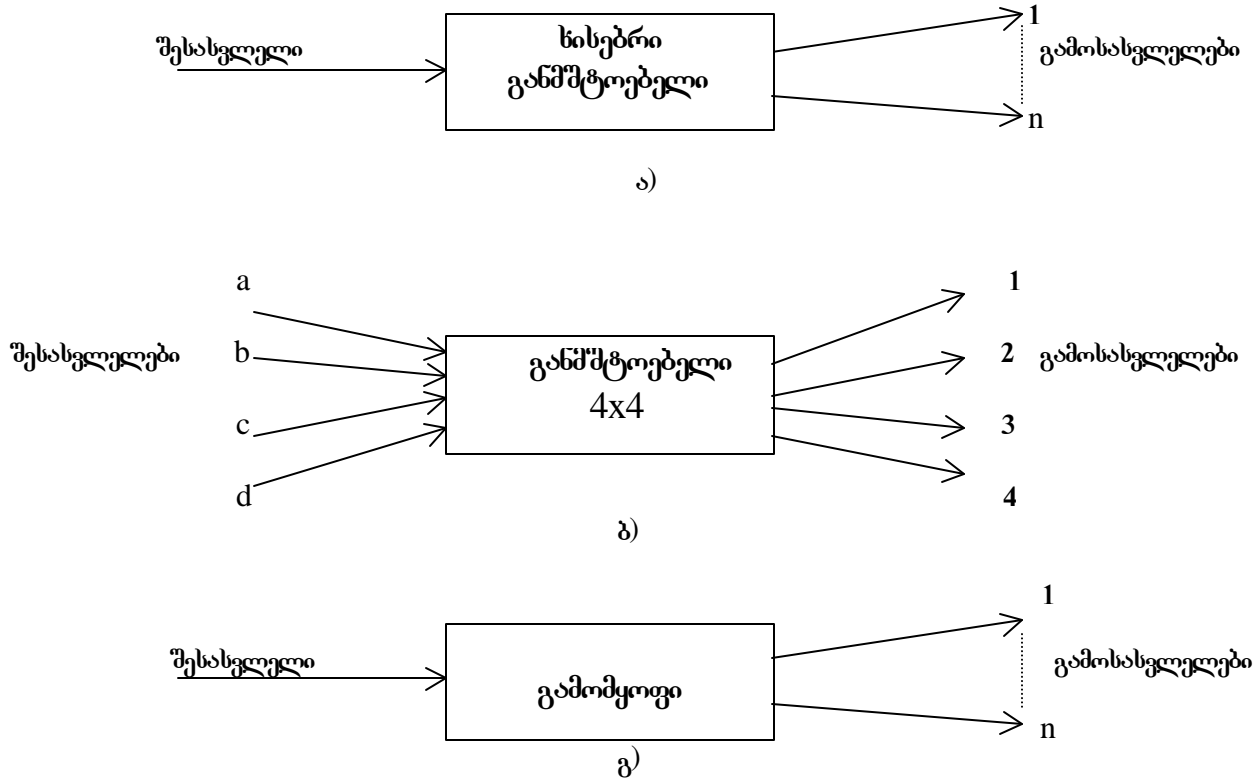
ზოგადად ოპტიკური განმშტოებელი წარმოადგენს მრავალბოლოუსიან მოწყობილობას, რომელშიც შესასვლელი ოპტიკური პოლუსების ნაწილზე მიწოდებული გამოსხივება განაწილდება მის დანარჩენ ოპტიკურ პოლუსებს შორის.

განასხვავებენ ერთმიმართულებიან და ორმიმართულებიან, აგრეთვე ტალღის სიგრძისადმი მგრძობიარე და არამგრძობიარე განმშტოებლებს. ორმიმართულებიან განმშტოებლებში ყოველ პოლუსს შეუძლია იმუშაოს ან გადაცემაზე ან მიღებაზე, ან აწარმოოს გადაცემა და მიღება ერთდროულად ისე, რომ მიმღები დი გადაცემა პოლუსების ჯგუფებში შეიძლება ფუნქციურად ადგილები გაცვალოს.

ოპტიკური განმშტოებლების ძირითადი კატეგორიებია: ხისებრი, ვარსკვლავისებრი და გამომყოფი.

ხისებრი განმშტოებელი აწარმოებს ერთი შემაჯავლი ოპტიკური სიგნალის გასლეჩას რამდენიმე გამომავალ სიგნალად (ნახ. 47,ა). როგორც წესი, ამ დროს სიმძლავრე თანაბრად ნაწილდება ყველა გამოსავალ პოლუსს შორის. პოლუსების კონფიგურაცია აღინიშნება როგორც  $1 \times M$ , ხდაც  $1$  არის შემავალი, ხოლო  $M$  - გამომავალი პოლუსების რიცხვი. არსებულ ხისებრ განმშტოებლებში  $M$  შეიძლება შეიცვალოს ფარგლებში 2 - 32.

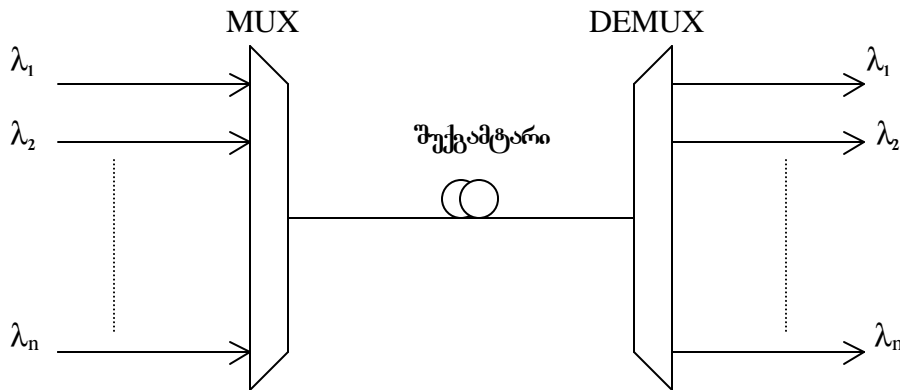
ნისებრი განმშტოებლების უმრავლესობა მთლიანად ორმიმართულებიანია, ამიტომ განმშტოებელს შეუძლია სიგნალების გაერთიანების ფუნქციის შესრულებაც.



ნახ.47

ვ ა რ ს კ ვ ლ ა ვ ი ს ე ბ უ რ განმშტოებელს, როგორც წესი, გააჩნია შესავალი და გამოსავალი პოლუსების ერთნაირი რიცხვი. ოპტიკური სიგნალი მიეწოდება ერთ-ერთ  $n$  შესასვლელს და თანაბრად ნაწილდება ყველა  $n$  გამოსასვლელ პოლუსს შორის. პრაქტიკაში ყველაზე დიდ გამოყენებას პოულობს  $2 \times 2$  და  $4 \times 4$  ტიპის (ნახ.47,ბ) ვარსკვლავისებური განმშტოებლები.

შესავალი და გამოსავალი პოლუსების აღნიშვნებში გაუგებრობების თავიდან ასაცილებლად შესავალ პოლუსებს აღნიშნავენ ლათინური ასოებით, გამოსავალს კი - ციფრებით. ვარსკვლავისებურ განმშტოებლებში ყველა გამოსავალ პოლუსს შორის ენერგია ნაწილდება თანაბრად.



ნახ.48

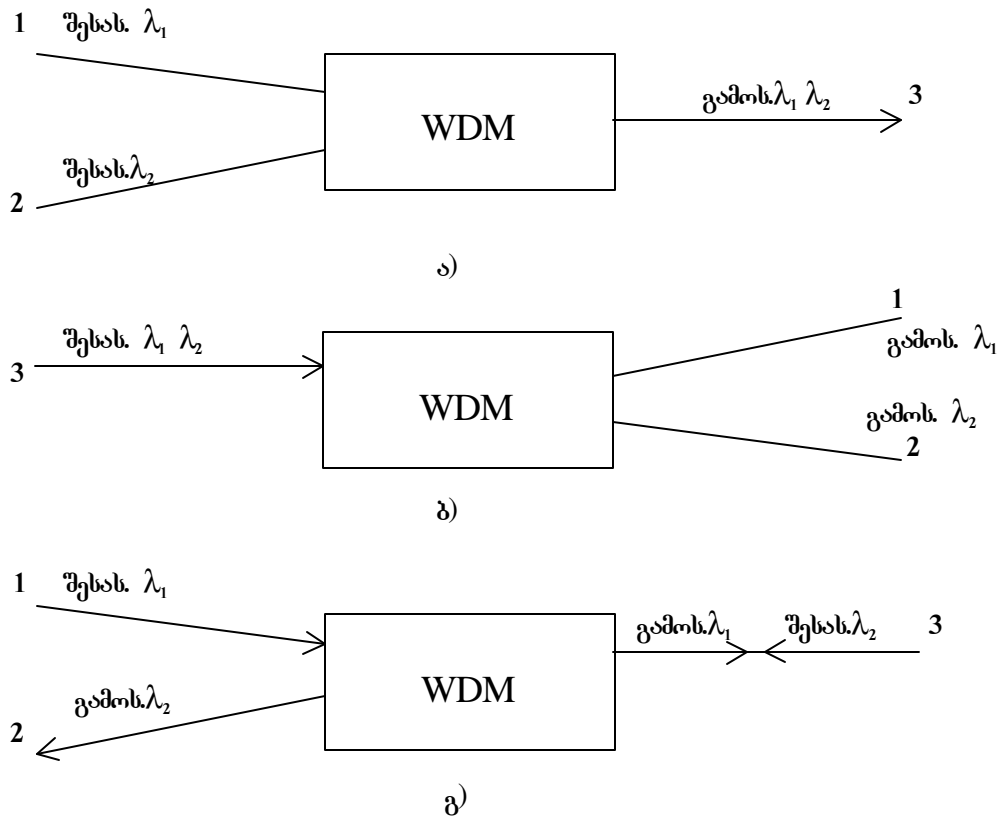
გ ა მ მ ყ ო ფ ი (ნახ. 47,გ) წარმოადგენს ნისებრ განმშტოებელს, რომლისთვისაც არაა აუცილებელი გამოსავალი ენერგიის თანაბარი განაწილება გამოსავალ პოლუსებს შორის. მას გააჩნია კონფიგურაციები:  $1 \times 2$ ,  $1 \times 3$ ,  $1 \times 4$ ,  $1 \times 5$ ,  $1 \times 6$ ,  $1 \times 32$ . გამოსავალი სიმძლავრის რაღაც ნაწილი (50%-ზე

ნაკლები) მიეწოდება გამომყოფ არსებს, დიდი ნაწილი კი რჩება მაგისტრალურ არსში. გამოსავალი პოლუსები ინომრება სიმძლავრის შემცირების შესაბამისად.

### 3.3. ტალღური დამკვირვების მოწყობილობები WDM

ტალღური დამკვირვების მოწყობილობა WDM წარმოადგენს ფილტრს, რომელიც ასრულებს სხვადასხვა ტალღის  $\lambda$  სიგრძის ოპტიკური სიგნალების (არსების) მულტიპლექსირებას (MUX) რამდენიმე შექცამტარიდან ერთში, ან დემულტიპლექსირებას (DEMUX) ერთი შექცამტარიდან რამდენიმეში. WDM არსებობის თვით ფაქტი დამყარებულია ბოქკოს მიერ ერთდროულად მრავალი არსის გატარების თვისებაზე, რომლებიც გავრცელებისას ურთიერთშემოქმედებას არ განიცდის (ნან.48).

განვიხილოთ უმარტივესი ორარხიანი WDM (ნან.49). იგი ასრულებს როგორც მულტიპლექსირების (ნან.49,ა), ისე დემულტიპლექსირების (ნან.49,ბ) ფუნქციებს, რომლებიც სშირ შემთხვევაში შეთავსებულია ერთ მოწყობილობაში. ასეთი მოწყობილობა შეიძლება აგრეთვე გამოყენებულ იქნას ორმიმართულებიანი ნაკადების მულტიპლექსირებისა და დემულტიპლექსირებისათვის (ნან.49,გ).



ნან.49

იდეალურ შემთხვევაში 1 მომქერზე მიწოდებული სიგნალი  $\lambda_1$  (ნან.47,ა) მთლიანად უნდა გავიდეს საერთო გამოსავალ 3 მომქერზე. მაგრამ რეალურად ამ სიგნალის ნაწილი განშტოვდება 2 მომქერზე ანალოგიურად, ნან.47,ბ სქემისათვის იდეალურ შემთხვევაში 3 მომქერზე მიწოდებული  $\lambda_1$  სიგნალი მთლიანად უნდა გავიდეს 1 გამოსასვლელებზე,  $\lambda_2$  კი - 2-ზე. სინამდვილეში კი ხდება მათი ნაწილობრივი შერევა ერთმანეთში. ამ პარაზიტული ურთიერთგავლენის აღსაწერად შემოტანილია გ ა რ დ ა მ ა გ ა ლ ი ს ე - ლ შ ე შ ლ ე ბ ი ს ცნება. ისინი იყოფა ანლო და შორეულ სელშეშლებად.

ასევე გარდამავალი სელშეშლები განისაზღვრება  $\lambda_1$  ტალღის სიგრძის სიმძლავრის ნაწილით, რომელიც რეგისტრირდება  $\lambda_2$  ტალღის სიგრძის შესაბამის 2 მომქერზე იმ პირობით, რომ  $\lambda_1$  სიგნალი მიეწოდება 1 მომქერს (ნან.49,ა). შორეული გარდამავალი სელშეშლები განისაზღვრება  $\lambda_2$  ტალღის სიგრძის შესაბამის 2 მომქერზე  $\lambda_1$  სიგნალის სიმძლავრის ნაწილით (ნან.49,ბ).

ზოგად შემთხვევაში WDM მოდულს მულტიპლექსირება/დემულტიპლექსირების რეჟიმში შეიძლება ჰქონდეს  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  ტალღის სიგრძეების შესაბამისი  $n$  შესასვლელი/გამოსასვლელი და შესაბამისად - ერთი საერთო გამოსასვლელი / შესასვლელი მომჭერი.

WDM ფილტრები არსებობს ფ ა რ თ ო ზ ო ნ ი ა ნ ი და გ ი წ რ ო ზ ო ნ ი ა ნ ი ფართოზონიანი ფილტრები გამოიყენება ორ ან სამ ტალღის სიგრძეზე სამუშაოდ, ამასთან არსებს შორის მანძილი არ უნდა იყოს 70 ნმ-ზე ნაკლები (მაგალითად, 1310, 1550 და 1625 ნმ). ვიწროზონიანი ფილტრები აწარმოებენ მრავალზონიანი სისტემების სიგნალების მულტიპლექსირებასა და დემულტიპლექსირებას, როდესაც არსებს შორის მანძილი იცვლება (1,6 - 70) ნმ ფარგლებში.

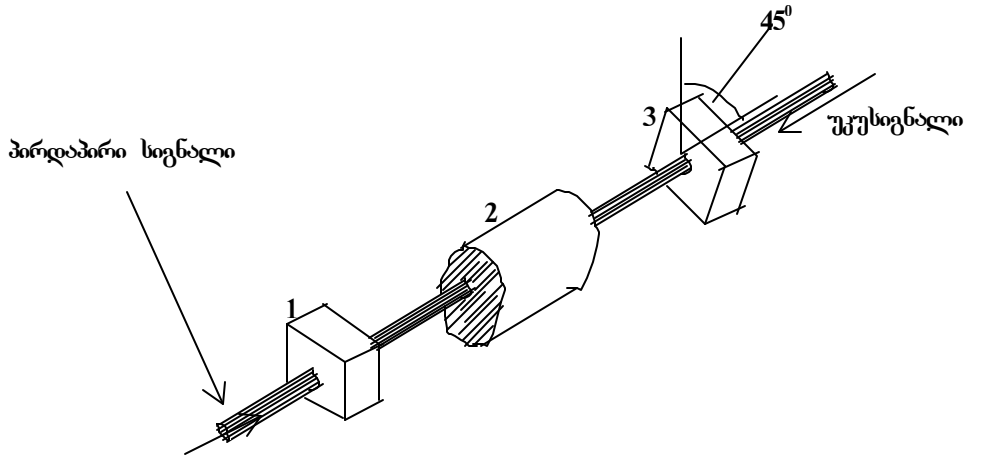
### 3.4. ოპტიკური იზოლატორები

შუქგამტარში გავრცელებისას ოპტიკური სიგნალი აირეკლება სხვადასხვა არაერთგვაროვნებებისგან, რის შედეგადაც ენერჯის ნაწილი უკან ბრუნდება. თუ გამოსხივების წყაროს სახით გამოიყენება ლაზერი, მაშინ არეკლილი სიგნალი, სვდება რა რეზონატორში, ინდუცირებულად ძლიერდება და იწვევს პარაზიტული სიგნალის გაჩენას. ამიტომ საჭიროა ზომების მიღება არეკლილი სიგნალის ჩასახშობად, რისთვისაც იყენებენ ო პ ტ ი კ უ რ ი ზ ო ლ ა ტ ო რ ე ბ ს. ისინი უზრუნველყოფს სინათლის გატარებას ერთი მიმართულებით თითქმის დანაკარგების გარეშე უკუმიმართულებით კი - დიდი მილევეით.

ოპტიკური იზოლატორის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ფ ა რ ა დ ე ი ს ე ფ ე ქ ტ ზ ე რომლის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გრძივი მაგნიტური ველის ზეგავლენით სწარმოებს სინათლის პოლარიზების სიბრტყის ბრუნვა ოპტიკურად არააქტიური ნივთიერებების საშუალებით.

ოპტიკური იზოლატორი შედგება სამი ელემენტისგან (ნახ. 50): პოლარიზატორისგან 1, ფარადეის უჯრედისგან 2 და ანალიზატორისგან 3. ამ უკანასკნელს აგრეთვე გამოსასვლელი პოლარიზატორი ეწოდება. შესავალი სასარგებლო სიგნალი, გაივლის რა პოლარიზატორ 1-ს, უცვლელად ტოვებს თავის ვერტიკალურ მდგენელს, პორიზონტალურ მდგენელს კი ახშობს. შემდეგ ვერტიკალურად პოლარიზებული სინათლე მიეწოდება ფარადეის უჯრედს, რომლის პარამეტრები შერჩეულია ისე, რომ სინათლის პოლარიზაციის ღერძი, რომელიც მასზე გადის, ტრიალდება  $45^\circ$ -ით. ასეთივე კუთხითაა დაყენებული პოლარიზატორების ღერძებიც ამიტომ სინათლე დაუბრკოლებლად გაივლის ანალიზატორში.

სინათლის გავრცელებისას უკუმიმართულებით იგი აგრეთვე განიცდის პოლარიზაციას ანალიზატორის სიბრტყეში, გაივლის ფარადეის უჯრედს და სდება პორიზონტალურად პოლარიზებული. ამგვარად, სინათლისა და პოლარიზატორ 1-ის პოლარიზაციის ღერძები ქმნიან  $90^\circ$ -იან კუთხეს, ამიტომ პოლარიზატორი 1 არ ატარებს უკუგამოსხივებას.



ნახ. 50

ოპტიკური იზოლატორისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნებია შეტანილი დანაკარგების მცირე სიდიდე პირდაპირი მიმართულებით (1-2 დბ) და მაღალი იზოლაცია, ანუ დიდი დანაკარგები სიგნალის უკუმიმართულებით გავრცელებისას (>30 დბ).

ოპტიკური იზოლატორებს წშირად ამონტაჟებენ ლაზერულ გადამცემ მოდულში. ისინი წარმოადგენს აგრეთვე ოპტიკური მაძლიერებლების ძირითად ელემენტს. ამ შემთხვევაში გამოიყენება იზოლატორების წყვილი, ერთი - მაძლიერებლის შესასვლელზე, მეორე კი - გამოსასვლელზე, რადგან ოპტიკურ მაძლიერებლებში სდება მულტიპლექსური ოპტიკური სიგნალების გაძლიერება, ამიტომ იზოლატორებს უნდა

გააჩნდეს კარგი მასასიათებლები ტალღების მოკლ დიაპაზონში. ამ მიზნით გამოიყენება სპეციალური ფართოზონური ოპტიკური იზოლატორები.

