

თამარ ბერიძე

საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ზოგიერთი
ერთობლივი ამოცანა და მათი გადაწყვეტის მაგალითები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
2012 წელი

©საავტორო უფლება თამარ ბერიძე, 2012 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თამარ ბერიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ზოგიერთი ერთობლივი ამოცანა და მათი გადაწყვეტის მაგალითები” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფესორი: ანზორ შავგულიძე

პროფესორი: ინესა ხატისკაცი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი: თამარ ბერიძე
დასახელება: საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის
ზოგიერთი ერთობლივი ამოცანა და მათი გადაწყვეტის
მაგალითები

ფაკულტეტი : სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

საინჟინრო გეომეტრიის მათემატიკური და ტექნიკური მიდგომები და დეფინაციები ძალიან ახლოს არის ერთმანეთთან, მაგრამ პირველი პრობლემის თეორიულ მხარეზე აკეთებს აქცენტს, ხოლო მეორე-კონკრეტული ტექნიკური ამოცანის რეალიზაციაზე.

სადისერტაციო ნაშრომში შერჩეული და გამოკვლეულია საინჟინრო გეომეტრიის ისეთი მიდგომები, რომლებიც, ჩვენი აზრით, სამრეწველო დიზაინის ტექნიკურ ამოცანებში შეიძლება იქნას გამოყენებული. ამ თვალსაზრისით წინამდებარე ნაშრომის კონსტრუქციული სქემა ასეთია: სადისერტაციო ნაშრომის სტანდარტული შესავლის შემდეგ იწყება ძირითადი შინაარსის განხილვა. სახელდობრ, ნაშრომის მე-2 პუნქტში (შედეგები და მათი განსჯა) მოცემულია ნაშრომის სამი ძირითადი ნაწილი.

პირველ ნაწილში (2.1) გადმოცემულია საკვლევი ამოცანისათვის სპეციალურად შერჩეული თემები: გეომეტრიული გარდაქმნები, გეოეტრიული ასახვები, ევკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, დეზარგის თეორემა და მისი შედეგები, ზოგადი აფინური შესაბამისობა, აფინურად შესაბამისი ველების მთავარი მიმართულებები, სივრცის პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნა, დაგეგმილების მიმართულების არჩევა ნათესაურ სივრცეებში, ნათესაური სივრცეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში, ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირების კვეთა, მეორე რიგის ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგება, ელიფსური ზედაპირები, სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია.

მეორე ნაწილში (2.2) გრძელდება პირველ ნაწილში დაწყებული კვლევა, მაგრამ იგი გამოყოფილად ეძღვნება მხაზველობითი გეომეტრიის ერთ-ერთი ნაწილის, გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლების, როგორც სამრეწველო დიზაინის ამოცანებისთვის განსაკუთრებით საჭირო თემების კვლევას. სახელდობრ, აქ განხილულია ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (გეომეტრიული ფიგურებიდან გეგმილთა სიბრტყეზე დაცემული ჩრდილები), ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (გეომეტრიულ ზედაპირებზე დაცემული ჩრდილები) და გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები. აქ მოცემული

ყოველი თემა შესწავლილია სამრეწველო დიზაინში, სახელდობრ, მხატვრულ პროექტირებაში მათი გამოყენების თვალსაზრისით.

მესამე ნაწილი (2.3) დათმობილი აქვს სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი ამოცანის-საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ერთობლივი ამოცანების გამოკვეთას, ამ ამოცანების საერთო ინტერესების შესწავლას, მხატვრულ პროექტირებაში ახლებური გრაფიკული მეთოდების ახსნას და მათ გამოყენებას საინჟინრო პრაქტიკის კონკრეტულ ამოცანებში. აღსანიშნავია, რომ ყოველი ტექნიკური ამოცანის ამოხსნა განხორციელებულია კომპიუტერული მხარდაჭერით და რაც მთავარია, ამ საქმეში ინტუიციური ალგორითმის პრაქტიკაში დანერგვის გზების ჩვენებით. ამ თვალსაზრისიდან გამომდინარე, მესამე ნაწილში განხილულია: მხატვრული შემოქმედება მატერიალურ წარმოებაში, ნაკეთობის ესთეტიკური ღირებულება, საგნობრივი გარემოს გარდაქმნა და სამრეწველო დიზაინი, ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები ფართო მოხმარების საგნები დაპროექტებაში, დაპროექტების სტადიები, საპროექტო ამოცანების ძირითადი ტიპები, საპროექტო გრაფიკა, მოდელირება, საინჟინრო გეომეტრიის გამოყენება სამრეწველო დიზაინის ამოცანებში კომპიუტერული მხარდაჭერით. მესამე ნაწილის ბოლო პუნქტი (2.3.9) წარმოადგენს სადისერტაციო ნაშრომის შემაჯამებელ ნაწილს და დისერტაციაში დასმული ამოცანის პასუხს.

წინამდებარე ნაშრომის მე-3 პუნქტში ჩამოყალიბებულია ძირითადი შედეგები. ბოლო პუნქტი კი დათმობილი აქვს გამოყენებულ ლიტერატურას.

Abstract

Mathematical and Technical Approaches and definition of Engineering Geometry are very close to each other, but the first represents theoretical side of problem, and the second - concrete technical realization of the task.

In this dissertation work such geometrical and engineering approaches are selected and researched, which, in our opinion, may be used in the technical tasks of industrial design. In this respect, the present work's constructive scheme is as follows: the thesis begins with the standard introduction, then basic content review is discussed. In particular, in the thesis's 3th paragraph (results and discussion) the three major parts of the work are given.

In first part (2.1) research task's specially selected themes set out, such as geometrical transition, geometrical reflection, Euclidian space and its filling with nonbelonging elements, Desargues theorem and its consequences, the general affine compliance, main directions of affine respective fields, perspective – affine transition of space, selection of main direction of related spaces, representation of related spaces in orthogonal projections, intersection of second-degree surfaces, construction of intersection lines of second –degree surfaces, elliptical surfaces, general projective space homology.

The second part of (2.2) continues the first part of the study, but it is dedicated to one of the parts of Descriptive Geometry- to fundamentals of perspective-.. In particular, there are considered shadows in orthogonal projections---- shadows, which fell from geometrical figures on projection plane, shadows, which fell on the surfaces, and fundamentals of applied perspective Each discussed theme is studied in terms of use in industrial design.

The third part (2.3) is attached to the primary task of work – research of joint task of engineering geometry and industrial design, study of common interests, explain of new methods in graphic design and their use in specific practical tasks. It should be noted that every technical problem solution is implemented by computer support and most importantly, by demonstration of introduction of this intuitive algorithm in the practice. According to this point of view in third part discusses: Artistic creation of material production, product aesthetic value, meaningful environmental transformation of industrial design, technical aesthetic requirements in

the planning of a broad consumer goods, project objectives, the main types of design graphics, modeling, use of engineering geometry in industrial design by computer support. The third part of the last paragraph of (2.3.9) is the concluding part of thesis and an answer of dissertation raised task.

Industrial Design, In 3th paragraph of present work main results established. In 5th section used books has been attached.

შინაარსი

	შესავალი	13
1	ლიტერატურის მიმოხილვა	17
2	შედგენები და მათი განსჯა;	21
2.1	პირველი ნაწილი	21
2.1.1	გეომეტრიული ასახვები	21
2.1.2	გეომეტრიული გარდაქმნები	22
2.1.3	ევკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით	23
2.1.4	დეზარგის თეორემა და მისი შედეგები	28
2.1.5	ზოგადი აფინური შესაბამისობა	32
2.1.6	აფინურად შესაბამისი ველების მთავარი მიმართულებები	35
2.1.7	სივრცის პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნა	37
2.1.8	დაგეგმილების მიმართულებების არჩევა ნათესაურ სივრცეებში	38
2.1.9	ნათესაური სივრცეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში	40
2.1.10	ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირები და მათი გარდაქმნა ბრუნვის ზედაპირებში	41
2.1.11	მეორე რიგის ზედაპირების კვეთა	44
2.1.12	მეორე რიგის ზედაპირების თააკვეთის წირის აგება	45
2.1.13	ელიფსური ზედაპირები	46
2.1.14	სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია	48
2.2	მეორე ნაწილი	51
2.2.1	ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში(გეომეტრიული ფიგურებიდან გეგმილთა სიბრტყეებზე დაცემული ჩრდილები	51
2.2.2	ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (გეომეტრიულ ზედაპირებზე დაცემული ჩრდილები	56
2.2.3	გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები	57
2.3	მესამე ნაწილი	
2.3.1	მხატვრული შემოქმედება მატერიალურ წარმოებაში	70
2.3.2	ნაკეთობის ესთეტიკური ღირებულება	71
2.3.3	საგნობრივი გარემოსგარდაქმნა დასამრეწველო დიზაინი	72
2.3.4	ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები ფართო მოხმარების საგნების დაპროექტებაში	73
2.3.5	დაპროექტების სტადიები	75
2.3.6	საპროექტო ამოცანების ძირითადი ტიპები	80