### 3.5. ატენუატორები

ბმპ-ით როგორც ციფრული, ისე ანალოგური სიგნალების გადაცემისას მიმღებში სიგნალის მძალა დაკარგვას შეიძლება გამოიწვიოს მისი დამახინჯება. ამის თავიდან ასაცილებლად საჭირო სდება შესავალი ოპტიკური სიგნალის სიმძლავრის შემცირება, რასაც აწარმოებენ ატენუატორები.

ატენუატორები არსებობს ცვლადი და ფიქსირებული.

ცვლადი ატენუატორები არეგულირებს მილევის 0-20 დბ ფარგლებში 0,5 დბ სიზუსტით. რეგულირება სდება საპარო ღრეჩოს სიდიდის ცვლილებით.

ფიქსირებულ ატენუატორებს გააჩნია მილევის წინასწარ დაყენებული სიდიდე, რომელიც შეიძლება იყოს 0, 5, 10, 15 ან 20 დბ. მილევის შეტანა სდება ან ფიქსირებული სიდიდის საპარო ღრეჩოს საშუალებით, ან ატენუატორში ჩამონტაჟებული სპეციალური ფილტრით.

არსებობს ატენუატორის აგების სხვადასხვა ვარიანტები: ატენუატორი-ზონარი, ატენუატორი-როზეტი, ატენუატორი-FM როზეტი.

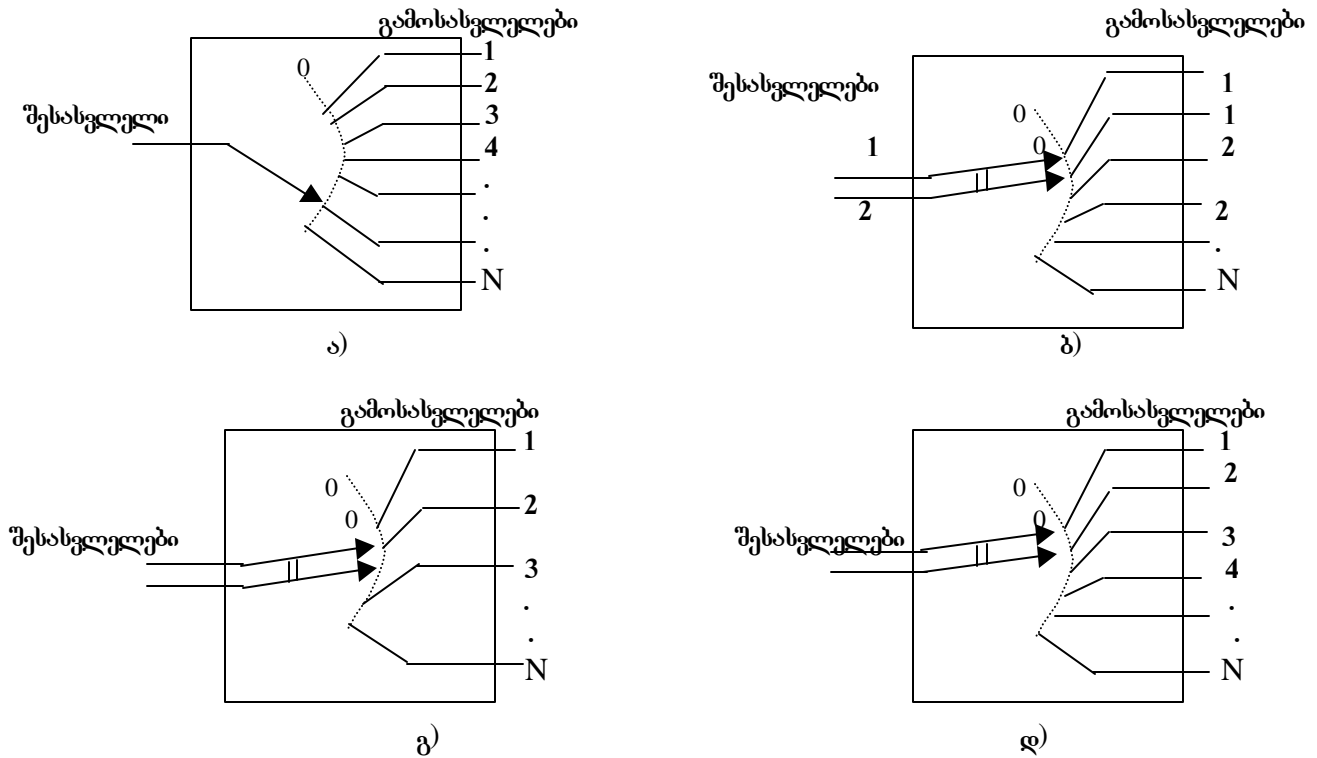
ატენუატორი-ზონარი - ზონარის ორივე ბოლოზე გაჩნია სტანდარტული შემაერთებელი. მილევა ზონარში უზრუნველიყოფა სპეციალური ბოქკოს საშუალებით.

ატენუატორი-როზეტი არსებობს ცვლადი და ფიქსირებული (შესაბამისად - რეგულირებადი და არარეგულირებადი საპარო ღრეჩოთი).

ატენუატორი-FM როზეტი განლაგებენ სტანდარტულ გადასვლის როზეტსა და ოპტიკურ შემაერთებელს შორის. მას გააჩნია მილევის მნიშვნელობათა ფიქსირებული ნაკრები: 5, 10, 15 და 20 დბ (მილევა უზრუნველიყოფა არარეგულირებადი საპარო ღრეჩოთი ან ფილტრით).

### 3.6. ოპტიკური გადამრთველები

ოპტიკური გადამრთველები აწარმოებენ ოპტიკური სიგნალის მექანიკურ კომუტირებას შექცამტარებს შორის. ისინი შეიძლება იმართებოდეს სელით ან ელექტრულად.



ნახ.51

განასვავებენ ოპტიკური გადამრთველების რამდენიმე ტიპს (ნახ.51):

- გადამრთველი 1xN - ერთი შესასვლელი და N გამოსასვლელი მომქერით (ნახ.51,ა);

- დუბლექსური ვადამროველი 2xN - ორი შესასვლელი და N გამოსასვლელი მომჭერით (ნახ.51.ბ), რომლის შესასვლელი სიგნალები მიეწოდება გამოსასვლელ მომჭერებს 2-ის ტოლი ბიჯით;
  - მახლოკირებელი ვადამროველი 2xN - ორი შესასვლელი და N გამოსასვლელი მომჭერით (ნახ.51.გ), რომლის შესასვლელი სიგნალებიდან მხოლოდ ერთი მიეწოდება გამოსასვლელ მომჭერს;
  - არამახლოკირებელი ვადამროველი 2xN - ორი შესასვლელი და N გამოსასვლელი მომჭერით (ნახ.51.დ), რომლის შესასვლელი სიგნალებიდან ორივე მიეწოდება გამოსასვლელ მომჭერებს 1-ის ტოლი ბიჯით.
- გამოსასვლელი მომჭერების რაოდენობა მერყეობს ორიდან რამდენიმე ათეულამდე. მათი რიცხვის ზრდა იწვევს ვადამროველის ვადართვის ხანგრძლიობის ზრდასაც, რომელიც იცვლება დიაპაზონში 25-500 მწმ.

### 3.7. შემაერთებელი ქურობები

ბმმ მონაკვეთების შედულების ადგილები სამედიოდ უნდა იქნას დაცული, რისთვისაც გამოიყენება უ ე მ ა ე რ თ ე ბ ე ლ ი ქ უ რ თ ე ბ ი. ქურობები არსებობს სპეციალიზირებული, რომლებიც გამოიყენება კონკრეტული ტიპის კაბელებისათვის (სახმელეთო, საზღვაო და ა.შ.) და უნივერსალური, რომლებიც ერგება ყველა ტიპის კაბელებს.

უნივერსალური პლასტმასის ქუროს ძირითადი შემადგენელი ნაწილებია ხანგრძლივი სტაბილურობის მქონე პლასტმასის კოროპუსი, შექვიდროების სისტემა, რომელიც შეიცავს კოროზიამდგრად მაპერმეტიზირებულ კომპაუნდს, და შიგნით განლაგებული მეტალის ჩარჩო, რომლის დანიშნულებაც კაბელის გარსების მექანიკური შეერთება და ელექტრული ვერანირება.

ღრუ გარსიანი ერთმოდინი და მრავალმოდინი შექვამტარების შედულების ადგილებს განლაგებენ ადვილად დასამონტაჟებელ შემაერთებელ მოდულებში. მათი მონტაჟისათვის გამოიყენება დამატებითი კონტეინერები (ოპტიკური მოდულები), რომლებიც შეიცავს შემაერთებელ მოდულების განლაგებისათვის და კაბელის დამაგრებისათვის საჭირო დეტალებს.

ქუროს ზომის შერჩევას გათვალისწინებულ უნდა იქნას, რომ მასში შექვამტარის ღუნვის რადიუსი არ უნდა იყოს დასაშვებზე ნაკლები. ვარდა ამისა, დატოვებულ უნდა იქნას შექვამტარის საკმარისი სიგრძის ბოლო განშეორებითი შედულების საწარმოებლად, თუ ამის საჭიროება შეიქმნება. ისევე როგორც მეტალის კაბელებში, აქაც არსებობს შემაერთებელი, განმშტოვებელი, დამაპარალელებელი და სხვა ტიპის ქურობები.

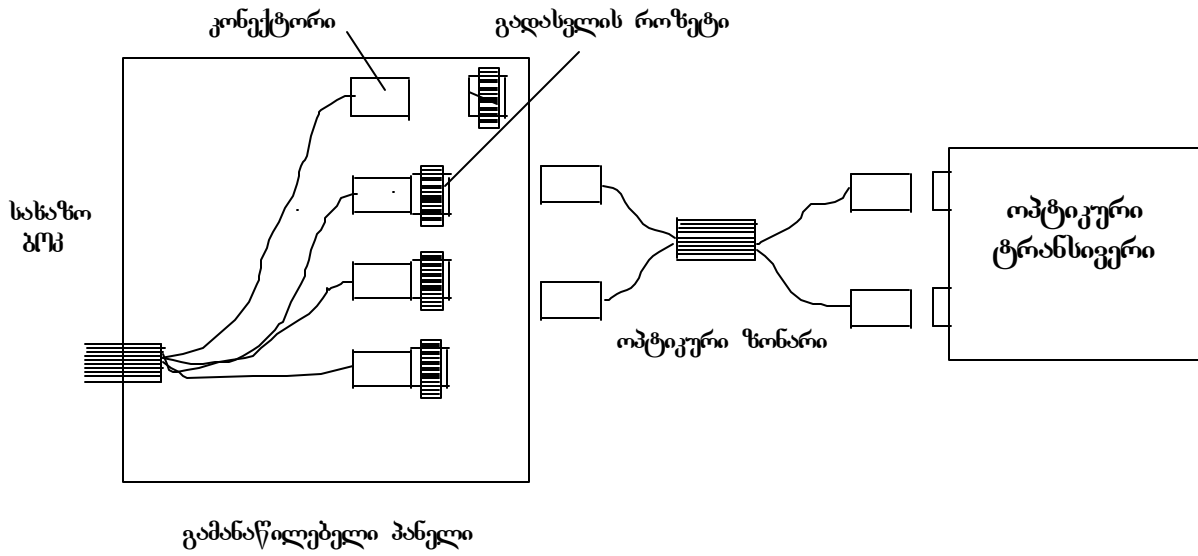
### 3.8. ოპტიკური გამანაწილებელი და კომუტაციის მოწყობილობები

#### 3.8.1. ბმმ ტერმინირება

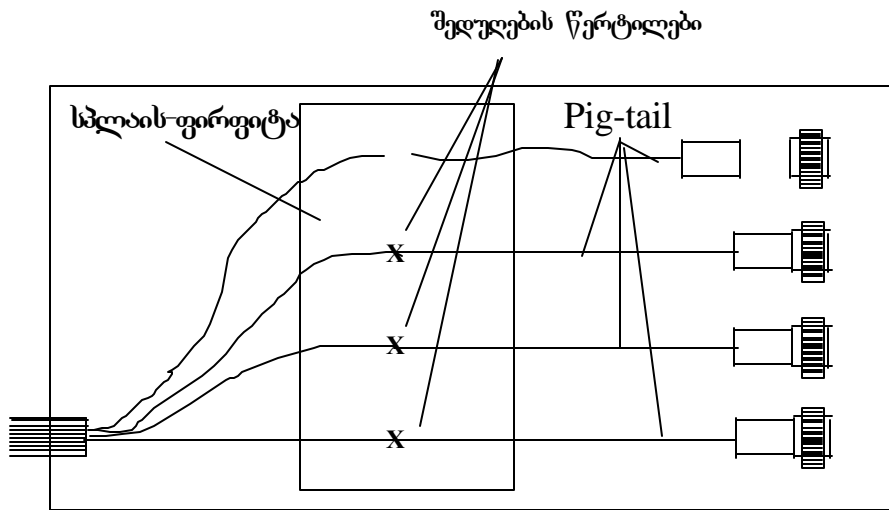
გარე ვაყვანილობის ბმმ-ის შენობაში შეყვანის შემდეგ მისი უშუალო შეერთება მიმღებ-გადამცემ მოწყობილობასთან მიზანშეწონილი არა არის, რადგან ამ დროს მცირდება სამედიობა და კონსტრუქცია მოუქნელი ხდება. ამიტომ სახაზო ბმმ-ის შექვამტარების ბოლოებზე წინასწარ ამონტაჟებენ ოპტიკურ დამაბოლოებელ ელემენტებს (კონექტორებს), შემდგომ კი უერთებენ მათ გადასვლის როზეტებს, რომლებიც განლაგებულია გამანაწილებელ პანელ-ყუთში. ამ ოპერაციას ტ ე რ მ ი ნ ი რ ე ბ ა ეწოდება. ტერმინირების შემდეგ გარე ვაყვანილობის კაბელი ქსელურ მოწყობილობას უერთდება ოპტიკური შემაერთებელი ზონარებით.

განასხვავებენ ბმმ ტერმინირების სამ სახეს:

- უ შ უ ა ლ ო ტ ე რ მ ი ნ ი რ ე ბ ა. ამ დროს სწარმოებს სახაზო ბმმ-ის შექვამტარების ბოლოებზე კონექტორების დამაგრება, რომლებიც შემდგომ უერთდება გადასვლის როზეტებს (ნახ.52.ა)
- ტ ე რ მ ი ნ ი რ ე ბ ა შ ე დ უ ღ ე ბ ი თ უ უ ქ გ ა მ ტ ა რ ე ბ ი ს წ ი ნ ა ს წ ა რ მ ო მ შ ა დ ე ბ უ ლ ი ბ ო ლ ო ე ბ ი თ. ამ დროს სწარმოებს სახაზო ბმმ-ის შექვამტარების შედულება წინასწარ გამზადებულ დაახლოებით 1 მ სიგრძის შექვამტარებთან, ეწ. pig-tail-ებთან, რომელთა მქონე ბოლოებზე და-მაგრებულია კონექტორები. მათი საშუალებით შექვამტარები უერთდება გადასვლის როზეტებს (ნახ.52.ბ). შედულების წერტილები თავსდება სპლიის-ფირფიტაში, რომელიც განლაგებულია გამანაწილებელ პანელ-ყუთში გადასვლის როზეტებთან ერთად.
- ტ ე რ მ ი ნ ი რ ე ბ ა ს ა დ გ უ რ ი ს ბ მ მ ი ს უ უ ქ გ ა მ ტ ა რ ე ბ თ ა ნ შ ე დ უ ღ ე ბ ი თ. ასეთ ტერმინირებას აწარმოებენ შექვამტარების დიდი კონცენტრაციის მქონე ოპტიკურ კვანძებში. ამ შემთხვევაში სპლიის-ფირფიტების განსვლაგებლად შეიძლება გამოყოფილი იქნას ცალკე მოწყობილობა (სპლიის-პანელი, სპლიის-კარადა). სახაზო ბმმ-ის შექვამტარებს აღულებენ შიგა ვაყვანილობის კაბელის (სადგურის ბმმ) შექვამტარებთან (ნახ.52.გ), რომელთა სიგრძე შეიძლება იცვლებოდეს რამდენიმე მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე.

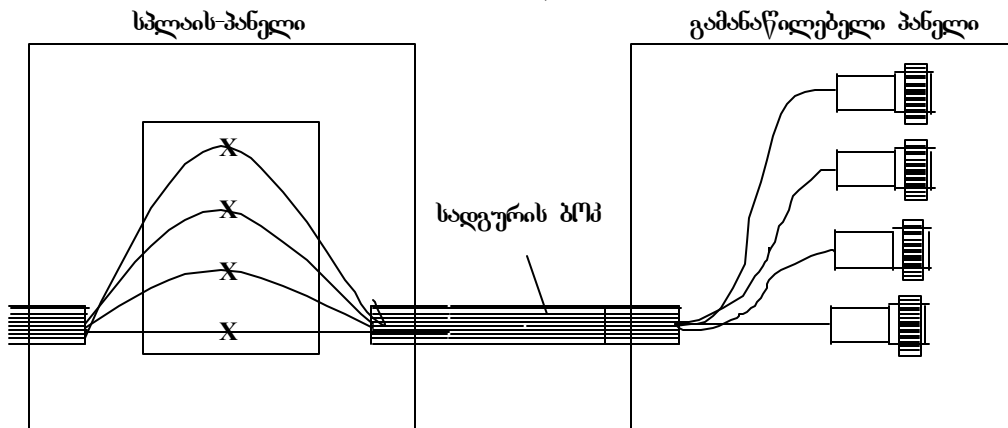


ა)



სპლაისებთან შეთავსებული გამანაწილებელი პანელი

ბ)



გ)

შუქამტარების შედგეობა არ საჭიროებს მონტაჟის ადგილზე დიდი რაოდენობის ინსტრუმენტებსა და მასალებს, რასაც ადგილი აქვს უშუალო ტერმინირების დროს, ვარდა ამისა, შედგეობის პროცესი ნაკლებ დროს მოითხოვს. ამიტომ ტერმინირების ბოლო ორი მეთოდი პრაქტიკაში უფრო სწრაფად გამოიყენება.

ტერმინირების შემდეგ აწარმოებენ სასაზო ბმ-თან ქსელის აპარატურის მიერთებას. ამ მიზნით გამოიყენება ერთ ან ორშუქამტარიანი ოპტიკური ზონარები ან მრავალშუქამტარიანი სასადგურო ბმ.

### 3.8.2. ოპტიკური კვანძი

ოპტიკური კვანძი წარმოადგენს ცენტრს, სადაც ხდება გარე და შიგა ბმ-ების სხვადასხვა ტიპის შეუღლებები. მას წაუყენება ორი ძირითადი მოთხოვნა - საიმედოება და მოქნილობა. შესრულებული ფუნქციების მინიმალური ოპტიკური კვანძები იყოფა ოპტიკურ გამანაწილებელ მოწყობილობებად და ოპტიკურ კროსირების მოწყობილობებად.

#### 3.8.2.1. ოპტიკური გამანაწილებელი მოწყობილობები

ოპტიკურ გამანაწილებელ მოწყობილობებს ამონტაჟებენ იქ, სადაც არ არის საჭირო შუქამტარების როული კომუტაცია, მაგალითად, დაშორებულ ქსელურ კვანძში ან ცენტრალურ კვანძში, რომელშიც შუქამტარების მცირე კონცენტრაციაა. როგორც წესი, ასეთ გამანაწილებლებს იყენებენ დაწესებულებებში ლოკალური ქსელების ბოჭკოვან-ოპტიკური მაგისტრალების მშენებლობისას ან ოპტიკური სატელეკომუნიკაციო სისტემის დაშორებული კვანძის ორგანიზებისას.

ოპტიკურ გამანაწილებელ მოწყობილობებს მიეკუთვნება ოპტიკური გამანაწილებელი ყუთები, ოპტიკური გამანაწილებელი პანელები და ოპტიკური გამანაწილებელი კარადები.