2.3.7	საპროექტო გრაფიკა	80
	მოდელირება	81
2.3.8	საინჟინრო გეომეტრიის გამოყენება სამრეწველო დიზაინის ამოცანებში კომპიუტერული მხარდაჭერით	83
3	დასკვნა	103
	გამოყენებული ლიტერატურა	106

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1	გეომეტრიული ასახვის მაგალითი	21
ნახ. 2	გეომეტრიული ასახვის მაგალითი	22
ნახ. 3	შექცევადი ასახვის მაგალითი	22
ნახ. 4	წრეწირის თავის თავზე ასახვა	23
ნახ. 5	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	24
ნახ. 6	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	24
ნახ. 7	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	25
ნახ. 8	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	26
ნახ. 9	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	27
ნახ. 10	ეკკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით, ძირითადი ცნებები და განმარტებები	28
ნახ. 11	დეზარგის თეორემა სივრცისათვის	29
ნახ. 12	დეზარგის თეორემა სიბრტყისათვის	30
ნახ. 13	ჰიპერბოლური ჰომოლოგია არასაკუთრივი ღერძით-მსგავსების გარდაქმნა	31
ნახ. 14	პარაბოლური ჰომოლოგია არასაკუთრივი ღერძით-პარალელური გადატანა	31
ნახ. 15	სიბრტყის გაწელება ორმაგი წრფეების გასწვრივ გაწელების ერთი და იგივე კოეფიციენტით	31
ნახ. 16	პარაბოლური ჰომოლოგია უსასრულოდ შორს მდებარე ცენტრით - ძვრა	32
ნახ. 17	აფინური შესაბამისობა	33
ნახ. 18	პესპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნები სიბრტყეზე	33
ნახ. 19	ორ სიბრტყეს შორის აფინური შესაბამისობა განსაზღვრულია შესაბამის წერტილთა სამი წყვილით	34
ნახ. 20	აფინურად შესაბამისი ველების მთავარი მიმართულებები	35
ნახ. 21	სივრცის პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნა	38
ნახ. 22	დაგეგმილების მიმართულება ნათესაობის სიბრტყის პარალელურია	39

ნახ. 23	დაგეგმილების მიმართულება ნათესაობის მიმართულების პარალელურია	39
ნახ. 24	ნათესაური სივრცეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში	40
ნახ. 25	ნათესაური სივრცეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში	41
ნახაზი 26	დახრილი ელიფსური ცილინდრის გარდაქმნა მაგეგმილებელ ცილინდრად	42
ნახ. 27	ელიფსური ჰიპერბოლოიდის გარდაქმნა ბრუნვის ჰიპერბოლოიდად	43
ნახ. 28	ელიფსური პარაბოლოიდის კვეთა ზოგადი მდებარეობის სიბრტყით	45
ნახ. 29	სამღერძიანი ელიფსოიდისა და ელიფსური პარაბოლოიდის ურთიერთკვეთა	46
ნახ. 30	სამღერძიანი ელიფსოიდი	47
ნახ. 31	სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია	48
ნახ. 32	სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია ორთოგონალურ გეგმილებში	49
ნახ. 33	პირამიდის ასახვა პრიზმაზე სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგიით	50
ნახ. 34	დონის წრფის ჩრდილი	52
ნახ. 35	მაგეგმილებელი წრფის ჩრდილი	52
ნახ. 36	ზოგადი მდებარეობის წრფის ჩრდილი	52
ნახ. 37	მრავალკუთხედის ჩრდილი	53
ნახ. 38	წრეწირის ჩრდილი წრეწირია	53
ნახ. 39	წრეწირის ჩრდილი ელიფსია	34
ნახ. 40	მართი პრიზმის ჩრდილი	34
ნახ. 41	პირამიდის ჩრდილი	34
ნახ. 42	ბრუნვის ცილინდრის ჩრდილი	55
ნახ. 43	ბრუნვის კონუსის ჩრდილი	55
ნახ. 44	წრფის ჩრდილი ზედაპირზე	56
ნახ. 45	ბრტყელი ფიგურის ჩრდილი ბრუნვის ცილინდრზე	56
ნახ. 46	სხივური კვეთების მეთოდი	57
ნახ. 47	პერსპექტიული გამოსახულების მიღების სქემა	58
ნახ. 48	წრფის პერსპექტივი	59
ნახ. 49	ფუძეთა სიბრტყეში მდებარე პარალელურ წრფეთა კონის პერსპექტივი	60
ნახ. 50	ფუძეთა სიბრტყის პარალელური წრფის პერსპექტივი	61
ნახ. 51	ფუძეთა სიბრტყის მართობული წრფის პერსპექტივა	61
ნახ. 52	სასურათე სიბრტყის პარალელური წრფის პერსპექტივი	62
ნახ. 53	სურათის ფუძის პარალელური წრფის პერსპექტივი	62
ნახ. 54	სასურათე სიბრტყის მართობული წრფეების პერსპექტივი	63

ნახ. 55	სიბრტყის პერსპექტივი	63
ნახ. 56	სიბრტყის არასაკუთრივი წრფის პერსპექტივი	64
ნახ. 57	წრფეწირის პერსპექტივის აგება შემოხაზული კვადრატის მეთოდით	65
ნახ. 58	ფუძეთა სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში მდებარე წრეწირის პერსპექტივი	66
ნახ. 59	ორთოგონალურ გეგმილებში მოცემული მართკუთხა პარალელეპიპედის პერსპექტივი	68
ნახ. 60	ცილინდრულთაღიანი მართი პრიზმა	69
ნახ. 61	ცილინდრულთაღიანი მართი პრიზმის პერსპექტივი	69
ნახ. 62	ელიფსური პარაბოლოიდის ბრტყელი კვეთი	89
ნახ. 63	litget (სურთი)	91
ნახ. 64	litget (მოდელი)	92
ნახ. 65	Elitget (სალონი)	93
ნახ. 66	მოტოგანდოლა(ნახაზი)	94
ნახ. 67	მოტოგანდოლა (მოდელი)	95
ნახ. 68	Elitget –ის ცხვირი	96
ნახ. 69	მემანქანის ჯიხური (მოდელი)	98
ნახ. 70	მემანქანის ჯიხური (საამწყობო ნახაზი)	99
ნახ. 71	$\varphi(m,t)$ ზედაპირის ასახვა ეპიურზე	100
ნახ.72	$\varphi(m,t)$ ზედაპირის მოდელი	101
ნახ. 73	ჯიხურის მოდელი	101
ნახ. 74	ელმავლის მოდელი	102

შესავალი

სადისერტაციო თემის აქტუალობა

სამრეწველო დიზაინი ადამიანთა შემოქმედებითი საქმიანობის ის უბანია, რომლის მიზანია ინდუსტრიული წესით გამოშვებული გამოყენებითი საგნების სრულყოფა. სამრეწველო დიზაინი ადამიანს ოპტიმალურ და ჰარმონიულ საგნობრივ გარემოს უქმნის. ამის მიღწევა კი შესაძლებელია საგანთა კომპლექსების ან ცალკეული ნაკეთობების ფუნქციური, ესთეტიკური და საექსპლოატაციო თვისებების ერთიანობით.

კონსტრუქციების შესაქმნელად საჭიროა სხვადასხვა საინჟინრო დარგის სპეციალისტების შემოქმედებითი კონტაქტები, რაც, ერთი მხრივ, ზრდის წარმოების ეფექტიანობას, მეორე მხრივ, ხელს უწყობს მომხმარებლის მოთხოვნილებების მაქსიმალურ დაკმაყოფილებას. საქმე ისაა, რომ სამრეწველო დიზაინი ორგანულად ერწყმის ადამიანთა საზოგადოებისათვის განკუთვნილ თანამედროვე სამრეწველო პროდუქციის შექმნის პროცესს, რომელსაც წარმართავს მრეწველობაში, ტექნოლოგიასა და ეკონომიკაში გარკვეული დიზაინერი, რომლის საქმიანობაც, პროექტის შედგენის დროს, მეცნიერების სხვადასხვა დარგის მიღწევებზე და თანამედროვე ტექნოლოგიებზეა დამყარებული.