ოპტიკური გამანაწილებელი ყუთები და ასრულებს გარე ბმ-ის შუქამტარების ტერმინირების ფუნქციას, რომლის დროსაც წარმოებს წინასწარ გამზადებული გარე კაბელისა და pig-tail-ების შუქამტარების შედგეობა. შედგეობის წერტილები დაცულია სპეციალურ ბუდეებში ჩამაგრებული დამცავი ჰილზებით. pig-tail-ები შიგა მხრიდან უერთდება ყუთის გვერდით პანელზე განლაგებულ გადასვლის როსეტს. შუქამტარების ზედმეტი ნაწილები თავსდება სპლაის-ფირფიტაში.

ოპტიკური გამანაწილებელი ყუთების ნაკლია ოპტიკური ზონარების სუსტი დაცულობა, პრობლემები სისტემის გაფართოების შემთხვევაში, აგრეთვე - ის ფაქტი, რომ ყველა ყუთს არ გააჩნია შუქამტარების ზედმეტი ნაწილების განთავსების საშუალება. ოპტიკური გამანაწილებელი ყუთების უპირატესობებია კონსტრუქციის სიმარტივე და დაბალი ღირებულება. ვარდა ამისა, მათი დამაგრებისას არ არის საჭირო სპეციალური სამონტაჟო დგარი.

ოპტიკური გამანაწილებელი კარადები და ასრულებს სპეციალურ დგარზე ასეთი კონსტრუქცია განსაკუთრებით მოხერხებულია მაშინ, როცა მიმღებ-გადამცემი მოწყობილობა იგივე დგარზე განლაგებული, რადგან ამ შემთხვევაში მარტივდება ოპტიკური ზონარების მიერთება. ამასთან მოწყობილობის კონცენტრირება ერთ დგარში ზრდის სისტემის საიმედოებას და აიოლებს მის მომსახურებას.

ოპტიკური გამანაწილებელი პანელები შეიძლება იყოს როგორც სპლაის-მოდულით შეთავსებული, ისე განმსოლოებული. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში სპლაის-ბოქსი, რომლიდანაც სასადგურო კაბელი მისგან მიემართება პანელისაკენ, შეიძლება განლაგდეს როგორც იგივე დგარის სხვა ნაწილში, ისე - სხვა შენობაში.

რიგ შემთხვევებში ოპტიკური გამანაწილებელი პანელი მიეწოდება მომხმარებელს ბმ კოჭასთან ერთად. ამ დროს შესაძლოა კონსტრუქციის ორი ვარიანტი: სტანდარტული და მოდიფიცირებული. პირველი მათგანის დროს პანელი მაგრდება დგარზე იქამდე, სანამ იწყება კაბელის გაშლა, მეორე შემთხვევაში კი იგი მაგრდება კოჭაზე და ბრუნავს მასთან ერთად კაბელის გაშლის პროცესში. მოდიფიცირებული ვარიანტის დროს პანელი შეიძლება მოისწას კოჭიდან და დამაგრდეს დგარზე, მაგრამ მსოლოდ იმის შემდეგ, როცა კაბელი მოლიანად გაიშლება.

ოპტიკური კროსირების მოწყობილობები დანიშნულებათ ერთი ან რამდენიმე გარე ოპტიკური კაბელის შუქამტარების ტერმინირება. წარმოება უშვებს როგორც კედელზე ჩამოსაკიდებელ, ისე - იატაკზე დასადგმელ კარადებს. კარადები განსწავადება ოპტიკური გამანაწილებელი ყუთებისგან დიდი ზომით და შუქამტარების გაცილებით დიდი ტევადობით. მათ გააჩნია კარები და შეიძლება დაიკეტოს გასაღებით.

#### 3.8.2.2. ოპტიკური კროსირების მოწყობილობები

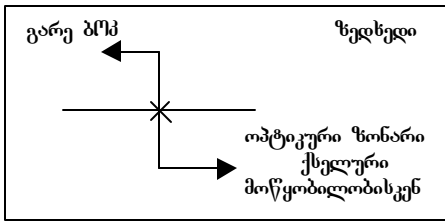
გარე გაყვანილობის ბმ-დან შემომავალი შუქამტარების დიდი რაოდენობის შემკველი ოპტიკური კვანძების აგებისას (>100) ოპტიკური გამანაწილებელი მოწყობილობების მაგიერ უფრო მიზანშეწონილია სპეციალიზირებული კროსირების მოწყობილობების გამოყენება. ტევადობის მინიმალური იყოფა საშუალო

სიმკვრივის (გარე შუქამტარების რიცხვი 120-500) და მაღალი (ზემაღალი) სიმკვრივის (გარე შუქამტარების რიცხვი >500) მოწყობილობებად.

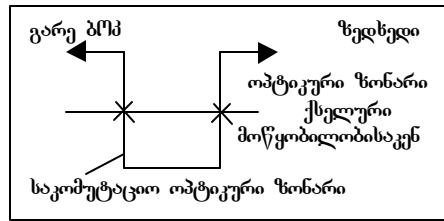
ოპტიკური კროსირების მოწყობილობების საშუალებით შეიძლება ორგანიზებულ იქნას ინტერკონექტური და კროს-კონექტური შეერთებები.

ინტერკონექტური შეერთების დროს გარე ბმ-ის ყველა შუქამტარი ტერმინირდება და უერთდება ოპტიკური მოდულების გადასვლის როზეტებს მოწყობილობის უკანა მხრიდან, ქსელის მოწყობილობიდან გამომავალი ოპტიკური ზონარები კი წინა მხრიდან (ნახ. 53,ა). ასეთი შეერთების გამოყენება მიზანშეწონილია შედარებით მცირე კვანძებში, რომელთა საიმედოებას მკაცრი მოთხოვნები არ წაეყენება. მაგრამ შემომავალი შუქამტარების დიდი კონცენტრაციის დროს, როდესაც საჭირო ხდება შუქამტარების რეგულარული ტესტირება, უწყვეტი მონიტორინგი, დაზიანებების სწრაფი აღმოჩენა და სსგ. უფრო მიზანშეწონილია კროს-კონექტურ შეერთებაზე დამყარებული ოპტიკური კვანძების გამოყენება.

კროს-კონექტური შეერთებისას გარე და შიდა ბმ-ის ყველა შუქამტარი, აგრეთვე ქსელიდან მოყვანილი ყველა ოპტიკური ზონარი და ტერმინირებული ბმ უერთდება გადასვლის როზეტს მოწყობილობის უკანა მხრიდან. ყველა ამ შუქამტარის ბოლოების კომუტაცია (კროს-კომუტაცია) წარმოებს წინა მხარეზე დამატებითი საკომუტაციო ზონარების საშუალებით (ნახ. 52,ბ).



ა)



ბ)

ნახ.53

კროს-კონექტური შეერთების ძირითადი უპირატესობებია:

- სისტემის გაფართოება შუქამტარების დაზიანების რისკის გარეშე;
- ძირითადი შუქამტარების მიერთება მოწყობილობის უკანა მხარესთან ზრდის მათ დაცულობას, რადგან მათთან შესება არ ხდება;
- მარტივდება ოპერაციები სააგარიო და გაუთვალისწინებელ შემთხვევებში.

ოპტიკური კროსირების მოწყობილობები, რომლებიც ორიენტირებულია კროს-კონექტურ შეერთებაზე, შეიძლება აგებულ იქნას როგორც ნულოვანი დონიდან (ერთი ან რამდენიმე დგარის დამონტაჟება), ისე იმ კვანძის მოდერნიზაციით, რომელშიც ადრე უკვე იყო გამოყენებული ოპტიკური გამანაწილებელი პანელები ინტერკონექტური შეერთებით.

ნულოვანი დონიდან აგების შემთხვევაში დგარზე მაგრდება ოპტიკური გამანაწილებელი პანელები, რომელთაც უკანა მხრიდან უერთდება სასაზო და სასადგურო ბმ-ების შუქამტარების დაბოლოებები.

მოდერნიზაცია ტარდება სამ ეტაპად. პირველ ეტაპზე ემატება პანელები გადასვლის როზეტებით, რითაც იქმნება საჭირო კროსირების ველი. მეორე ეტაპზე წარმოებს მიმღებ-გადასცემი მოწყობილობიდან გამომავალი ოპტიკური ზონარების გადართვა წინა მხრიდან უკანა მხარეზე ახლად დაყენებულ როზეტებზე. მესამე ეტაპზე ხდება კროსირების ველზე დამატებითი ზონარების მიერთება და ამით უწყვეტი ოპტიკური არხების აღდგენა. სპლაის-ბოქსები შეიძლება განლაგდეს იგივე დგარებზე ან, თუ შუქამტარების კონცენტრაცია დიდია, ცალკე სპლაის-მოდულში.

ელექტრონოპტიკური სისტემების  
გარდაამტანელი

კავშირგაბმულობის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (ბმონ) დასაწყისსა და ბოლოში, აგრეთვე - მის გასწვრივ გარკვეული მონაკვეთების შემდეგ განლაგდება სწავლასწავ ტიპის ელექტრონოპტიკური კომპონენტები: ელექტრონოპტიკური და ოპტოელექტრონიკული მოდულები, რეგენერატორები და ოპტიკური მაძლიერებლები.

4.1. ელექტრონოპტიკური მოდულები

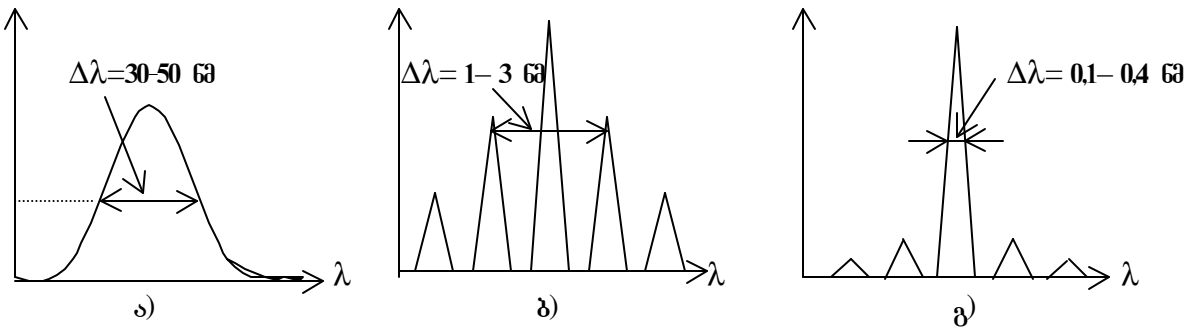
ელექტრონოპტიკური მოდული (მმ) დანიშნულებათა შექცამტარში გადასაცემი სინათლის სხივის ფორმირება, მისი ინტენსიობის მოდულირება ელექტრული სიგნალით (ელექტრული სიგნალის გარდაქმნა ოპტიკურად) და შექცამტარში შეყვანა.

მმ-ის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს გამოსხივების წყარო, რომელსაც წაყენება შემდეგი მოთხოვნები:

- გამოსხივება უნდა წარმოებდეს შექცამტარის გამჭვირვალების ერთ-ერთი ფანჯრის ტალღის სიგრძეზე (850 ნმ, 1300 ნმ ან 1550 ნმ);
- გამოსხივების წყარო უნდა უძლებდეს მოდულაციის საჭირო სისწორეს ინფორმაციის გადაცემის საჭირო სიჩქარის უზრუნველსაყოფად;
- გამოსხივების წყარო ეფექტური უნდა იყოს, ე.ი. გამოსხივება შეყვანილ უნდა იქნას შექცამტარში მინიმალური დანაკარგებით;
- გამოსხივების წყაროს უნდა გააჩნდეს საკმაო სიმძლავრე, რათა შესაძლებელი იყოს სიგნალის გადაცემა დიდ მანძილებზე, მაგრამ არა იმდენად დიდი, რომ ეს სიმძლავრე იწვევდეს არაწრფივ დამახინჯებებს ან აზიანებდეს შექცამტარსა და ოპტიკურ მიმღებს;
- გამოსხივების წყაროს მუშაობაზე გავლენას არ უნდა ახდენდეს ტემპერატურის ცვლილებები;
- გამოსხივების წყაროს ღირებულება დაბალი უნდა იყოს.

აღნიშნულ მოთხოვნებს ყველაზე უკეთ აკმაყოფილებს გამოსხივების წყაროს ორი ტიპი - შუქდიოდო და ნახევარგამტარული დიოდო (ინექციური ლაზერი). ორივე წარმოადგენს ნახევარგამტარულ სელსაწყოს, რომელშიც მასალის სახით ძირითადად გამოიყენება ელემენტთა პერიოდული სისტემის III,IV და V ჯგუფის ელემენტების ოთხკომპონენტიანი შენაერთები, მაგალითად - InGaAsP, GaAlAsP.

ძირითადი განსხვავება ამ ორ წყაროს შორის მდგომარეობს გამოსხივების სპექტრის სიგანეში. 54-ე ნახაზზე შედარებისათვის მოყვანილია შუქდიოდისა და ლაზერული დიოდის გამოსხივების სპექტრები. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, შუქდიოდს გააჩნია გამოსხივების გაცილებით ფართო სპექტრი (ნახ.54,ა), ვიდრე მრავალმოდოლიან და ერთმოდოლიან ლაზერულ დიოდებს (შესაბამისად - ნახ.54,ბ და ნახ.54,გ). შუქდიოდისა და



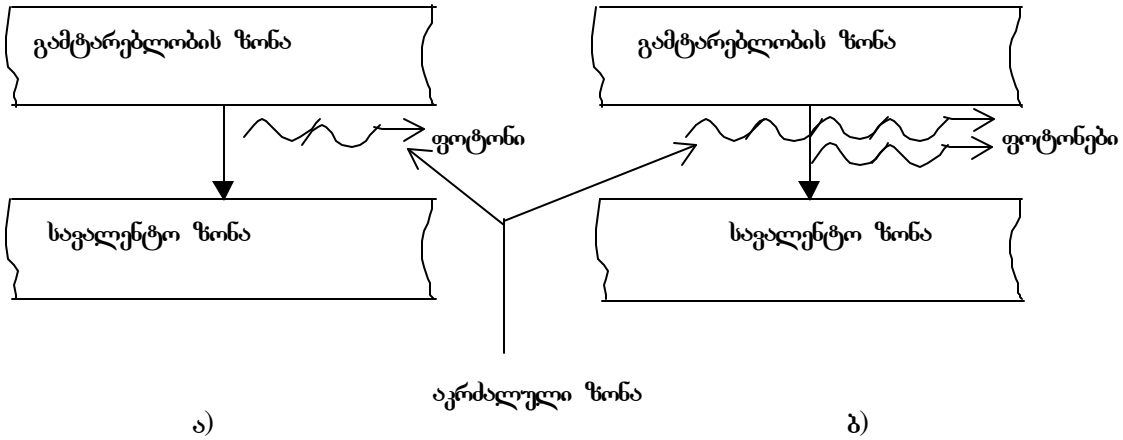
ნახ.54

ლაზერული დიოდის გამოსხივების სპექტრების ფორმა განპირობებულია მათში მიმდინარე ელექტრონოპტიკური ურთიერთქმედებების სწავლასწავ სახით. სასელდობრ, შუქდიოდს ახასიათებს სინათლის სპონტანური გამოსხივება, ლაზერულ დიოდს კი - ინდუცირებული. გამოსხივებათა ამ ტიპების არსი ილუსტრირებულია 55-ე ნახაზზე.

სპონტანურ გამოსხივებას, ანუ მუსტის ქარბი მატარებლების გამოსხივებით რეკომბინაციას, ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც გამტარებლობის ზონაში ელექტრონების რიცხვი აღემატება მათ რიცხვს

გაწონასწორებული მდგომარეობის დროს. ასეთ შემთხვევაში ელექტრონების ნაწილი სპონტანურად უბრუნდება სავალენტო ზონის სფეროებს, ხოლო ნახევარგამტარიდან გამოსხივდება თითო ფოტონი ყოველ ელექტრონზე (ნახ.55,ა).

ინდივიდუალური (იძულებითი) გამოსხივება მიიღება მაშინ, როდესაც ნახევარგამტარში არსებული ფოტონები აღაგზნებენ მუხტის ქარბ მატარებლებს იმ დონემდე, რომ ჩნდება გამოსხივებითი



ნახ.55

რეკომბინაცია, ე.ი. აღაგზნებენ ფოტონების გამოსხივებას (ნახ.55,ბ). მუხტის მატარებლების ინექციის პროცესს ფოტონების შემდგომი გამოსხივებით ეწოდება ინდივიდუალური უმინუსიანი ემისიონი.

შუქლიოდიში ელექტრონობტიკური ვარდაქმნის ეფექტურობა აღიწერება გარეკვანტური გამოსხივების რიცხვის ფარდობას P-N გადასასვლელით შეყვანილი მუხტის მატარებლების რიცხვთან. ეს ფარდობა მკარდება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, ამიტომ შუქლიოდების დამზადების დროს ითვალისწინებენ კონსტრუქციულ ელემენტებს, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოს სითბოს მოშორება რეკომბინაციის ზონიდან.

შუქლიოდის მუშაობის ერთერთ მანსიათებელს წარმოადგენს გამოსხივებითი სიჩქარე, რომელიც დამოკიდებულია აგზნებული ზონის E სიგანეზე შემდეგნაირად:

$$\lambda = 1,24/E.$$

შუქამტარის გამოსხივების სპექტრის სიგანე  $\Delta\lambda$  პროპორციულია ტალღის სიგრძის კვადრატის, ამიტომ იგი საგრძობლად იზრდება შედარებით გრძელი ტალღების დიაპაზონში.

შუქლიოდის მუშაობის მეორე მნიშვნელოვან მანსიათებელს წარმოადგენს დროის მუდმივა, რომელიც გამოსახავს დიოდის ინტენსივობას. აღნიშნული სიდიდე გვიჩვენებს მუხტის ქარბი მატარებლების სიციცხლის საშუალო დროს დენის გამორთვის შემდეგ. ამ დროის ტიპური მინიმალური მნიშვნელობები მდებარეობს რამდენიმე ნანოწამის ფარგლებში.

შუქლიოდისგან განსხვავებით ძველი ლაზერი შეიცავს ობტიკურ რეზონატორს. იგი წარმოადგენს ორ ბრტყელპარალელურ ნახევარდამჭვირვალე სარკეს, რომლის საშუალებითაც ხდება გამტარებლურ ზონაში გენერირებული მუხტის მატარებლების დიდი რაოდენობით გამოწვეული ფოტონების ძლიერი იძულებითი გამოსხივების გაძლიერება. ინდუცირებული ხასიათის გამო ლაზერული დიოდის გამოსხივება სივრცულად კოპერენტულია, ამიტომ მისი მიმართულების დიაგრამა გაცილებით ვიწროა შუქლიოდის დიაგრამასთან შედარებით.

პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება ლაზერული დიოდების ოთხი ტიპი: ფაბრი-პეროტის რეზონატორი (FP-ლაზერები), განაწილებული უკუკავშირის (DFB-ლაზერები), განაწილებული ბრეგის არეკლით (DBR-ლაზერები) და გარე რეზონატორი (EC-ლაზერები).

FP-ლაზერები არ ხასიათდება მაღალი ტექნიკური მანსიათებლებით, მაგრამ სამაგიეროდ მათ აქვს მარტივი კონსტრუქცია და დაბალი ღირებულება, ამიტომ იმ შემთხვევაში, როცა არ არის საჭირო სიგნალების გადაცემა ძალზე მაღალი სიჩქარით, ასეთი ლაზერების გამოყენება საკმაოდ ეფექტურია.

DFB და DBR-ლაზერები უფრო კარგი მანსიათებლებით ხასიათდება, მაგრამ მათი დამზადების ტექნოლოგია რთულია და შესაბამისად ღირებულება - მაღალი.

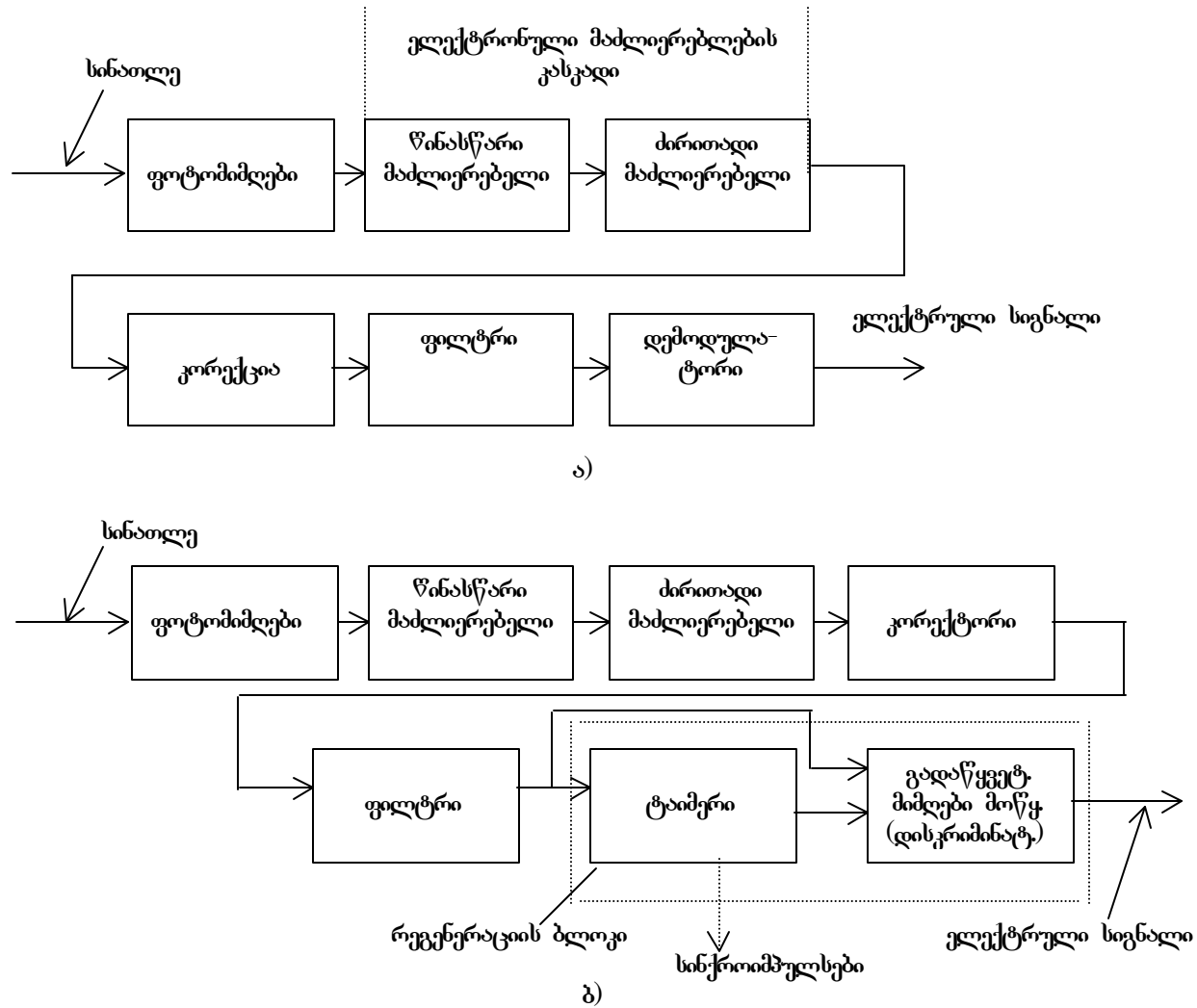
EC-ლაზერებს DFB და DBR-ლაზერების მსგავსი მახასიათებლები გააჩნია. გარდა ამისა, მათ კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია გამოსხივებული ტალღის სიგრძის მდორედ ცვალებადობის შესაძლებლობა, ამიტომ ასეთი ლაზერები ძირითადად გამოიყენება ტალღური დამკვირვების აპარატურასა და მპონ გამწვან აპარატურაში.

გამოსხივების წყაროების სხვა მახასიათებლებს მიეკუთვნება სწრაფქმედება და სავიზუალური მკვეთრობა, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება დეგრადაციითა და მტყუვნებით სავალდროით.

სწრაფქმედება განისაზღვრება მოდულაციის მაქსიმალური სისწიროთ. იგი წარმოადგენს შესავალი ელექტრონიკის იმპულსების სისწიროს, რომლის დროსაც გამოსავალი ოპტიკური სიგნალი რჩება თავისი ამპლიტუდის 0,1 და 0,9 დონეებს შორის. შუქლოდებისათვის ამ სისწიროს მნიშვნელობა აღწევს 200 მპკ ლაზერული დიოდებისათვის კი იგი ვაცილებით მაღალია - რამდენიმე გპკ.

მომექსლოატაციის განმავლობაში მისი მახასიათებლები თანდათან უარესდება - მცირდება გამოსხივების სიმძლავრე და, ბოლოს, იგი მწყობრიდან გამოდის. ეს გამოწვეულია ნაწევარგამტარული ფენის დეგრადაციით. გამომსხივებლის საიმედოება განისაზღვრება მტყუვნების საშუალო დროით ან მტყუვნებათა ინტენსიობით. ლაზერულ დიოდებს, რომლებსაც წარმოება უშვებდა ათიოდე წლის წინ, გააჩნდა ვაცილებით უარესი საიმედოება შუქლოდებთან შედარებით, მაგრამ დღეისათვის ეს განსხვავება მინიმუმამდეა დაყვანილი. საშუალო დრო მტყუვნებებს შორის ორივე ტიპის გამომსხივებლებისათვის დაახლოებით შეადგენს 5000 საათს (5-8 წელი).

როგორც აღნიშნული იყო, გამომსხივებელი წარმოადგენს მომის ძირითად შემადგენელ ნაწილს, მაგრამ ოპტიკური სიგნალების გადაცემისათვის იგი საკმარისი არ არის. მომის ნებისმიერ კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია სპეციალური დამკერი, რომლითაც მაგრდება მოდულის შემადგენელი ელემენტები - გამომსხივებელი, ელექტრონიკის ინტერფეისის კვანძი და შუქგამტართან შეერთების ადგილი. ლაზერული



დიოდების მნიშვნელოვან ელემენტს წარმოადგენს დატუმბვის დენის წრედი და ტემპერატურის კონტროლის სისტემა. როგორც ლაზერულ სისტემებში იყენებენ ოპტიკური სიგნალის მონიტორინგის კვანძს. შესაძლოა სხვა დამატებითი დეტალების არსებობაც.

#### 4.2. ოპტოელექტრონული მოდელები

ოპტოელექტრონიკის (ოპტოელექტრონიკა) დანიშნულებაა შექცამტარიდან მიღებული ოპტიკური სიგნალის გარდაქმნა ელექტროულ სიგნალად, რომლის დამუშავება შემდგომ სდება ელექტრონული მოწყობილობებით.

ოპტოელექტრონიკის ძირითად ფუნქციურ ელემენტებს წარმოადგენს:

- ფოტომომენტები, რომელიც გარდაქმნის ოპტიკურ სიგნალს ელექტროულ სიგნალად;
- ელექტროული მამდიერებლების კასკადი, რომელშიც სდება ფოტომომენტების გამოსავალი სიგნალის გაძლიერება;
- დემოდულატორი, რომელიც აღადგენს სიგნალის საწყის ფორმას.

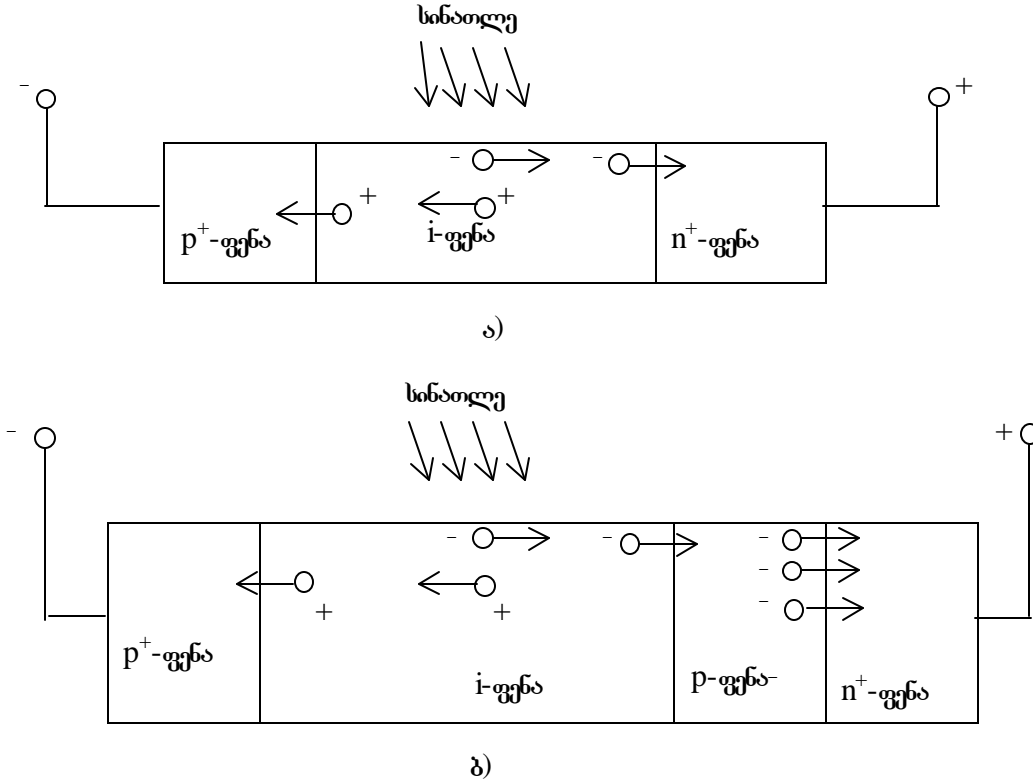
56-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ანალოგური (ა) და ციფრული (ბ) ოპტოელექტრონიკის ფუნქციური ელემენტები. ანალოგური ოპტოელექტრონიკის როგორც შესასვლელი, ისე გამოსასვლელი სიგნალები ანალოგურია. მათ უნდა ახასიათებდეს სიგნალის გარდაქმნისა და გაძლიერების მაღალი წრფივობა და შეტანილი ხმაურების მცირე სიდიდე. ციფრულ ოპტოელექტრონიკაში ამ თვალსაზრისით ასეთი მკაცრი მოთხოვნები არ წაყენება, რადგან სასარგებლო სიგნალის გამოყოფა აქ სდება ხმაურის მაღალი დონის დროსაც. ციფრულ ოპტოელექტრონიკის ერთერთ მთავარ უმარადგენელ ბლოკს წარმოადგენს გადაწყვეტილების მიმღები კვანძი ანუ დისკრიმინატორი, რომელიც განსაზღვრავს მიღებული სიმბოლოების პოლარობას.

ფოტომომენტები, რომელიც წარმოადგენს ოპტოელექტრონიკის ძირითად ელემენტს, როგორც წესი, მზადდება ნახევარგამტარული მასალისაგან. მისი მუშაობის პრინციპი აგებულია შინაგანი ფოტოეფექტის მოვლენაზე, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს: სავალენტო ზონაში შეყვანილი ფოტონი (სინათლის კვანძი) გადასცემს თავის ენერგიას სავალენტო ზონის ელექტრონს, რის შედეგადაც ეს უკანასკნელი გადაეა უფრო მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალის მქონე გამტარებლობის ზონაში, ამ დროს ფოტონი ქრება, ელექტრონი კი ტოვებს სავალენტო ზონაში სვრელს. ასეთ ელექტრონოპტიკურ ურთიერთქმედებას შოტკი-ბარეტის ეფექტი ეწოდება. ამგვარად, შოტკი-ბარეტის შედეგად ნახევარგამტარში თავისუფლდება მუხტის მატარებლები, რომლებიც ელექტროული პოტენციალის არსებობის შემთხვევაში ქმნიან ელექტროულ დენს. ეს უკანასკნელი განპირობებულია ელექტრონების მოძრაობით გამტარებლობის ზონაში და სვრელების მოძრაობით სავალენტო ზონაში. ნახევარგამტარში გენერირებული ელექტრონულ-სვრელური წყვილების ეფექტური რეგისტრირება უზრუნველყოფა მუხტის მატარებლების განმსოლოებით, რისთვისაც გამოიყენება კონსტრუქცია, რომელსაც ეწოდება ფოტოდიოდის ან კმონში გამოყენებულ ფოტომომენტებში ყველაზე მეტი გავრცელება პოვა P-i-n ტიპის და სვავის ბრმა ფოტოდიოდებმა (სვვ) და ფოტოტრანსისტო-რებმა.

P-i-n ტიპის ფოტოდიოდში ძლიერად ლევირებულ  $p^+$  და  $n^+$  ფენებს შორის განლაგებულია i-ფენა, რომელიც წარმოადგენს n - ტიპის სუსტად ლევირებულ ნახევარგამტარს (ნახ.57,ა). i-ფენას აგრეთვე გადარბებულს უწოდებენ, რადგან მასში არ არის მუხტის თავისუფალი მატარებლები. P-i-n სტრუქტურაზე მოდებულია ძაბვა. განაპირა ფენების ძლიერი ლევირება მათ გამტარებად აქცევს და ელექტროული ველის მაქსიმალური მნიშვნელობა იქმნება i-ფენაში, მაგრამ რადგან ამ ფენაში მუხტის თავისუფალი მატარებლები არ არსებობს, იგი ვანიცდის მხოლოდ პოლარიზაციას. i-ფენაზე სინათლის ნაკადის დაცემისას მასში წარმოიქმნება თავისუფალი ელექტრონულ-სვრელური წყვილები, რომელთა მუხტები ელექტროული ველის ზეგავლენით სწრაფად განმსოლოვდება და იწყებს მოძრაობას საპირისპირო მიმართულებით თავისი ელექტროდებისაკენ. შედეგად წარმოიქმნება ელექტროული დენი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეფექტურია გამოსხივების შემოქმედება მხოლოდ i-ფენასთან, რადგან ფოტონების  $p^+$  ან  $n^+$  ფენებში მოსვლისას წარმოიქმნება დიფუზიური დენი, რომელსაც გააჩნია დიდი ინერციულობა, ეს კი იწვევს სწრაფქმედების გაუარესებას. ამიტომ  $p^+$  ან  $n^+$  ფენები რაც შეიძლება თხელი უნდა იყოს, ხოლო გადარბებული შრე - ფართო, რათა მან სრულად შთანთქმას დაცემული სინათლე. სვვ (ნახ.57,ბ) ჩვეულებრივი ფოტოდიოდისაგან განსხვავდება იმით, რომ მასში სორციელებს სიგნალის შიგა გაძლიერება, რომელიც დამყარებულია სიგნალის ზეგავისებურ ელექტრონულ გამრავლებაზე. ამ მიზნით სვვ-ს გააჩნია დამატებითი P-ფენა (ფენების სტრუქტურა -  $p^+ - i - p - n^+$ ), რომელსაც ყველა ფენაზე მეტი წინაღობა და, აქედან გამომდინარე - ელექტროული ველის დაძაბულობა - გააჩნია. ამ ველის შემოქმედებით i-ფენიდან P-ფენაში გადასული თავისუფალი ელექტრონები იღებენ დამატებით აჩქარებას და აგროვებენ ენერგიას, რომელიც საკმარისია სხვა ელექტრონების სავალენტო ზონიდან ამოსაგდებად და გამტარებლურ ზონაში გადასაყვანად. ამ პროცესს ეწოდება პირველადი ფოტოდიოდის ზეგავისებრი გაძლიერება ანუ

გამრავლება. გამრავლების კოეფიციენტი რამდენიმე ათეულს აღწევს, ამიტომ მგრძობიარობა დენის მიმართ ზმლ-ს უფრო მაღალი აქვს, ვიდრე p-i-n ფოტოდიოდს.



ნახ.57

ზმლ ხასიათდება მაღალი სწრაფქმედებით, მაგრამ ზეგვისბერი დენის შემთხვევითი ხასიათი იწვევს სმაურს, რომელიც ძლიერდება დაახლოებით გამრავლების კოეფიციენტის კვადრატის პროპორციულად (იმ დროს, როცა სასარგებლო სიგნალი ძლიერდება ამ კოეფიციენტის პროპორციულად). ამიტომ ირჩევენ გამრავლების კოეფიციენტის ოპტიმალურ სიდიდეს 30-100 ფარგლებში.

ზმლ საქიროებს უფრო მაღალ მუშა ძაბვას p-i-n ფოტოდიოდთან შედარებით, რომლის გამოიმუშავება სდება სპეციალური ელექტრონიკის წრედით. გარდა ამისა, ზმლ ასახიათებს გამრავლების კოეფიციენტის მაღალი ტემპერატურული მგრძობიარობა, რაც იწვევს თერმოსტაბილიზაციის სისტემის გამოყენების აუცილებლობას.

ფოტომიმდებები ხასიათდება შემდეგი ტექნიკური მახასიათებლებით:

1. მ გ რ ძ თ ბ ი ა რ თ ბ ა დ ე ნ ი ს მ ი მ ა რ თ. იგი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$S_{\text{გ}} = ? - I_{\text{გ}} / P(\lambda) \quad (?) \text{წიგნში გვ 81 ინახოს ორიგინალში!}$$

სადაც  $I_{\text{გ}}$  არის ფოტოდენი, ხოლო  $P(\lambda)$  - გამოსხივების სრული ოპტიკური სიმძლავრე  $\lambda$  ტალღის სიგრძეზე.

2. კ ვ ა ნ ტ უ რ ი ე ფ ე ქ ტ უ რ თ ბ ა ი. ესაა უგანზომილებო სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება დროის ერთეულში მიმდებზე ფოტონების დაცემის შედეგად წარმოქმნილი ელექტრონების რიცხვის ფარდობით ამ ფოტონების რიცხვთან. კვანტური ეფექტურობა დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიგრძეზე და ნახევარგამტარის მასალაზე.

3. ს ი ბ ნ ე ლ ი ს დ ე ნ ი  $I_r$ . იგი ჩნდება დატვირთვაში უკუწანაცვლების დროს, როდესაც ფოტოდიოდზე სინათლის ნაკადი არ ეცემა. მისი სიდიდე დამოკიდებულია ნახევარგამტარის მასალაზე, ტემპერატურაზე და ფოტომიმდების კონსტრუქციაზე. ფოტოდიოდზე სინათლის შემოქმედებისას ეს დენი ემატება სასარგებლო სიგნალის დენს.

4. ი მ პ უ ლ ს ი ს ფ რ თ ნ ტ ი ს ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი თ ბ ა. ეს არის დრო, რომელიც ესაქიროება ფოტოდიოდის გამოსავალ სიგნალს მისი მაქსიმალური მნიშვნელობის 0,1 დონიდან 0,9 დონემდე გასაზრდელად (ან პირიქით - 0,9-დან 0,1-მდე შესამცირებლად) იმ პირობით, რომ ფოტომიმდების შესასვლელზე მიეწოდება დიდი ხანგრძლიობის მკაცრად სწორკუთხა იმპულსები. თუ შიდა დაყოფნები უშუალოდ არ მოქმედებს გატარების წილის სიგანეზე, მაშინ ეს უკანასკნელი განისაზღვრება ფრონტის ხანგრძლიობით. სწავდასწავა ფოტომიმდებებს სწავდასწავა სწრაფქმედება გააჩნია. ყველაზე დიდი სწრაფქმედება ასახიათებს p-i-n ფოტოდიოდებს, ყველაზე ნაკლები - ფოტოტრანზისტორებს.