სამრეწველო დიზაინი, როგორც პრაქტიკული საქმე, დაფუძნებულია ტექნიკურ ესთეტიკაზე, ეკონომიკაზე, სოციოლოგიაზე, ერგონომიკაზე. სამრეწველო დიზაინს ახასიათებს საცდელი ობიექტის მოდელირება, რომელიც ნაკეთობის საბოლოო ოპტიმალური ვარიანტის დადგენამდე მუდმივ მოდიფიკაციას განიცდის. სამრეწველო დიზაინის მეთოდი მოიცავს დასაპროექტებელი ობიექტის კვლევას, ფუნქციურ – ერგონომიულ და კონსტრუქციულ – ტექნოლოგიურ ძიებას ნაკეთობათა მხატვრული კონსტრუირების თვალსაზრისით.

სამრეწველო დიზაინი XX საუკუნის პირმშოდ ითვლება, თუმცა მისი ჩანასახები საზოგადოების განვითარების უფრო ადრინდელ პერიოდებშიც გვხვდება. სახელდობრ, იმ დროიდან, როცა კუსტარული წარმოება მანქანურმა წარმოებამ შეცვალა, რამაც ტექნიკურ გადატრიალებას დაუდო საფუძველი. დაიწყო სამრეწველო დიზაინის სერიოზული განვითარება. მისი ფუძემდებლები იყვნენ გერმანელები: პ. ერენსი, ვ. როპიუსი, გ. ზემპერი, გ. მეტიზიური, ბელგიელი ვან დე

ველდე, ფრანგი ლე-კორპუზიე და სხვები. 30-იანი წლების შემდეგ კი სამრეწველო დიზაინის განვითარების ცენტრმა ამერიკის შეერთებულ შტატებში გადაინაცვლა, თუმცა ამ დარგის ყველაზე წარმატებულ და მნიშვნელოვან კერად მხატვრული კონსტრუირების ულმის (გერმანიის) სკოლა ითვლება.

საქართველოში სამრეწველო დიზაინის ნიმუშები ადრეული ხანიდან გვხვდება, მაგრამ მისი განვითარების დასაწყისად მაინც 1899 წელს ჩამოყალიბებული ე.წ. კავკასიის კუსტარული კომიტეტი და თბილისში 1910 წელს გახსნილი მხატვრული ხელოსნობის ცენტრის (განათლება) სამხატვრო სკოლა-სახელოსნოა მიჩნეული. შემდგომ პერიოდში, როცა ქართულ მრეწველობას და კულტურას საკუთარი წარმატებული შედეგები გაუჩნდა, დაიწყო განვითარების ახალი ეტაპი: შეიქმნა სხვადასხვა დანიშნულების სამრეწველო და ყოფითი ნაკეთობების მხატვრული კონსტრუირების პროექტები, ქარხნებსა (ზუგდიდის ფაიფურის ქარხანა) და ფაბრიკებში (მაგ. ხაშურის საფეიქრო-საგალანტერიო ფაბრიკა) ჩამოყალიბდა სპეციალური განყოფილებები, რომელთა მთავარ ამოცანად მხატვრულ კონსტრუირებასთან დაკავშირებული პროგრამების განხორციელება იყო დასახული.

საქართველოში სამრეწველო დიზაინის განვითარებაში კიდევ ერთ-ერთ წინ გადადგმულ ნაბიჯად შეიძლება ჩაითვალოს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში დიზაინის კათედრის გახსნა (კათედრის გამგე, პროფ. კ. ამირეჯიბი).

ის, რაც გამოყენებითი საგნების გარეგან სახეს განსაზღვრავს, პირველად ქაღალდზე იბადება საინჟინრო გრაფიკის მეთოდების გამოყენებით. იმის გამო, რომ საინჟინრო გრაფიკის მეთოდების თეორიული საფუძველი საინჟინრო გეომეტრიაა, სამრეწველო დიზაინიც მჭიდრო კავშირშია მასთან და ხშირ შემთხვევაში გამოყენებითი საგნების გარეგნული სახის ოპტიმალური ვარიანტის მოძიება დამოკიდებულია იმ გეომეტრიულ საფუძველზე, რომელსაც მაძიებელი ასაგები გამოსახულებისთვის აირჩევს.