5. ხ მ ა უ რ ი ს ე კ ვ ი ვ ა ლ ე ნ ტ უ რ ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე ეს მანსიათებელი განსაზღვრავს ფოტომიმლეების შესასვლელზე ოპტიკური სიგნალის იმ მინიმალურ სიმძლავრეს, რომლის დროსაც ფარდობა სიგნალი/სელშეშლა ტოლია 1-ის. იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$P_b = I_b / S_{\text{ფ}},$$

სადაც  $I_b$  სრული სმაურის დენია. იგი წარმოადგენს ორი დენის - ხ ა ფ ა ნ ტ უ რ ი ს  $I_{\text{საფ}}$  და ჯ ო ნ ს ო - ნ ი ს ო ბ უ რ ი  $I_{\text{ჯობ}}$  - საშუალო კვადრატულ სიდიდეს:

$$I_b = (I_{\text{საფ}}^2 + I_{\text{ჯობ}}^2)^{1/2}.$$

მმონ-ში გამოყენებულ ფოტომიმლებებში  $I_{\text{საფ}} \gg I_{\text{ჯობ}}$ .

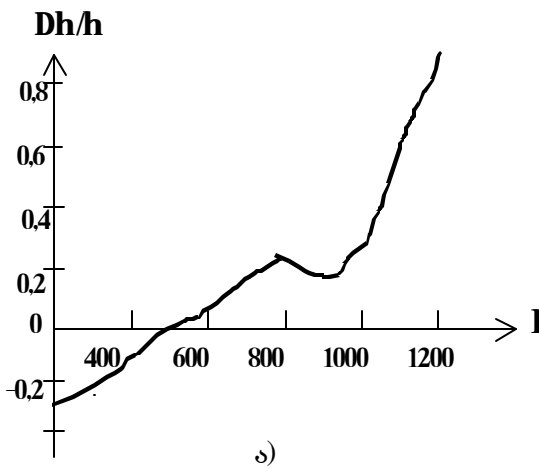
6. ფ ა რ დ ო ბ ა ს ი გ ნ ა ლ ი / ს ე ლ შ ე შ ლ ა და მ გ რ ძ ნ ო ბ ი ა რ ო ბ ა (ანალოგური სისტემებისათვის). სიგნალი/სელშეშლა ფარდობის სტანდარტული სიდიდე განსაზღვრული არ არის, რადგან ზოგ შემთხვევაში საქმროა, რომ იგი იყოს 50-60 დბ, ზოგჯერ კი საკმარისია 30დბ. თუ ცნობილია  $P_b$  სიდიდე და სიგნალი/სელშეშლა ფარდობისადმი წაყენებული მოთხოვნები, შეიძლება განსაზღვროს მინიმალური შესავალი სიგნალის სიდიდე  $P_{\text{საფ}}$ , რომლის დროსაც შეტანილი დამახინჯებები და სმაურები ჯერ კიდევ ნორმის ფარგლებში რჩება. ამ სიდიდეს ანალოგური მმონ-ის მგრძობიარობა ეწოდება.

7. შ ე ც დ ო მ ე ბ ი ს გ ა მ ო ჩ ე ნ ი ს ს ი ს შ ი რ ე და მ გ რ ძ ნ ო ბ ი ა რ ო ბ ა (ციფრული სისტემებისათვის). ციფრულ სისტემებში, რომლებშიც ინფორმაცია გადაეცემა ბიტებით, მიღებული სიგნალის წარისნი განსაზღვრება სიმბოლოების არასწორად მიღების ალბათობით, ანუ შეცდომათა გამოჩენის სისშირით - BER. იგი გამოისახება არასწორად მიღებული ბიტების რიცხვის ფარდობით მიღებული ბიტების საერთო რაოდენობასთან. კავშირგაბმულობის ციფრულ სისტემებში BER არ უნდა იყოს  $10^{-9}$ -ზე მეტი, გამოთვლითი ტექნიკის წრედებში კი მას უფრო მკაცრი მოთხოვნები წაყენება -  $10^{-12}$ .

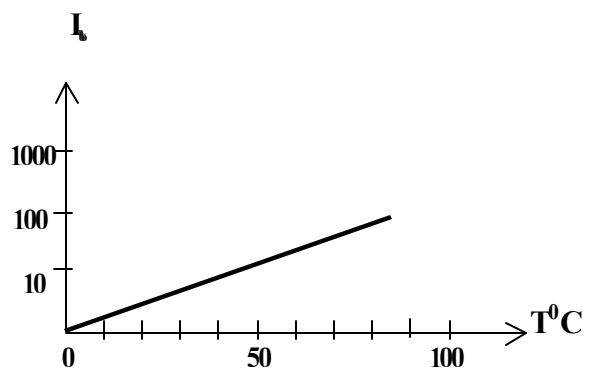
ციფრული მმონ-ის მგრძობიარობა ეწოდება შესავალი სიგნალის მინიმალურ დონეს, რომლის დროსაც მოცემული კონკრეტული სიტუაციისათვის BER ჯერ კიდევ არ აღემატება თავის მაქსიმალურად დასაშვებ მნიშვნელობას. ნორმალური მუშაობისათვის შესავალი ოპტიკური სიგნალის სიმძლავრე არ უნდა იყოს მმონ-ის მგრძობიარობაზე ნაკლები.

8. ო მ მ - ის გ ა ჯ ე რ ე ბ ა. ანალოგურ მმონ-ში ელექტრონული მადლიერებლების კასკადს გააჩნია წრფივი მადლიერების უბანი, რომელზე მუშაობისას გამოსავალი ელექტრონული სიგნალის ამპლიტუდა შესავალ ოპტიკურ სიმძლავრეზე წრფივად არის დამოკიდებული. მაგრამ ეს თანაფარდობა ირდევება, როდესაც შესავალი სიგნალი აჭარბებს გარკვეულ დონეს, როდემელსაც მმონ-ის გაჯერების დონე ეწოდება. ციფრულ მმონ-ში ეს მოვლენა იმდენად საშიში არ არის, თუმცა დიდი ამპლიტუდების მქონე ოპტიკური სიგნალების დროს შეიძლება გაჩნდეს ფოტოდენის „კუდები“, რომლებიც რჩება მაშინაც, როცა ფოტომიმლებს სიგნალი უკვე აღარ მიეწოდება. ასეთ შემთხვევაში შესავალი სიმბოლო 0, რომელიც უშუალოდ მოჰყვება სიმბოლო 1-ს. შეიძლება არასწორად იქნას აღმოჩენილი, ე.ა. ადგილი ექნება შეცდომას. ციფრული მმონ-ის გაჯერების დონე ეწოდება მაქსიმალურ შესავალ სიმძლავრეს, რომლის შემოთ BER გადააჭარბებს თავის მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას მოცემული სიტუაციისათვის.

სიმძლავრის მნიშვნელობათა დიაპაზონის მგრძობიარობიდან გაჯერებამდე ეწოდება მმონ-ის დინამიკური დიაპაზონი.



ა)



ბ)

9. მ ა ქ ს ი მ ა ლ უ რ ა დ დ ა ს ა შ ე ვ ე ბ ი უ კ უ ძ ა ბ გ ა. ესაა ძაბვა, რომლის გადაჭარბების დროს შეიძლება მოხდეს ფოტომომღების გარღვევა. ეს ძაბვა მითითებულია ფოტომომღების დოკუმენტაციაში.

10. ტ ე მ ჰ ე რ ა ტ უ რ ა თ ა მ უ შ ა დ ი ა ჰ ა ზ ო ნ ი. ფოტომომღების მუშა ტემპერატურის ცვლილება დიდ გავლენას ახდენს მის ორ მანსაიათებელზე: კვანტურ ეფექტურობაზე და სიბნელის დენზე.

ზოგად შემთხვევაში კვანტური ეფექტურობის ცვლილება ტემპერატურისგან დამოკიდებულებით საკმაოდ რთული კანონით ხდება. 58-ე ა) ნახაზზე მაგალითის სახით ნაჩვენებია ასეთი დამოკიდებულება სილიციუმის ბაზაზე აგებული ფოტოდიოდისათვის სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე. ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაღებულია ტალღის სიგრძე  $\lambda$ , ვერტიკალურზე კი - კვანტური ეფექტურობის -  $\eta$ -ს - ფარდობითი პროცენტული ცვლილება. როგორც ნახაზიდან ჩანს,  $\lambda < 600$  ნმ სიგრძის ტალღებისთვის ტემპერატურის ზრდა იწვევს კვანტური ეფექტურობის შემცირებას,  $\lambda > 600$  ნმ სიგრძის ტალღებისთვის კი - გაზრდას.

58-ე ბ ნახაზზე ნაჩვენებია სიბნელის დენის ცვალებადობის ტემპერატურისგან დამოკიდებულების მრუდი. ტემპერატურის ზრდა იწვევს თერმიული აგზნებული ელექტრონულ-სერვოლური წყვილების ექსპონენციალურ ზრდას, რაც თავის მხრივ იწვევს სიბნელის დენის ზრდას იგივე კანონით.

11. ს ა ი მ ე დ ო ბ ა. ფოტოდიოდის სწორი ექსპლოატაციის პირობებში მისი საშუალო დრო მტყუნებებს შორის მნიშვნელოვნად აღემატება იგივე სიდიდეს გამომსწვევლებისათვის.

ასლა განვიხილოთ 56-ე ნახაზზე ნაჩვენები დანარჩენი ბლოკების დანიშნულება და ფუნქციები. ფოტოდიოდის შესასვლელზე ოპტიკური სიგნალის ტიპური მნიშვნელობა შეადგენს 1-10 მკვტ-ს, გამოსასვლელი დენის სიდიდე კი - რამდენიმე მიკროამპერს. ამიტომ გამოსასვლელი სიგნალი საჭიროებს გაძლიერებას, რისთვისაც მმმ შეიცავს ელექტრონიკური მაძლიერებლების კასკადს. გაძლიერება ხდება ჯერ წინასწარ მაძლიერებელში, რომლის თავისებურებას წარმოადგენს შეტანილი ნმაურების დაბალი დონე შემდეგ კი - სიმძლავრის მაძლიერებელში.

სიგნალის გაძლიერების პროცესში იგი შეიძლება დამახინჯდეს ელექტრონიკური მაძლიერებლების კასკადში მაღალი და დაბალი სისწიერების გაძლიერების კოეფიციენტების სხვადასხვა სიდიდის გამო. სპექტრის მაღალსისწიერულ და დაბალსისწიერულ არეებში ამპლიტუდების სწორი თანაფარდობის აღსადგენად გამოიყენება სიგნალის გათანაბრების ანუ კორექტირების წრედი.

ფილტრაციის შედეგად იზრდება ფარდობა სიგნალი/ხელშეშლა, რაც მიიღწევა ნმაურის შერჩევითი (სისწიეროთა განსაზღვრულ დიაპაზონებზე) ჩახშობის საშუალებით.

ანალოგურ მმმ-ის ბოლო კვანძს წარმოადგენს დემოდულატორი, რომლის დანიშნულებაა გადაცემული ელექტრონიკური სიგნალის აღდგენა. იგივე ფუნქციას ასრულებს ციფრულ მმმ-ში რეგენერაციის ბლოკი.

რეგენერაციის ბლოკის ორი შემადგენელი ნაწილია გ ა დ ა წ ყ ვ ე ტ ი ლ ე ბ ი ს მ ი მ დ ე ბ ი მ ო წ ყ ო ბ ი ლ ო ბ ა (დისკრიმინატორი) და ტ ა ი მ ე რ ა.

დისკრიმინატორის დანიშნულებაა მიღებული იმპულსების სწორკუთხა ფორმის აღდგენა, რომელსაც ისინი კარგავს შუქმატარში გავრცელებისას დისპერსიის გამო. დისკრიმინატორს გააჩნია ზღურბლი, რომელსაც ედრება შესავალი იმპულსი. თუ მისი ამპლიტუდა აღემატება ზღურბლის სიდიდეს, მიიღება გადაწყვეტილება მის თაობაზე, რომ მიღებულია სიმბოლო 1, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი - სიმბოლო 0.

იმისთვის, რომ დისკრიმინატორის გამოსავალი იმპულსების ხანგრძლიობა მუდმივი იყოს, საჭიროა დისკრიმინატორმა მიიღოს ინფორმაცია იმპულსთა მიმდევრობის სისწიერის შესახებ ტაიმერიდან. ტაიმერის აგებულება და მოქმედების პრინციპი განისაზღვრება ციფრული სიგნალის გადაცემა-მიღების რეჟიმით, რომელიც შეიძლება ორგვარი იყოს: ს ი ნ ქ რ ო ნ უ ლ ი და ა ს ი ნ ქ რ ო ნ უ ლ ი. სინქრონიული რეჟიმის დროს უწყვეტად სწარმოებს მიმღებისა და გადაცემის ყოველი ბიტის სინქრონიზაცია. ასინქრონიული რეჟიმის დროს ინფორმაცია გადაეცემა ბიტების ორგანიზებული მიმდევრობების - პაკეტების - სახით, რომელთა შორის ხაზის დაკავება არ ხდება.

სინქრონიული რეჟიმის დროს მიმღების ტაიმერი შემოსული ციფრული მიმდევრობიდან გამოყოფს საპეციალურ სიგნალებს - სინქრონიზაციის, რომლებიც გამოიყენება დისკრიმინატორში გადაწყვეტილებების მიღების მომენტების დასაფიქსირებლად. სიგნალის მრავალჯერადი რეგენერაციის გამო შემთხვევითი დროითი შეცდომები გროვდება და მათმა სიდიდემ შეიძლება მაღალის დონეს, რომელიც თანაზომადია იმპულსის ხანგრძლიობის, რის შედეგადაც შეიძლება მოხდეს ბიტის არასწორი ინტერპრეტაცია ან დაკარგვა. ასეთ შემთხვევით დროით შეცდომებს ჯ ო ტ ე რ ი ეწოდება. მისი შემცირება შეიძლება იმპულსების სისწიერის გენერატორის მანსაიათებლების გაუმჯობესებით.

ასინქრონიულ რეჟიმში მიმღებს გააჩნია საკუთარი დამოუკიდებელი ტაიმერი. მიიღებს რა პაკეტიდან საწყის ბიტებს, ტაიმერი ააწყობს დისკრიმინატორს ისე, რომ გადაწყვეტილების მიღების მომენტი დაემთხვეს იმპულსის შუაწერტილს. მაგრამ მის გამო, რომ სხვადასხვა ტაიმერების მანსაიათებლებს შორის არსებობს განსხვავება, სხვადასხვა პაკეტების მოსვლისას აღნიშნული მომენტის მდებარეობა იმპულსის შუაწერტილის მიმართ იცვლება, ე.ი. ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს ჯოტერს. ჯოტერი განსაკუთრებით თავს იჩენს ხანგრძლივი მიღების პროცესში, ამგვარად იგი ზღუდავს პაკეტის დასაშვებ სიგრძეს.

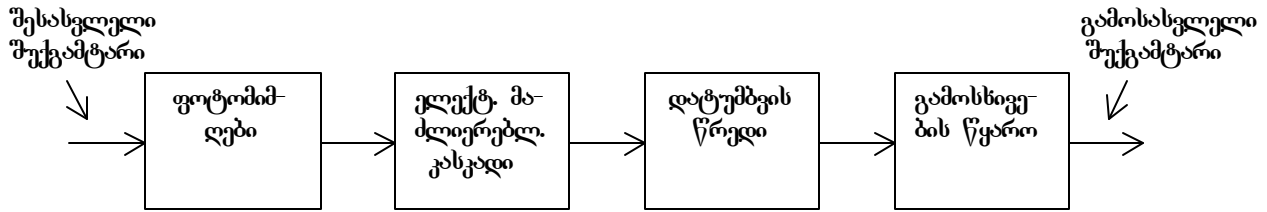
ჯიჭერის გამო მიღებული შეცდომების შემცირებისათვის სინქრონული ციფრული იერარქიის ქსელებში სდება სპეციალური დამხმარე იმპულსების გადაცემა, რომლებზეც აიწყობა მიმღების ტაიმერი, როთულ SDH ქსელებში არსებობს ერთი დამოუკიდებელი ტაიმერი, რომელიც მართავს ქსელის სსვა მოწყობილობებს.

#### 4.3. გამამეორებლები და ოპტიკური მაძლიერებლები

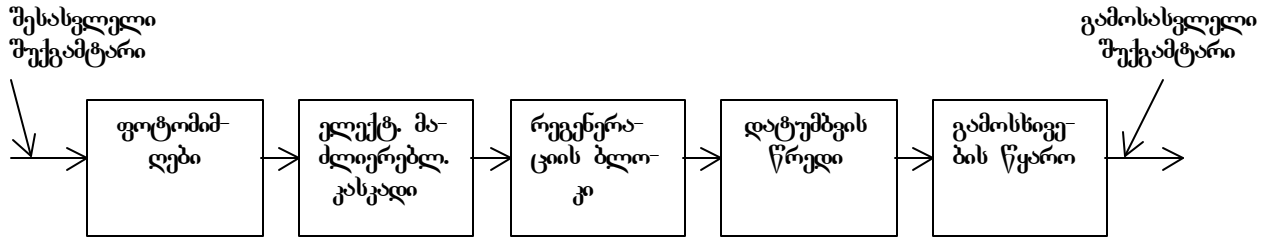
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ოპტიკური სიგნალის გაფრცვლების შესაბამისად სდება მისი მიღევა, ციფრული გადაცემის შემთხვევაში კი დამატებით - იმპულსების გაფართოება დისპერსიის გამო, რაც იწვევს მბმონ ურეტრანსლაციო უბნის სიგრძის შემცირებას. თუ გადაძვემსა და მიმღებს შორის მანძილი დასაშვებზე მეტია, მაშინ ხაზის შუალედურ წერტილებში განალაგებენ ერთ ან რამდენიმე რეტრანსლაციონს. განასწავებენ რეტრანსლაციონის ორ ტიპს: გამამეორებელს და ოპტიკურ მაძლიერებელს. გამამეორებლები უფრო მეტ გამოყენებას პოულობს ლოკალურ ბოქკოვან-ოპტიკურ ქსელებში, ოპტიკური მაძლიერებლები კი - ოპტიკურ მაგისტრალზე.

გამამეორებელი ოპტიკურ სიგნალს გარდაქმნის ელექტრულ ფორმაში, აძლიერებს მას, აწარმოებს კორექტირებას, შემდეგ კი კვლავ გარდაქმნის ოპტიკურ სიგნალად. ამგვარად, გამამეორებელი ფაქტობრივად წარმოადგენს მიმდევრობით ჩართულ ომმ და ომმ-ს.

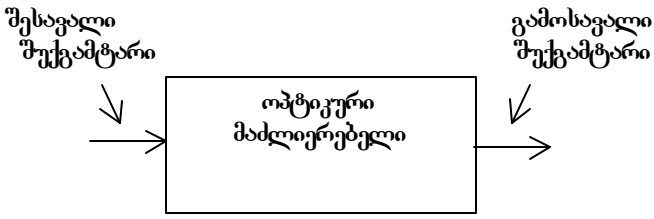
ანალოგური გამამეორებელი (ნახ.59,ა) ძირითადად ასრულებს სიგნალის გაძლიერების ფუნქციას, ამასთან სასარგებლო სიგნალთან ერთად ძლიერდება ხმაურიც. ციფრული გამამეორებელი (ნახ.59,ბ) გაძლიერებასთან ერთად აწარმოებს სიგნალის რეგენერაციას იმის ანალოგიურად, როგორც ეს ოპტიკურ მიმღებში სდება. როგორც წესი, რეგენერაციის ბლოკი შეიცავს გადაწყვეტილების მიმღებ მოწყობილობას და ტაიმერს. მასში სდება იმპულსების ამპლიტუდის, ფორმისა და იმპულსებს შორის დროითი ინტერვალების აღდგენა. გამამეორებელი შეიძლება არ შეიცავდეს ტაიმერს და აღადგენდეს იმპულსების სწორკუთხა ფორმას განსაზღვრული ზღურბლის მისედევით. ასეთ გამამეორებლებს იყენებენ ლოკალურ ქსელებში გადაცემის ასინქრონული რეჟიმით.



ა)



ბ)



გ)

გამამეორებლისგან განსხვავებით ოპტიკური მაძლიერებელი არ აწარმოებს ოპტოელექტრონულ გარდასახვას - იგი უშუალოდ აძლიერებს ოპტიკურ სიგნალს (ნახ.59გ). ამ დროს სიგნალის რეგენერაცია არ ხდება, სოლო სიგნალითან ერთად ძლიერდება სმაურიც.

გამამეორებლებთან შედარებით ოპტიკური მაძლიერებელი ხასიათდება მარტივი კონსტრუქციით, რაც პერსპექტივაში მას უფრო იაფს გახდის (დღეისათვის იგი გამამეორებელზე საკმაოდ ძვირია). ოპტიკური მაძლიერებელი გამამეორებელზე საიმედოა, რაც მის მნიშვნელოვან უპირატესობას წარმოადგენს დიდი სიგრძის მმონ აგებისას, რომელიც რეტრანსლატორების დიდ რაოდენობას საჭიროებს. გარდა ამისა, თუ გამამეორებელი განკუთვნილია გადაცემის ერთ სიჩქარეზე სამუშაოდ, ოპტიკურ მაძლიერებელს ამ თვალსაზრისით შეხლდება არ გააჩნია. ოპტიკური მაძლიერებლით შეიძლება ერთდროულად გაძლიერებულ იქნას სხვადასხვა ტალღის სიგრძის სიგნალები განსაზღვრული ინტერვალის ფარგლებში, იმ დროს, როცა გამამეორებელი მუშაობს მხოლოდ ერთი ტალღის სიგრძეზე.

(წობილია ოპტიკური მაძლიერებლების სხვადასხვა ტიპები.

ა) ფ ა ბ რ ი - ვ ე რ ო ს მაძლიერებლები. ასეთ მაძლიერებლებს გააჩნია ბრტყელი რეზონატორი სარკული ნახევრადგამჭვირვალე კედლებით, რომლებიც უზრუნველყოფს გაძლიერების მაღალ კოეფიციენტს (25 დბ-მდე) ძალზე ვიწრო (1,5 გჰც), მაგრამ ფართოდ გადაწყობად (800 გჰც) სპექტრულ დიაპაზონში. გარდა ამისა, ეს მოწყობილობები არაა მგრძობიარე სიგნალის პოლარიზაციისადმი და ხასიათდება გვერდითი მდგენელების ძლიერი ჩახშობით. ფაბრი-პეროს მაძლიერებლები ძირითადად გამოიყენება დემულტიპლექსორების სახით, რადგანაც ისინი ყოველთვის შეიძლება გადაწყობილ იქნას შესავალი მრავალარხიანი სიგნალის ერთი არხის მხოლოდ ერთი განსაზღვრული ტალღის სიგრძის გასაძლიერებლად.

ბ) შუქამტარის ბაზაზე აგებული მაძლიერებლები, რომლებშიც გამოყენებულია ბ რ ი ლ უ ე ნ ი ს გ ა ბ ნ ე ვ ი ს ეფექტი. სტიმულირებული ბრილიუენის გაბნევა წარმოადგენს არაწრფივ ეფექტს, რომელიც წარმოიქმნება სილიციუმის შუქამტარში რაღაც  $f_1$  სისშირის ოპტიკური ტალღის ენერჯის გარდაქმნისას მისგან განსხვავებული  $f_2$  სისშირის ოპტიკური ტალღის ენერჯიად. ამიტომ თუ მძლავრი დატუმბვა სწარმოებს  $f_1$  სისშირეზე, სტიმულირებული ბრილიუენის გაბნევის საშუალებით შეიძლება გაძლიერებულ იქნას  $f_2$  სისშირის სუსტი შესავალი სიგნალი.

გ) შუქამტარის ბაზაზე აგებული მაძლიერებლები, რომლებშიც გამოყენებულია რ ო მ ა ნ ო ვ ი ს გ ა ბ ნ ე ვ ი ს ეფექტი. ეს წარმოადგენს აგრეთვე არაწრფივ ეფექტს, რომელიც ზემოთ განხილულის მსგავსად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მძლავრი დატუმბვის ტალღის ენერჯის ნაწილის გარდასაქმნელად სუსტი სიგნალის ტალღაში. ძირითადი განსხვავება ბოლო ორ მაძლიერებელს შორის იმაშია, რომ რომანოვის გაბნევის დროს სხვაობა  $f_1$  და  $f_2$  სისშირებს შორის უფრო დიდია, გამოსავალი სპექტრული დიაპაზონი კი - ფართო, რაც იძლევა მრავალარხიანი სიგნალის ერთდროულად რამდენიმე არხის გაძლიერების საშუალებას.

დ) ნ ა ნ ე ვ ა რ გ ა მ ტ ა რ უ ლ ლ ა ზ ე რ ე ბ ზ ე აგებული მაძლიერებლები. ასეთი მაძლიერებლების საფუძველს წარმოადგენს აქტიური გარემო, რომელიც ნახევარგამტარულ ლაზერებში გამოყენებულის ანალოგიურია, ოღონდ მასში არ არის სარკული რეზონატორები. ფრენელის არეკვლის ეფექტის შესამცირებლად აქტიური გარემოს ორივე მხარეზე დატანილია  $\lambda/4$  სისქის სპეციალური სფერი. აღნიშნულ მაძლიერებლებს გააჩნია ორი მნიშვნელოვანი ნაკლი, რომელთა გამო ისინი ნაკლებად გამოიყენება პრაქტიკაში.

პირველი ნაკლი არის ის, რომ ასეთი მაძლიერებლის სინათლის გამომსხვივებელი აქტიური შრის სისქე ბევრად ნაკლებია შუქამტარის დიამეტრზე, ამიტომ შესავალი შუქამტარიდან შეყვანილი სინათლის ნაკადის დიდი ნაწილი იკარგება და მაძლიერებლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი მცირდება. მისი გაზრდა შეიძლება, თუ შესავალ შუქამტარსა და აქტიურ შრეს შორის მოვათავსებთ ლინზას, მაგრამ ეს იწვევს კონსტრუქციის გართულებას.

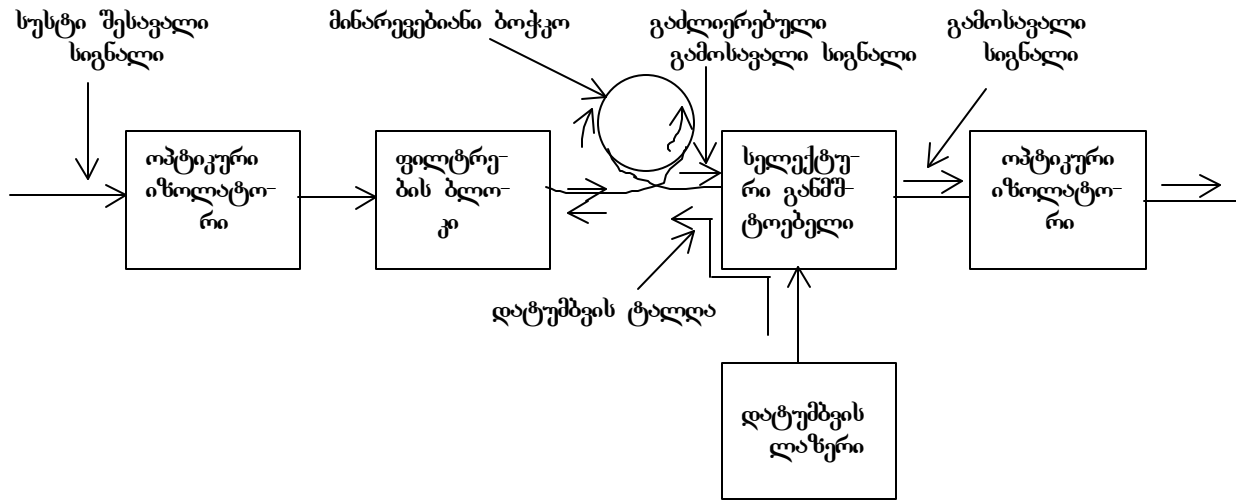
მეორე ნაკლის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მაძლიერებლის გამოსასვლელი დამოკიდებულია პოლარიზაციის მიმართულებაზე და შეიძლება განსხვავდებოდეს ორი პოლარიზაციისათვის 4-8 დბ-ით. ეს კი არასასურველია, რადგან სტანდარტულ ერთმოდინ შუქამტარში გავრცელებული სინათლის პოლარიზაციის კონტროლი ვერ სორციელდება, და, მაშასადამე, მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია არაკონტროლირებლად ფაქტორზე. პოლარიზაციისგან დამოკიდებულება შეიძლება შემცირებულ იქნას პარალელურად ან მიმდევრობით ჩართული ორი ლაზერის გამოყენებით, მაგრამ ესეც იწვევს კონსტრუქციის გართულებას და მისი ღირებულების ზრდას.

აღნიშნული ნაკლოვანებები ნაკლებ შესაძინევი ხდება, როცა ადგილი აქვს მაძლიერებლის ინტეგრებას სხვა ოპტიკურ მოწყობილობებთან, მაგალითად, როცა იგი შეთავსებულია ლაზერულ დიოდთან. ნახევარგამტარულ ლაზერებზე აგებული მაძლიერებლები შეიძლება გამოყენებულ იქნას აგრეთვე ფართოხოლოვანი მაძლიერებლების სახით, რომლებიც განლაგდება ოპტიკური განმშტოებლების გამოსასვლელზე განშტოების შედეგად შესუსტებული ოპტიკური სიგნალების გასაძლიერებლად.

ე) მ ი ნ ა რ ე ვ ე ბ ი ა ნ ი ბ ო ქ ე ო ს ბაზაზე აგებული მაძლიერებლები, ოპტიკური მაძლიერებლების ეს ტიპი ყველაზე მეტად არის გამოყენებული პრაქტიკაში, სახელდობრ, იგი წარმოადგენს

მოლიანად ოპტიკური ქსელების ძირითად ელემენტს, რადგან უზრუნველყოფს სიგნალის გაძლიერებას სპექტრის ფართო დიაპაზონში.

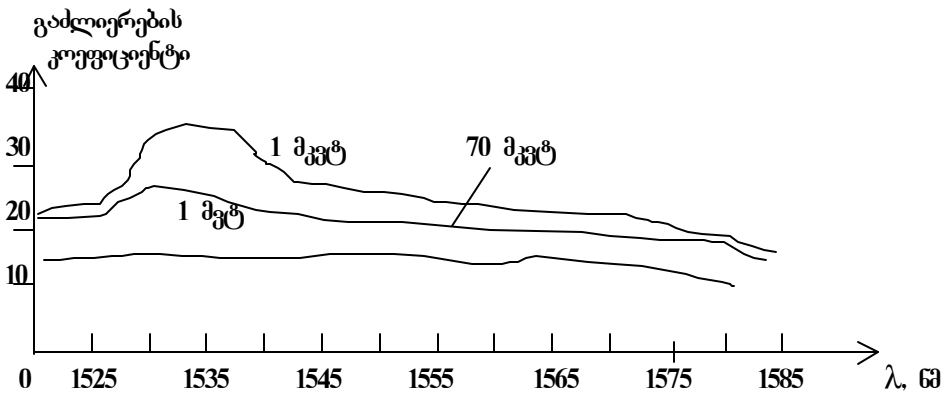
აღნიშნული მაძლიერებლის მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია მე-60 ნახაზზე.



ნახ.60

სუსტი შესასვლელი ოპტიკური სიგნალი გაივლის ოპტიკურ იზოლატორს, რომელიც ატარებს სინათლეს მხოლოდ პირდაპირი მიმართულებით - მარცხნიდან მარჯვნივ და ფილტრების ბლოკს, რომელიც აბლოკირებს სინათლის ნაკადს დატუმბვის ტალღის სიგრძეზე და გამჭვირვალე სასარგებლო სიგნალის ტალღის სიგრძისათვის. შემდეგ სიგნალი სვდება გრაგნილისებურად დახვეულ რამდენიმე მეტრის სიგრძის შუქგამტარში, რომელიც ლეგირებულია დედამიწაზე არსებული იშვიათი ელემენტებით. ამ შუქგამტარის მეორე ბოლოში შეყვანილია ნახევარგამტარული ლაზერის ძლიერი უწყვეტი გამოსხივება, რომლის ტალღის სიგრძე სასარგებლო სიგნალის ტალღის სიგრძეზე ნაკლებია. ლაზერის სინათლე - დატუმბვის ტალღა - ადაგზნებს მინარეგების ატომებს, რომელთაც საწყის მდგომარეობაში სპონტანურად დაბრუნებისათვის სჭირდება რელაქსაციის დიდი დრო. მაგრამ სუსტი შესავალი სიგნალის შემოქმედებით ადგილი აქვს მინარეგების ატომების აგზნებული მდგომარეობიდან ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ინდუცირებულ გადასვლას სინათლის გამოსხივებით იგივე ტალღაზე და იგივე ფაზით, რომელიც გააჩნია მის გამომწვევ სიგნალს. სელექტორული გამშვებები მიაწვდის გაძლიერებულ სასარგებლო სიგნალს გამოსასვლელ შუქგამტარს. დამატებითი ოპტიკური იზოლატორი, რომელიც დგას გამოსასვლელზე, კრძალავს გაბნეული სიგნალის უკუარეკვლას გამოსავალი სემენტიდან მაძლიერებლის აქტიურ ზონაში, ანუ ლეგირებულ შუქგამტარში.

მაძლიერებლის მუშაობის თავისებურებები დიდად არის განპირობებული მინარეგების ტიპით და მუშა ტალღების დიაპაზონით. ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვა მაძლიერებლებმა, რომლებშიც გამოიყენება ერ - ბ ი უ მ ი თ ლეგირებული სილიციუმის შუქგამტარი. ასეთ მაძლიერებლებს EDFA ტიპის მაძლიერებლები ეწოდება. მათი გაძლიერების კოეფიციენტი დამოკიდებულია შესავალი სიგნალის ამპლიტუდასა და ტალღის სიგრძეზე (ნახ.61). შესავალი სიგნალის მცირე სიდიდის დროს გამოსავალი სიგნალის ამპლიტუდა წრფივად



ნახ. 61

იზრდება შესავალი სიგნალის ზრდასთან ერთად. მაგალითად, თუ შესავალი სიგნალის სიმძლავრე 1 მკვტ-ია, მაშინ გამოსავალი სიგნალი შეიძლება იყოს 1 მკვტ დონის, რაც შეესაბამება 30 დბ ტოლ გაძლიერებას. მაგრამ დიდი შესავალი სიგნალის დროს გამოსავალი სიგნალი აღწევს გაჯერებას, რის შედეგადაც გაძლიერების კოეფიციენტი მცირდება. გაძლიერების კოეფიციენტის ტალღის  $\lambda$  სიგრძისგან დამოკიდებულების მრუდებიდან ჩანს, რომ შესავალი სიგნალის მცირე სიდიდის დროს გაძლიერების კოეფიციენტი სწავდასწავა ტალღის სიგრძეზე სწავდასწავაა. დღესდღეობით მიმდინარეობს ინტენსიური კვლევები გაძლიერების მრუდის გასათანაბრებლად, რაც, როგორც მათი შედეგებიდან ჩანს, გადაუწყვეტელ ამოცანას არ წარმოადგენს.

პრაქტიკაში გამოყენებას პოულობს EDFA მძლიერებლების ორი ნაირსახეობა: ერთი აგებულია ს ი ლ ი ც ი უ მ ი ს . მეორე კი - ფ ტ ო რ - ც ი რ კ ო ნ ა ტ ი ს ბ ა ზ ა ზ ე. ორივე მათგანს შეუძლია მუშაობა ერთიუმიის ოპტიკური გამოსხივების მთელ დიაპაზონში - 1530-1560 ნმ.

სილიციუმის ბაზაზე აგებული EDFA მძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი უფრო მეტადაა დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ მრავალარხიანი სიგნალის გაძლიერებისას უფრო მიზანშეწონილია ფტორ-ციროკონატის ბაზაზე აგებული EDFA მძლიერებლის გამოყენება. მიუხედავად ამისა, სილიციუმის ბაზაზე აგებული EDFA მძლიერებლები პრაქტიკაში სშორად გამოიყენება იმის გამო, რომ, ჯერ ერთი, მათი ტექნოლოგიის აღიარება უფრო ადრე მოხდა და მეორეც - ზემოთაღნიშნული ნაკლის გვერდის ავლა ადვილად შეიძლება, თუ მცირე გაძლიერების უბანს (1530-1542 ნმ) საერთოდ არ გამოვიყენებთ (თუმცა რიგ შემთხვევებში ეს არარენტაბელურია).

ფტორ-ციროკონატის ბაზაზე აგებული EDFA მძლიერებელი უფრო თანაბარი გაძლიერების მრუდით ხასიათდება, სამაგიეროდ მას ახასიათებს საკუთარი სმაურის მაღალი დონე სილიციუმის ბაზაზე აგებულ EDFA მძლიერებელთან შედარებით. საერთოდ, EDFA მძლიერებლებს შეაქვთ გარკვეული სმაური გაძლიერებულ სიგნალში, რითაც მცირდება ფარდობა სიგნალი/სელშეშლა და, აქედან გამომდინარე, ორ მესობელ რეგენერატორს შორის განლაგებული ოპტიკური მძლიერებლების დასაშვები რაოდენობა. ამიტომ დღესდღეობით მბწს ზეგრძელი ურეგენერატორო სემენტების მშენებლობისას ფტორ-ციროკონატის ბაზაზე აგებული EDFA მძლიერებლების გამოყენება არაეფექტურია, თუმცა მათი მწარმოებლები აპირებენ ასეთი მძლიერებლების შემდეგი თაობის გამოშვებას, რომელსაც ექნება სმაურის დაბალი დონე და უფრო მაღალი ხაიმედობა.

ბ ო ქ კ ო ვ ა ნ - ო ვ ტ ი კ უ რ ი ს ა კ ა ბ ე ლ ო მ ა ვ ი ს ტ რ ა ლ ე ბ ი ს  
მ უ ვ ნ ე ზ ლ ო ბ ი ს ს ა კ ი ო თ ხ ე ბ ი

ბოქკოვან-ოპტიკური საკაბელო მაგისტრალის მშენებლობა შრომატევადი საქმეა და, როგორც წესი, სანგრძლივ დროს მოითხოვს. იგი მოიცავს სამუშაოთა ფართო სპექტრს - მაგისტრალის პროექტირებას, მიწის სამუშაოებს, კაბელების სამშენებლო სიგრძეების ჩადებასა და შეერთებას, პასიური ოპტიკური კომპონენტების, რეგენერატორებისა და ოპტიკური მაძლიერებლების დამონტაჟებას და სსფ. ქვემოთ განხილულია მაგისტრალის პროექტირების, აგრეთვე - მიწისა და სამშენებლო სამუშაოების წარმოების საკითხები.

5.1. მაგისტრალის პროექტირება

განასხვავებენ მაგისტრალის პროექტირების არამექანიკურ და მექანიკურ ასპექტებს. პირველი გულისხმობს ოპტიკური კაბელის გადაცემის მანსაიათებლების გაანგარიშებას, მეორე კი - მაგისტრალის ტრასისა და კაბელის ჩადების მეთოდის, აგრეთვე - პასიური და აქტიური კომპონენტების განლაგების ადგილების შერჩევას.

5.1.1. გადაცემის მანსაიათებლების პროექტირება

ყველაზე მნიშვნელოვან ოპტიკურ მანსაიათებლებს, რომლებიც გათვალისწინებული უნდა იქნას ბოქკოვან-ოპტიკური მაგისტრალის პროექტირებისას, წარმოადგენს შუქგამტარების მიღვევა და გატარების ზოლი, აგრეთვე - ურანოიმო შეერთებებით გამოწვეული დანაკარგები. დანაკარგები რანოიმულ შეერთებებზე, განმშტობებლებში, შეყვანა-გამოყვანის მოწყობილობებში და ა.შ. ნაკლებ მნიშვნელოვანია და, როგორც წესი, მხედველობაში არ მიიღება.