ტერმინოლოგიის დაზუსტების მიზნით სამრეწველო დიზაინის იმ განშტოებას, რომელიც გამოყენებითი საგნების გარეგნული სახის

ასახვას გულისხმობს, პირობით, სამრეწველო გრაფიკა დავარქვათ და მიზნად დავისახოთ საინჟინრო გეომეტრიის მეთოდების სამრეწველო გრაფიკაში გამოყენების პრობლემათა კვლევა.

თუ მივიჩნევთ, რომ თანამედროვე წარმოების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია გამოშვებული პროდუქციის გარეგნული სახე ანუ დიზაინი, მაშინ იოლად მივალთ იმ დასკვნამდე, რომ ამ მახასიათებლის გაუმჯობესებისთვის გადადგმული ყოველი ნაბიჯი და მათ შორის ჩვენს მიერ არჩეული პრობლემის მეცნიერული კვლევა აქტუალურია.

სადისერტაციო თემის სიახლე

საინჟინრო გრაფიკის საუნივერსიტეტო კურსი ჩვეულებრივად გულისხმობს გრაფიკულ გამოსახულებათა მიღების მხოლოდ ზოგადი საფუძვლების შესწავლას. სპეციალობათა სიმრავლის გამო, მოქმედ სილაბუსებში არ არის და არც შეიძლება იყოს გათვალისწინებული ცალკეული ვიწრო დარგების სპეციფიკა. ეს გარემოება გრაფიკული მეთოდების ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობებს ზღუდავს. გამოვეყნოთ ერთი კონკრეტული შემთხვევა. მაგალითად, საუნივერსიტეტო კურსი არ შეიცავს საინჟინრო გეომეტრიის იმ სპეციალურ საკითხებს, რომელთა ცოდნაც საჭიროა სამრეწველო დიზაინის კონკრეტული ამოცანების წარმატებული ანუ ოპტიმალური გზებითა და მეთოდებით ამოსახსნელად. სწორედ ამ ხარვეზის აღმოფხვრას ეძღვნება ჩვენი ნაშრომი და აი, რატომ: საინჟინრო გეომეტრიის თეორიისა და პრაქტიკის ზღვა მასალაში გაბნეული სპეციალური, ერთი დარგისთვის საჭირო საკითხების მოძიება და მოძიებულის საინჟინრო პრაქტიკის ამოცანებისადმი მისადაგება მივიჩნევთ სამეცნიერო – კვლევითი სამუშაოს ერთ-ერთ ფორმად და ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მიზნად დავისახეთ საინჟინრო გეომეტრიის იმ მეთოდების შეკრება, რომლებიც სამრეწველო დიზაინის გრაფიკული ამოცანების ამოხსნის გამარტივებაში დაგვეხმარებოდა. ჩვენ ვცადეთ ამგვარი სამუშაოს შესრულება და მოპოვებული შედეგების დემონსტრირება ნიშანდობლივ ამოცანებში.

იმის გამო, რომ ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების და შედეგების ანალოგი ჩვენთვის ცნობილ სამეცნიერო და სასწავლო ლიტერატურაში არ მოიპოვება, საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ურთიერთდაკავშირების ჩვენეული ვარიანტი მეცნიერებისთვის გარკვეულ სიახლედ მიგვაჩნია და ვოვლით, რომ მიღებული შედეგების პრაქტიკაში დანერგვა წარმატების მომტანი იქნება.

ნაშრომის მიზანი

ნაშრომის მიზანია, საინჟინრო გეომეტრიის საშუალებათა გამოყენება მხატვრულ პროექტირებაში (სამრეწველო დიზაინში) კომპიუტერული მხარდაჭერით.

კვლევის ობიექტი

საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის (ნაკეთობის მხატვრული პროექტირება) პრობლემატიკა და პრაქტიკაში დანერგვა.

კვლევის მეთოდები

წინამდებარე ნაშრომში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია საინჟინრო გეომეტრიის მეთოდები და ნაკეთობის მხატვრულ პროექტირებაში გავრცელებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიდგომები. კვლევის ჩვენს მიერ არჩეულ ქარგაში გათვალისწინებულია გრაფიკული ამოცანების ამოხსნა კომპიუტერის მხარდაჭერით. ამდენად, გარდა ზემოაღნიშნულისა, ნაშრომში კომპიუტერული საინჟინრო გრაფიკის მეთოდოლოგია ხშირად არის გამოყენებული.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ნებისმიერი სამეცნიერო-კვლევითი ნაშრომი იწყება იმის გარკვევით, თუ საიდან მომდინარეობს ნაშრომში დასმული პრობლემა, რა არის ცნობილი ამ პრობლემის შესახებ და არსებობს თუ არა ალტერნატიული გზა მის გადასაჭრელად. ამასთან დაკავშირებით კიდევ ერთხელ გავისხენოთ თემის დასახელება – „საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ზოგიერთი ერთობლივი ამოცანა და მათი გადაწყვეტის მაგალითები“ – და ჩამოვაყალიბოთ ამ თემით დაინტერესების წინმსწრები პირობები არსებული სამეცნიერო ლიტერატურის საფუძველზე.

როგორც თემის დასახელებიდან ჩანს, საკვლევი ობიექტია საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის საერთო ამოცანები და მათი გადაწყვეტა ერთობლივი საშუალებებით.

ტერმინოლოგიური ცდომილებების თავიდან აცილებისა და საკვლევი პრობლემის უკეთ წარმოჩენის მიზნით გადავხედოთ ჩვენ მიერ საბაზისოდ მიჩნეულ სამეცნიერო ლიტერატურას.

საინჟინრო გეომეტრია არის გეომეტრიის დარგი, რომელიც შეისწავლის ფიგურის გეგმილური გარდაქმნის მიმართ ინვარიანტულ თვისებებს. სივრცის ან სიბრტყის გარდაქმნას გეგმილური ეწოდება თუ იგი წრფეს ასახავს წრფეში. საინჟინრო გეომეტრიაში განიხილება გეგმილური წრფის, სიბრტყისა და სივრცის ცნებები. ცნობილია, რომ გეგმილურ სიბრტყეს მივიღებთ, თუ ეკვლიდეს ჩვეულებრივ სიბრტყეს დავუმატებთ ამ სიბრტყიდან უსასრულოდ დაშორებულ ელემენტებს. ამ შემთხვევაში ითვლება, რომ სიბრტყეზე მოცემული წრფის ყველა პარალელური წრფე იკვეთება და ამით განისაზღვრება ე.წ. არასაკუთრივი წრფე. სიბრტყის ყველა არასაკუთრივ წერტილთა ერთობლიობას არასაკუთრივი წრფე ეწოდება. ანალოგიურად განისაზღვრება ე.წ. გეგმილური სივრცე. ყოველი წრფე მისთვის არასაკუთრივი წერტილის დამატების შემდეგ გადაიქცევა შეკრულ წირად და მას გეგმილური წრფე ეწოდება.

გეგმილური სიბრტყე განსხვავებულია ეკვლიდეს სიბრტყის აგებულებიდან. გეგმილურ სიბრტყეზე წრფეთა ყოველი წყვილი გადაკვეთილია. ასევე გადაკვეთილია გეგმილურ სივრცეში სიბრტყეთა ყოველი

წყვილი. გეგმილური სიბრტყისა და სივრცის შემოდება საშუალებას იძლევა, განისაზღვროს გეგმილური გარდაქმნა, როგორც ურთიერთცალსახა წერტილოვანი ასახვა გეგმილური სიბრტყისა ან სივრცისათვის თავზე, რომელიც წრფეს წრფედ ასახავს. საინჟინრო გეომეტრიის ერთ-ერთი ძირითადი დებულებაა ორადობის პრინციპი. ორადული წინადადებების მაგალითებია პასკალის თეორემა და ბრიანშონის თეორემა. საინჟინრო გეომეტრიის ძირითადი ცნებებისა და წინადადებების მაგალითებია ორმაგი ფარდობა და დეზარგის თეორემა.

საინჟინრო გეომეტრიის მეთოდები საშუალებას იძლევა ღმად ჩავწვდეთ სხვადასხვა გეომეტრიულ საკითხს და მოვახერხოთ ამ საკითხების გამოყენება საინჟინრო პრაქტიკის, მათ შორის სამრეწველო დიზაინის ამოცანებში.

საინჟინრო გეომეტრიის მეთოდების უკეთ გასაცნობად ჩვენ ღმად შევისწავლეთ ამ დარგის სასწავლო და სამეცნიერო ლიტერატურა. მათ შორის ძირითადია ქვემოთ ჩამოთვლილი გამოცემები, დამხმარე კი მითითებულია გამოყენებული ლიტერატურის საერთო სიაში.