საკაბელო მაგისტრალის  $a_j$  მიღვევა გამოითვლება ფორმულით:

$$a_j = L a_{შუქგ} + n a_{გაღ}$$

სადაც  $L$  კაბელის სიგრძეა,  $a_{შუქგ}$  შუქგამტარებში მიღვევის კოეფიციენტი,  $n$  საკაბელო მონაკვეთების შედულების წერტილების რაოდენობა,  $a_{გაღ}$  მიღვევა შედულების წერტილებში.

რადგან საკაბელო მაგისტრალის მშენებლობა სდება მათი სანგრძლივი ექსპლოატაციის გათვალისწინებით, ამიტომ პროექტირებისას ჩადებული უნდა იქნას გარკვეული მარაგი დანაკარგების კომპენსირებისათვის ურანოიმო შეერთებების შეკეთების დროს. ამ მარაგის სიდიდე  $a_{გაღ}$  დამოკიდებულია ადგილობრივ პირობებზე და მაგისტრალის მნიშვნელობის ხარისხზე, როგორც წესი იგი შეადგენს (0,1 - 0,4) დბ/კმ.  $a_{გაღ}$  გათვალისწინებით რეტრანსლაციის უბნის მიღვევა  $a_{რეტ}$  განისაზღვრება :

$$a_{რეტ} = a_j + L a_{გაღ} .$$

ურანოიმო შეერთებებში მინიმალური მიღვევის მისაღებად საჭიროა მაგისტრალის მშენებლობისათვის გამოყენებულ იქნას შეძლებისდაგვარად დიდი სიგრძის მქონე საკაბელო მონაკვეთები.

გარდატეხის მანქანების გრადიენტული პროფილის მქონე მრავალმოდიაანი შუქგამტარის გატარების ზოლის შესწორება ძირითადად სდება მოდათაშორისი და/ან მასალის დისპერსიით. ამასთან ფართო სპექტრული სივანის მქონე შუქგამომსხივებელი დიოდებისათვის, რომლებიც მუშაობს  $\lambda=850$  ნმ ტალღის სიგრძეზე, იგრძნობა უფრო მასალის დისპერსიის ზემოქმედება, სოლო ვიწრო სპექტრული სივანის მქონე ლაზერული დიოდებისათვის, რომლებიც მუშაობს  $\lambda=1300$  ნმ ტალღის სიგრძეზე - მოდათაშორისი დისპერსიის.

როგორც აღნიშნული იყო, მრავალმოდიაანი შუქგამტარების გადაცემის მანსაიათებლების აღწერის დროს მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ნამრავლი „ გატარების ზოლი X შუქგამტარის სიგრძე“, რომლის გამოთვლის ერთერთი მეთოდი ზემოთ იყო აღწერილი. ქვემოთ მოყვანილია აღნიშნული ნამრავლის განსაზღვრის კიდევ ერთი - ხარისხობრივ კანონზე დამყარებული მეთოდი:

$$(\Delta F / \Delta F_1) = (L / L_1)^{-\gamma} .$$

აქ  $\Delta F$  არის  $L$  სიგრძის შუქგამტარის,  $\Delta F_1$  კი -  $L_1$  სიგრძის (როგორც წესი  $L_1=1$ კმ) შუქგამტარის გატარების ზოლის სივანე. ეს ფორმულა წარმოადგენს ნაწში მიმდინარე რეალური ფიზიკური პროცესის მათემატიკური აღწერის მცდელობას ეწ. გამა-კოეფიციენტის საშუალებით, რომელიც ითვალისწინებს იმ მოვლენას, რომ საკაბელო სიგრძეების გადაბმისას კაბელის ჯამური სიგრძის ზრდასთან ერთად სდება

გატარების ზოლის სიგანის შემცირება არაწრფივი კანონით.  $\gamma$  სიდიდის მნიშვნელობები მდებარეობს ფარგლებში 0,8-დან 1-მდე. საორიენტაციო ვათვლებისათვის, როგორც წესი, გამოიყენება მნიშვნელობა  $\gamma = 0,8$ . ერთმოდანი შუქგამტარების, რომლებშიც მხოლოდ ლაზერები გამოიყენება, გატარების ზოლი იმდენად ფართოა, რომ ის არ მოქმედებს სარეზონანსული უბნის სიგრძეზე. ეს უკანასკნელი ამ შემთხვევაში იხლეულება მხოლოდ მიღვეით (შუქგამტარში, ურანოიმო შეერთებებში და ა.შ.). ამიტომ ერთმოდანი შუქგამტარების ხარისხობრივი მახასიათებლები ხასიათდება არა გატარების ზოლის სიგანით, არამედ დისპერსიით, რომელიც გამოითვლება პ. 2.3.2-ში მოყვანილი ფორმულებით.

### 5.1.2. პროექტირების მექანიკური ასპექტები

მექანიკის თვალსაზრისით პროექტირების ერთ-ერთ უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს ბმის ისეთი კონსტრუქციის შერჩევა, რომლის პარამეტრები ოპტიმალურად ესადაგება მაგისტრალის ტრასის მახასიათებლებს და კაბელის ჩადების პირობებს.

ტრასის შერჩევამდე საფუძვლიანად უნდა იქნას შესწავლილი მისი სავარაუდო მარშრუტის რელიეფის ფორმა, წყლის დაბრკოლებების, საავტომობილო გზების, რკინიგზების გადაკვეთის ადგილები, კაბელის კრიტიკული მოღუნვის წერტილები და სხვ. შემდეგ გარკვეულ უნდა იქნას ნიადაგის ფიზიკური და ქიმიური შემადგენლობა, მისი საშუალო ტემპერატურა. ყოველივე ამის შემდეგ შერჩეულ უნდა იქნას კაბელის გაყვანის მეთოდი.

ნიადაგში კაბელის ჩასადებად კეთდება ხნული, რომელშიც კაბელი ჩადება ან უშუალოდ, ან ხნულში წინასწარ ჩადებულ სპეციალურ მილებში. რადგანაც ბმის გააჩნია მცირე წონა და გაბარიტები მეტალის კაბელებთან შედარებით, ამიტომ იგი შეიძლება ადვილად იქნას ჩადებული სპეციალური ტექნიკის გარეშე. ჩადების ნებისმიერი მეთოდის დროს დიდი ყურადღება ექცევა იმას, რომ კაბელის მოღუნვის მინიმალური რადიუსის სიდიდე არ უნდა იყოს ნაკლები მის ტექნიკურ პასპორტში მოყვანილ შესაბამის სიდიდეზე.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მიღვეის მცირე სიდიდის მისაღებად მიზანშეწონილია შეძლებისდაგვარად დიდი სამშენებლო სიგრძეების გამოყენება. დღეისათვის წარმოება ამზადებს 2000მ და უფრო მეტი სამშენებლო სიგრძეების მქონე კაბელებს.

კაბელის ჩადებისას მისი გაჭიმვის დაძაბულობის მოსალოდნელი სიდიდის შეფასებისას საჭიროა იმის გათვალისწინება, რომ ეს დაძაბულობა პირობითურად საკაბელო ტრასებზე კაბელის სიგრძის ზრდის პროპორციულად იზრდება. მოსაზრებების არსებობისას გათვალისწინებულ უნდა იქნას, რომ კაბელის გაღუნვის კუთხე და ხაზუნის კოეფიციენტი განაპირობებს დაძაბულობის ექსპონენციურ ზრდას.

ბმის საკაბელო კანალიზაციის მიღებში ჩადებისას კაბელის მიღში გასაჭიმად გამოიყენება შეკუმშული ჰაერი. თუ ადგილმდებარეობა ამას ხელს უწყობს და დამცავი მილისა და ბმის დიამეტრებს შორის თანაფარდობა ოპტიმალურია, მაშინ ასეთი მეთოდით შეიძლება ჩადებული იქნას დაახლოებით 1000მ სიგრძის კაბელი. უფრო დიდი სიგრძის კაბელების (მაგალითად, 3000მ ერთი მიმართულებით) ჩასადებად შეიძლება გამოიყენებულ იქნას ერთი ან რამდენიმე საშუალოდ გამჭიმვი მექანიზმი თავისი ამძრავით.

უკვე არსებული სამილე არსების უკვე გამოყენებისათვის შეიძლება ჩადებულ იქნას დამატებითი მილები, რაც იძლევა საშუალებას ჩადებულ იქნას რამდენიმე კაბელი ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად. გამონაკლის შემთხვევებში შესაძლებელია მცირე გარე დიამეტრის კაბელების ჩადება ერთსა და იმავე მილში. ამ დროს ჩასადები კაბელების დიამეტრებს შორის თანაფარდობა ისეთი უნდა იყოს, რომ არ მოხდეს მათი გაწევა ან გაჭედვა მილში.

შიგა საკაბელო გაყვანილობების პროექტირებისას დამატებით გათვალისწინებულ უნდა იქნას აალების საწინააღმდეგო ღონისძიებები და ჰალოგენების არარსებობა. სპეციალურ საკაბელო ხაზებზე კი - მათთვის დამახასიათებელი სპეციალური მოთხოვნები.

კაბელის გაყვანის საპერო ვარიანტის დროს გამოიყენება საპერო ხაზების მშენებლობისათვის დამახასიათებელი ცნობილი ტექნოლოგიები და მოწყობილობები.

### 5.2. მიწისა და სამშენებლო სამუშაოების წარმოება.

მიწისა და სამშენებლო სამუშაოებს მიეკუთვნება საკანალიზაციო ტრანშეის გათხრა, მილ-მოწყობილობების ჩადება (თუ კაბელის ჩადება ხდება მილებში), კაბელის ჩადება და ალგენითი სამუშაოები. ქვემოთ განვიხილავთ კაბელის გაყვანის ერთერთ პრაქტიკულ ვარიანტს მიღების გამოყენებით. კაბელის ჩასადებად აქ გამოიყენება 100 მმ დიამეტრის პოლიეთილენისგან (PE) დამზადებული და 40 მმ დიამეტრის მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენისგან (HDPE) დამზადებული მილ-მოწყობილობები.

მიწისა და სამშენებლო სამუშაოების წარმოების დაწყებამდე სამუშაოს მწარმოებელი უნდა გაეცნოს ყველა არსებულ კანონს, რომელიც შეეხება გზებს, მიწის საკუთრებას, წყალსადენებს და სხვ. ამის შემდეგ მიღებულ უნდა იქნას ყველა საჭირო ზომა სამუშაო ზონის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. ეს ზომები შემდეგში მდგომარეობს.

- ყველა სამუშაო მონაკვეთი აღჭურვილი უნდა იყოს სათანადო გამაფრთხილებელი ნიშნით როგორც ტრანსპორტით გადაადგილებულთა, ისე ფეხით მოსიარულეთათვის;
- დასასწავლელ პუნქტებში ღია თხრილების ზონებში მაცხოვრებლები უსრუნველყოფილი უნდა იყვნენ შემოვლითი გზით;
- საკაბელო ბარაბნების განტვირთვა უნდა ხდებოდეს მხოლოდ მექანიზებული ხელსაწყოების გამოყენებით;
- ბარაბნები უნდა იყოს ბლოკირებული (უსაფრთხოდ ფიქსირებული) ტრანსპორტირებისა და შენახვის დროს;
- თხრილების კედლები გამაგრებულ უნდა იქნას მეწყერისადმი მდგრადობის მიზნით;
- კლდის ჩამოშლის საშიშროებისას სამუშაო ადგილი დაცული უნდა იქნას სპეციალური ბადით. სამუშაოები პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ნაირსახეობად: სამუშაოები დასასწავლელ პუნქტებში და სამუშაოები დაუსასწავლელ პუნქტებში.

### 5.2.1. სამუშაოები დასასწავლელ პუნქტებში (შეგასაქალაქო ზონები)

გათხრითი სამუშაოების დაწყების წინ აუცილებლად უნდა მოხდეს არსებული მიწისქვეშა მოწყობილობების (სატელეფონო კანალიზაცია, წყლის კანალიზაცია, აირის მილები და ა.შ.) სრული იდენტიფიკაცია ამ მოწყობილობების შესაკუთრე ორგანიზაციებისა და ფირმების წარმომადგენელთა თანდასწრებით.

მიწის სამუშაოების პირველი ეტაპია ტრანშეების გათხრა. ტრანშეის ზომები დამოკიდებულია იმაზე, თუ სად ითხრება იგი - გზის მაპროფილეებელ საფარზე (ასფალტი, ცემენტი) თუ ქვაფენილზე. ორივე შემთხვევაში მისი სიგანე ტოლია 40 სმ-ის, ხოლო სიღრმე სწვადასწვაა: ქვაფენილისათვის იგი ტოლია 70 სმ-ის, გზის სწვა ტიპის საფარისათვის კი - 80 სმ. აღნიშნული ზომები შეიძლება შემცირებულ იქნას 3%-ით.

გათხრითი ტრანშეის ფსკერი იფარება 10 სმ სისქის ქვიშის ფენით, რომელზეც შემდეგ დებენ 100 მმ დიამეტრის გოფირებულ მილ-მოწყობილობებს. ეს ოპერაცია სრულდება ხელით.

მილ-მოწყობილობების დატვირთვა-გადმოტვირთვა ხდება ფრთხილად, თხრილში ჩადების წინ ისინი საგულდაგულოდ მოწმდება. ნაწვრეტების, ბზარების და სწვა სახის დაზიანებების მქონე მილ-მოწყობილობები უნდა შეიცვალოს.

მილ-მოწყობილობების მიმდევრობითი ნაწილების შეერთება ხდება პლასტიკის შემაერთებლით. ყველა ნაწილის შეერთების შემდეგ სპეციალური საცობებით უსრუნველიყოფა მდგრადობა წყლის მიმართ.

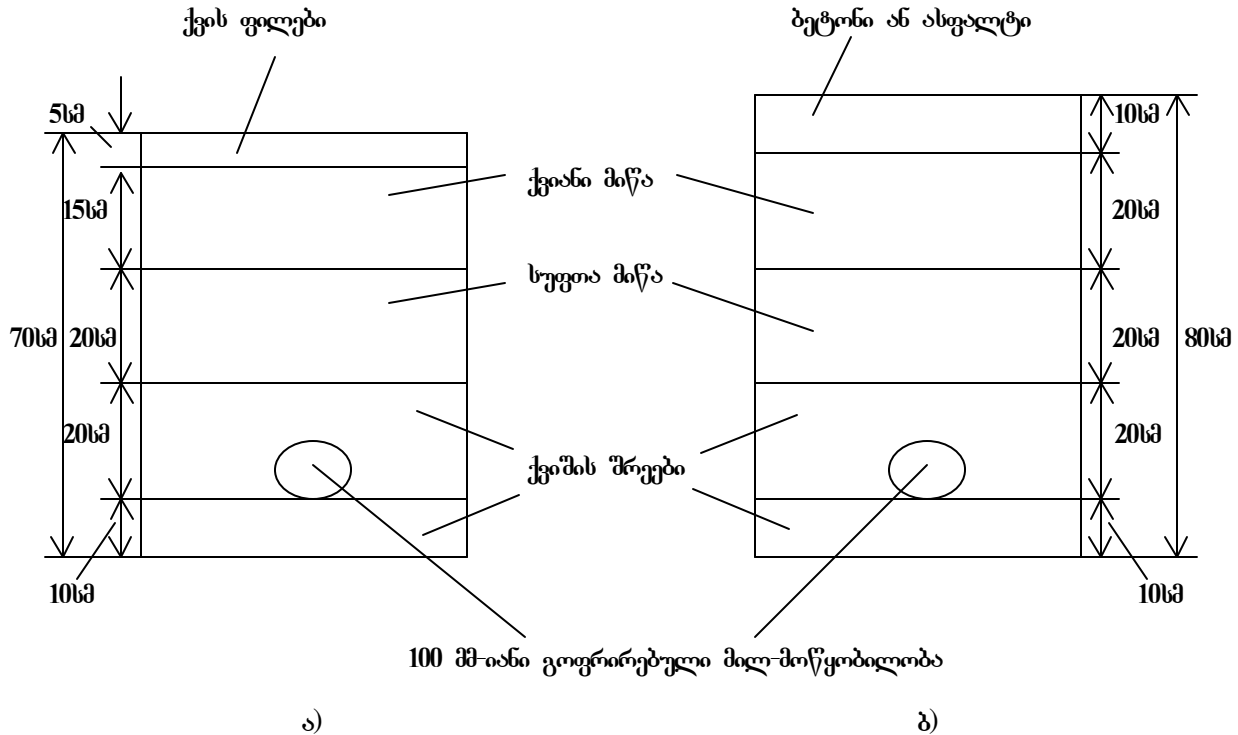
ქვიშის პირველ ფენაზე განლაგებული მილ-მოწყობილობების ზემოდან იყრება ქვიშის კედლე ერთი, 20 სმ სისქის ფენა, რის შემდეგ თხრილი იფარება ნათხარი მასალით და იტკეპნება. ნათხარი მასალა, რომლის ფენის საერთო სისქეა 30-40 სმ, არ უნდა შეიცავდეს 10 სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს. თხრილებში ჯერ იყრება ნათხარი მასალის პირველი ფენა, რომელიც არ უნდა შეიცავდეს 3 სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს, შემდეგ კი - ქვიანი მიწის მეორე ფენა.

მიწის სამუშაოების შემდეგ ეტაპს წარმოადგენს ქვაფენილებისა და მაპროფილეებელი ზედაპირების აღდგენა, რისთვისაც გამოიყენება B160 ან B120 მარკის ბეტონის საფარი, მარმარილოს ან ქვის ფილები და ასფალტი. თუ ბეტონი გამოიყენება ქვაფენილების აღსადგენად, მაშინ მისი ფენის სისქე ტოლია 10 სმ, მაპროფილეებელი ზედაპირისათვის კი - 10, 15 ან 20 სმ. თუ ბეტონი გამოიყენება ქვეფენის სახით, მაშინ მისი სისქე ტოლია 8 სმ-ის ქვაფენილებისათვის და 10-15 სმ-ის - მაპროფილეებელი ზედაპირისათვის. ქვაფენილების საბოლოო დაფარვისათვის ან ფილების დასამაგრებლად გამოიყენება ცემენტის უხეში საფარი.

ასფალტიანი გზის ზედაპირის აღდგენისას სრულდება შემდეგი სამუშაოები:

- ასფალტის ნაწილების დაშლა ქვიშა-სრეშის დამქერი შრის მყარ ნაწილაკებად;
- ქვიშა-სრეშით შევსება და შეკუმშვა წყლის და საფარბრაციო მანქანის გამოყენებით;
- ზედაპირის წინასწარი დაფარვა ასფალტის ხსნარით ან ასფალტის მკაფის ემულსიით, თუ არსებობს მისი სტაბილიზაციისათვის საჭირო დრო;
- ასფალტ-ბეტონის პირველი, 5 სმ-ის სისქის ბლანტი ფენის დაგება;
- სუფთა ასფალტის ან ასფალტის მკაფის ემულსიის დაგება იმ პირობით, რომ მეორე ფენა არ დაიგება უშუალოდ პირველზე;
- ასფალტ-ბეტონის მეორე, 5 სმ-ის სისქის ბლანტი ფენის დაგება;
- სუფთა ასფალტის ან ასფალტის მკაფის ემულსიის დაგება იმ პირობით, რომ მესამე ფენა არ დაიგება უშუალოდ მეორეზე;
- ასფალტ-ბეტონის მესამე, 5 სმ-ის სისქის ბლანტი ფენის დაგება;
- ნარჩენი მასალის დატვირთვა-გაზიდვა და ზედაპირის გასუფთავება;
- თუ პროექტი ითვალისწინებს ასფალტის საფარის საერთო სიღრმეს 10 სმ ან 5 სმ, მაშინ მესამე ან მეორე და მესამე შრეების დაგება არ ხდება;

- ასფალტ-ბეტონის ფენის დასაგებად საჭირო ტემპერატურა არის  $120^{\circ}$ - $135^{\circ}$ . ამ დროს ჰაერის ტემპერატურა არ უნდა იყოს  $10^{\circ}$ -ზე ნაკლები.
- ასფალტის დაგების პროცესში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მის ბოლო შრეს.
- ოსრილების შევსების ორი შესაძლო ვარიანტი ნაჩვენებია 62-ე ა ნახაზზე (ოსრილის სექცია ქვაფენილისათვის) და 62-ე ბ ნახაზზე (ოსრილის სექცია მაპროფილებელი ზედაპირისათვის).



ნახ.62

მიწის გათხრის, ოსრილების სათანადო მასალებით შევსებისა და ზედაპირის აღდგენის შემდეგ სწარმოებს ქვების მშენებლობა. მის დაწყებამდე გროუნტში უნდა ამოითხაროს „L“ ფორმის 190სმ სიღრმის სასინჯი ხვრელები, რომლებიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს არსებული გაყვანილობის ზუსტი ადგილმდებარეობა და დაიგეგმოს ქვების განლაგება. ქვებს შორის მანძილი, როგორც წესი, 60-80 მ-ია.

ქა წარმოადგენს მართკუთხა პარალელებიანი ფორმის ღრმულს, რომლის შიგა მოცულობის ზომებია: სიგანე - 110 სმ, სიგრძე - 180 სმ, სიღრმე - 130 სმ. ქას გააჩნია 15 სმ სისქის კედლები და ფსკერი. ისინი აშენებულია B160 მარკის რკინა-ბეტონით.

მილსადენებში შესვლის ადგილებში, კაბელის დაზიანების თავიდან ასაცილებლად და მათი მოღუნვის უზრუნველსაყოფად, კედლის ზედაპირს მილსადენის გარშემო უნდა ჰქონდეს 45-იანი 150-180 მმ სიღრმის დამრეცობა.

ქა აღჭურვილია გასაწვეი კაუჩით თითოეული მიმართულებით და თაროებით კაბელის დასამაგრებლად.

ქაში ჩასვლა შესაძლებელია 75 სმ დიამეტრის მქონე რკინის თავსახურით დაფარული ხვრელიდან. ხვრელის ჯაგეშანი აშენებულია კომპაქტურად დაპრესილი აგურით. უბედური შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად თავსახურის ანდა-დასურვა სდება სპეციალური კაუჩით.

ზემოთ აღწერილი სამუშაოების დამთავრების შემდეგ სდება 40 მმ-იანი მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენის მილ-მოწყობილობების ჩადება 100 მმ-იან გოფირებულ მილ-მოწყობილობებში ან არსებულ საარსო სისტემაში, რომელსაც გააჩნია ბეტონის ან 100 მმ დიამეტრის არხების კონსტრუქცია.

აღნიშნული სამუშაოს დაწყების წინ უნდა გატარდეს ზომები უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, რისთვისაც ყველა სამუშაო მონაკვეთზე უნდა დაიდგას გამაფრთხილებელი ნიშნები, ხელსაწყოები, რომლებიც შეიძლება გასდეს ნაპერწკლის ან ღია ალის მიწაზე, შედუღებისათვის არ გამოიყენება.

ქაში ჩასვლის წინ იგი მთლიანად უნდა განიავდეს და შემოწმდეს აირის შემცველობაზე აირის დეტექტორის საშუალებით. ამის შემდეგ ქა უნდა გასუფთავდეს ჩაუონილი წყლის, ქუჩყისა და ქვიშისაგან. ქაში ჩასვლისას არ უნდა დაზიანდეს არსებული კაბელები და ქუროები, აგრეთვე - არსებული კაბელები, რომლებიც ამოღებულ უნდა იქნას ადგილის გათავისუფლების მიზნით.

მოწყობილობები, რომლებშიც უნდა ჩაიდოს 40 მმ-იანი მილები, უნდა გაიწმინდოს შემდეგი ხელსაწყოებიდან ერთ-ერთით (მოსაშორებელი ნივთიერების ბუნებიდან გამომდინარე):

- ფოლადის მავთულის ჯაგრისი;
- ქვიშის/ჭუჭყის სატაცო;
- ხორკლიანი ჯაგრისი;
- ფოლადის მილსადენის ქლიბი.

პირველი ორი ხელსაწყო გამოიყენება მხოლოდ ბეტონის საარსო სისტემის გასაწმენდად.

ჩასადები მილ-მოწყობილობების მიტანა დამონტაჟების ადგილზე ხდება ბარაბნებით ამწეს მეშვეობით. მილ-მოწყობილობების დატვირთვა და გადმონტაჟირება სწარმოებს ძალზე ფრთხილად. საარსო სისტემაში ჩადების წინ ისინი იშლება გზაზე და მოწმდება დაზიანებების გამოვლენის მიზნით. დათვალიერების შედეგად აღმოჩენილი დაზიანებული მონაკვეთები უქმდება.

მილ-მოწყობილობების მონტაჟი ხდება ავტომატურად ან ხელით. პირველ შემთხვევაში გამოიყენება ბენზინზე მოძუშავე მანქანა-ჯალამბარი.

მილ-მოწყობილობის თავისუფალი ბოლო მკვიდრად მპგრდება გაღვანიზებული ფოლადის მავთულის მყარი და ლუნვადი ქსოვილისაგან დამზადებულ გამწე მოწყობილობაზე, რომლითაც ხდება მისი გატარება მილსადენებში. გამწე მოწყობილობას გააჩნია დიაგრამის ჩამწერი გაქიშვის წნევის ავტომატური გამოსართავით. თუ რაიმე მიზეზით ეს წნევა გადააქარბებს დასაშვებ მნიშვნელობას, ჯალამბარი ავტომატურად გაითიშება.

მილ-მოწყობილობები გადაიქრება ყოველ ქაში ან გატარდება ქიდან ქაში სიგრძით, რომელიც განისაზღვრება სამონტაჟო მოწყობილობებით. პირველ შემთხვევაში გადაქრილ ბოლოებში წყლის ან ნაგვის შეღწევის თავიდან ასაცილებლად ისინი დაიხშობა საცობებით ან ჰიდრაულიკური ცემენტით. მეორე შემთხვევაში მილ-მოწყობილობები მპგრდება ქის კედლებზე.

## 5.2.2. სამუშაოები დაუსასნებელ პუნქტებში (ქალაქებს შორის - სასოფლო ზონები)

დაუსასნებელ პუნქტებში ტრანშეები ითხრება როგორც ხენად, ისე უხნავ მიწებზე. ტრანშეის სიგანა 40 სმ, ხოლო სიღრმე დამოკიდებულია ნიადაგის ხასიათზე: რბილი მიწისათვის იგი ტოლია 100 სმ-ის, ქვიანი მიწისათვის - 70 სმ, ხოლო წვიმის წყლის სადენისათვის რბილ და ქვიან მიწაში - შესაბამისად 130 სმ და 100 სმ. მოცემული ზომები შეიძლება შემცირებულ იქნას 3%-ით.

სათხრელი სამუშაოების დაწყებამდე გამოკვლეულ უნდა იქნას არსებული მიწისქვეშა მოწყობილობები. ნიადაგის ტიპის დასადგენად და შესაძლო ფარული დაბრკოლებების აღმოსაჩენად გამოიყენება მიწის გამაფხვიერებელი, რომელიც ამავე დროს ამარტივებს სათხრელ სამუშაოებს.

თხრილებში ხდება 40 მმ-იანი მილ-მოწყობილობების უშუალო ჩადება. ჩადების წინ უნდა ჩატარებულ იქნას იგივე პროცედურები, რომლებიც ზემოთ იყო აღწერილი. თხრილის ფსკერზე იყრება 10 სმ სისქის ქვიშის ფენა, რომელზეც ხელით მონტაჟდება მილ-მოწყობილობები. ამის შემდეგ თხრილში კვლავ იყრება ქვიშის კიდევ ერთი 10 სმ-იანი ფენა.

მილ-მოწყობილობების შესაერთებლად გამოიყენება 40 მმ-იანი დიამეტრის მქონე ქურო. შეერთება ხდება სპეციალური მოწყობილობებით. შეერთების შედეგად მიღებული მთლიანი ნაწილის თავისუფალი ბოლოები გადაფარავს ერთმანეთს 1 მ-ით. ეს ბოლოები იხშობა საცობებით ან ჰიდრაულიკური ცემენტით, რაც აღკვეთავს წყლის შეღწევას ან დანაგვიანებას.

მილ-მოწყობილობების ჩადებისას განსაკუთრებით უნდა მიექცეს ყურადღება იმას, რომ ტრასა იყოს შეძლებისდაგვარად სწორხაზოვანი ან ჰქონდეს დიდი რადიუსი, რათა გაადვილდეს ბმვ გატარება და მისი დაზიანებისგან დაცვა არსში მონტაჟისას დასაშვები გაწევის სიმძლავრის უმცირესი მნიშვნელობის დროს.

მილ-მოწყობილობების ქვიშის შრეებს შორის მოქცევის შემდეგ თხრილი ივსება სათანადო ნათხარი ან შლადი მასალით, რომელიც იტკეპნება. ნარჩენი მასალა უნდა დაიტვირთოს და გაიწიდოს.

ნათხარი მასალა არ უნდა შეიცავდეს 10 სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს და გამოიყენება, როგორც წესი, თხრილებისათვის არამაპროფილებელ გზებზე და მთავარი გზების მიღმა. თხრილის შევსება ხდება მიწის 25-40 სმ-იანი შრეებით. პირველი შრე არ უნდა შეიცავდეს 3 სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს.

იმ შემთხვევაში, როცა მიწა მნიშვნელოვნად არის ჩაზნექილი და არსებობს წყლის ჩაჟონვის საშიშროება, თხრილის ზედა ნაწილის შესავსებად გამოიყენება შემდეგი მასალა:

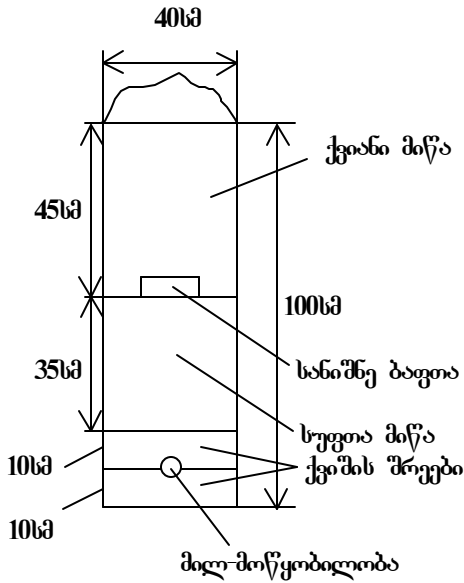
ა) ქვიანი მიწის შემთხვევაში - არარკინაბეტონის საფარის (B120) 10სმ სისქის შრე ან ცემენტით განზავებული მსწერივადი მასალა. ეს უკანასკნელი მზადდება 100 კგ ცემენტის შერევით 1 კუბურ მეტრ მშრალ მასალასთან, რის შემდეგ გაიშლება ორ 15 სმ-იან შრედ ზედაპირის საბოლოო მოპირკეთებით.

ბ) რბილი მიწის შემთხვევაში - შლადი ან შეგროვილი 10-15 სმ ზომის ქვების 30 სმ სისქის შრე.

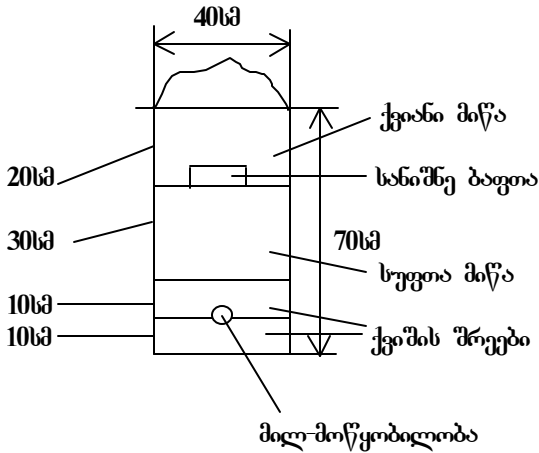
ბმვ მდებარეობის მოსანიშნად მომავალში საექსპლუატაციო სამუშაოების ჩატარებისას მისი უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად თხრილში იდება სპეციალური პლასტიკის ბაფთა.

ჩადების სიღრმე განისაზღვრება ნიადაგის ტიპით და შეადგენს 20-75 სმ. ბაფთა იდება თხრილის შუაში (სიგანის მიხედვით) და ინარჩუნებს საწყის მდგომარეობას ჩადების დაწყებიდან დამთავრებამდე.

ზემოთ მოცემული სპეციფიკაციები მიწის გათხრის, მიღების ჩადებისა და თხრილების შევსებისათვის



ა)



ბ)

ნახ.63

რბილი და ქვიანი ნიადაგებისათვის ნაჩვენებია შესაბამისად 63,ა და 63,ბ ნახაზებზე.

იმ ადგილებში, სადაც პროექტით გათვალისწინებულია კაბელის ოპტიკური შემაერთებლების დაყენება (დაასლოებით ყოველი 2100მ-ის შემდეგ), საწყისი თხრილი გაფართოებულ უნდა იქნას ისე, რომ წარმოიქმნას თრმო. მისი პორიზონტალური ზომები უნდა იყოს 200სმ X 200სმ, სიღრმე კი განისაზღვრება თხრილის საწყისი სიღრმით. იგი ტოლია:

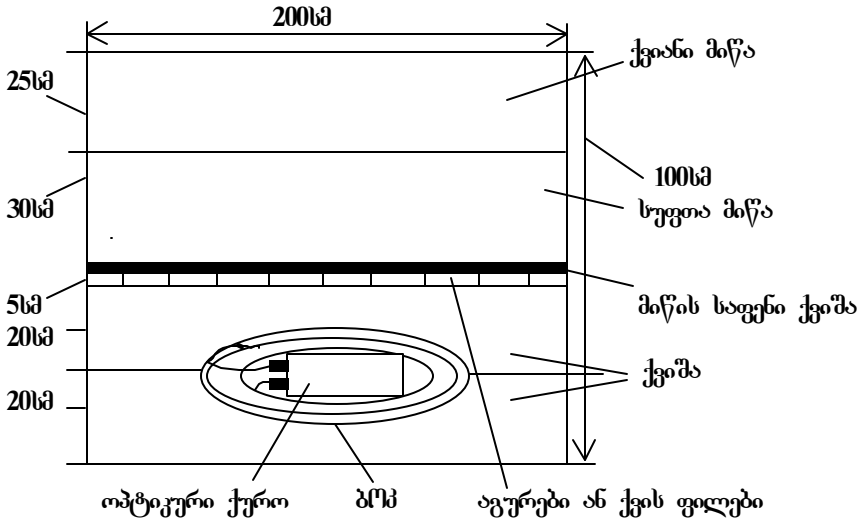
- ა) 90 სმ-ის, თუ საწყისი სიღრმე ნაკლებია ან ტოლი 70სმ-ის;
- ბ) 120 სმ-ის, თუ საწყისი სიღრმე ტოლია 100სმ-ის;
- გ) 150 სმ-ის, თუ საწყისი სიღრმე ნაკლებია ან ტოლი 130სმ-ის.

ოპტიკური შეერთების ყოველ ადგილზე თხრილში იყრება ქვიშის დამატებითი რაოდენობა ისე, რომ შრის მთლიანი სისქე შეადგენდეს 40სმ, საიდანაც 20სმ მოდის ქვიშის ქვედა შრეზე. ქვიშის 4 მ შრის მთელ

ზონაზე განლაგდება აგურები ან ფილები, რის შემდეგ ზონა იფარება სათანადო საფარით, რომელიც იცავს ოპტიკურ შემაერთებელს ნესტისგან.

ზემოთ აღნიშნული პროცედურების შემდეგ თხრილი ივსება სათანადო ნათხარი ან შლადი მასალით, იტყუნება და იწმინდება ქარბი მასალისაგან. ნათხარი მასალა არ უნდა შეიცავდეს 10სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს. თხრილის შევსება ხდება 40-100სმ-იანი შრეებით, რომელთაგან პირველი არ უნდა შეიცავდეს 3სმ-ზე დიდი ზომის ქვებს.

ოპტიკური გადაბმის ადგილებში ორმოების მოსანიშნად შევსების შემდეგ რეკომენდირებულია პასიური



ნან.64

შემაღგენლის - მარკურის - გამოყენება. იგი უნდა განლაგდეს ორმოში ოპტიკური შემაერთებლის განლაგების ადგილზე. ოპტიკური შემაერთებლის დამონტაჟებისათვის გამოყენებული ტიპური ორმოს სქემა ნაჩვენებია 64-ე ნახაზზე.

### 5.2.3. განსაკუთრებული სამონტაჟო ადგილები

40სმ-იანი მილ-მოწყობილობების ჩადების უკვე აღწერილი მეთოდების გარდა არსებობს სპეციალური მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება განსაკუთრებულ შემთხვევებში. ამ შემთხვევებს მიეკუთვნება:

- განასწავლელი გზების გადაკვეთა (როგორც დასასწავლელ, ისე დაუსასწავლელ პუნქტებში);
- განუასწავლელი გზების გადაკვეთა (დაუსასწავლელ პუნქტებში);
- სარკინიგზო ხაზის გადაკვეთა;
- საავტომობილო და სარკინიგზო ხიდებზე გადასვლა.

განასწავლელი გზის ქვეშ იგულისხმება მაპროფილებელი ზონის გზის საფარი. მისი გადაკვეთისას გაჭრილი უნდა იქნას 50სმ სიგანისა და 90სმ სიღრმის სწორკუთხა თხრილი. თხრილის ფსკერზე უნდა ჩაიდოს 100 მმ დიამეტრის რკინის მილი, რომლის გადაბმა ხდება შედეგებით და რომელშიც ჩამონტაჟდება მილ-მოწყობილობა. რკინის მილი კიდევსა და შუა წერტილში იფარება 30სმ X 40სმ X 50სმ ზომის რკინაბეტონის ბლოკებით.

თხრილის შევსება და საბოლოო აღდგენა სწარმოებს 3.5.2.1.-ში განხილული პროცედურების შესაბამისად.

განუასწავლელი გზის ქვეშ იგულისხმება არამაპროფილებელი ზონის გზის საფარი. მისი გადაკვეთისას ძალაშია ყველა ინსტრუქცია, რომელიც მოყვანილია განასწავლელი გზების გადაკვეთის შემთხვევაში, მხოლოდ თხრილების შევსება და საბოლოო აღდგენა სწარმოებს 3.5.2.2.-ში განხილული პროცედურების შესაბამისად.

გზის გადაკვეთისას მონტაჟი სწარმოებს ორ ეტაპად. იმისათვის, რომ ამ დროს არ შეიზღუდოს საგზაო მოძრაობა, დაშვებულია ტრანსპორტის გადაადგილება გზის გაუთხრელ ნაწილზე. პატარა გზებზე სამუშაოები სრულდება ერთ ეტაპად, ხოლო ტრანსპორტი თხრილებს გადაკვეთის ფოლადის ფილების საშუალებით.

სარკინიგზო ხაზის გადაკვეთისას თხრილის ქრილი უნდა იყოს სწორკუთხა. მისი სიგანეა 70 სმ და ითხრება ლიანდაგიდან 90 სმ-ის სიღრმეზე. რკინის მილების ჩადების და თხრილების შევსების პროცედურები იგივეა, რაც განუასწავლელი გზების გადაკვეთისას.

აღწერილი სამი შემთხვევის გარდა რკინის მიწები უნდა დამონტაჟდეს ყველგან, სადაც ამას ითვალისწინებს პროექტი. იმ შემთხვევაში, როცა მათი სიგრძე აღემატება 20 მ-ს, რკინაბეტონის ბლოკები უნდა განლაგდეს ყოველი 10 მ-ის შემდეგ.

ხიდების გადაკვეთისას მილ-მოწყობილობები უნდა ჩაიდოს სათანადო განზომილების რკინის კასეტებში (მილსადენებში), რომლებიც მაგრდება და ფიქსირდება ხიდის გვერდებზე. თუ ხიდზე უკვე არსებობს რაიმე ინფრასტრუქტურა (ბეტონის საარსო სისტემა), მაშინ რეკომენდირებულია დასამონტაჟებელი მილ-მოწყობილობების მასში გატარება.