1. Глаголев Н. А. Проективная геометрия. М., „Высшая школа“, 1966. ст. 153-192.
2. Глаголев Н. А. Начертательная геометрия. М., „Высшая школа“, 1963. ст. 89-151.
3. Кокстер Х. С. М. Действительная проективная плоскость. М., Гос. Изд.-во Физико-математической литературы. 1959. ст. 23-67.
4. Юнг Дж. В. Проективная геометрия. М., Гос. Изд.-во Физико-математической литературы. 1961. ст. 21-63.
5. ა.შავგულიძე, ი.ხატისკაცი, ზ.კვინიკაძე, გ.ჩიტაიშვილი., ნ.ნიკვაშვილი საინჟინრო გრაფიკა მათემატიკოსებისათვის. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2001. III ნაწილი. გვ. 16.
6. С. А. Фролов. Методы преобразования ортогональных проекций. Изд-во „Машиностроение“, М., 1970. ст. 187.
7. ი. ხატისკაცი ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგების თეორია და პრაქტიკული გამოყენება. თბილისი, „განათლება“, 1989.

საინჟინრო გეომეტრიაში გამოცემული ლიტერატურის პარალელურად, ჩვენ მხატვრულ კონსტრუირებასა და გამოყენებით პერპექტივში გამოქვეყნებულ შრომებსაც გავეცანით და შევისწავლეთ კიდევ ისინი. მათი ძირითადი ნაწილი ქვემოთაა ჩამოთვლილი, დამხმარე კი მითითებულია გამოყენებული ლიტერატურის საერთო სიაში.

1. Рынин Р. А. Линейная перспектива. Петроград. 1918.
2. გ. ვაჩნაძე. გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები. თბილისი,
3. Тимрот Е.С. Начертательная геометрия, Государственное Изд.-во Литературы по строительству, архитектуре и строиматериалам. М. 1962.
4. Кочегаров Б.Е., Промышленный дизайн, Владивосток, Изд.-во. ДВГТУ, 2006.
5. Ковешников Н.А., Дизайн. История и теория, М. Изд.-во Омега-л, 2009.
6. Сомов Ю., Композиция С в технике, М. Машиностроение, 1987.
7. Ульрих К.У, Эппингер С, Промышленный дизайн, М. Вершина, 2007.
8. Панеро Д., Зелник М., Основы эргономики, человек, пространство, интерьер. М. Изд.-во АСТ.

მითითებული ლიტერატურის შესწავლით, გამოვიტანეთ დასკვნა, რომ ჩვენს ხელთ არსებულ ნაშრომებში ცალკე საკითხად არ არის შესწავლილი საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ერთობლივი ამოცანები და ბუნებრივია, არც ამ ამოცანების ერთობლივი საშუალებების გამოყენებით ამოხსნაზეა საუბარი, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საქმე კომპიუტერული საინჟინრო გრაფიკის ახლად შექმნილი მეთოდების პრაქტიკაში დანერგვასთან გვაქვს: Финкельштейн Э. Auto CAD 2007 и Auto CAD LT 2007. Библия пользователя. „диалектика“, М., 2007., Вернер Зоммер. Auto CAD 2008. Руководство

конструктора. Изд-во „Бином“, М., 2008., ა. შავგულიძე, გ. გარიშვილი. კომპიუტერული საინჟინრო გრაფიკა. გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 1997., ა. შავგულიძე, გ. გარიშვილი. საინჟინრო გრაფიკის ამოცანების გადაწყვეტა ავტომატიზირებული დაპროექტების სისტემის AutoCAD-ის საშუალებით. გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 1997.

ზემოაღნიშნულს შესაძლოა დაუმატოთ ისიც, რომ ჩვენ მიზნად დავისახეთ საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის შესწავლა ახალი რეალობის გათვალისწინებით, ძველი და ახალი მასალების შეჯერება ერთ დარგში - სამრეწველო დიზაინში მათი გამოყენების თვალსაზრისით. ჩვენ შევეცადეთ, პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული კომპიუტერული ნახაზების შედგენაში შეგვეტანა ე.წ. ინტუიციური ალგორითმის ცნება და ამით კომპიუტერის ყოველი მოქმედება (მაგალითად, ზედაპირების წარმოქმნისა და ასახვის ამოცანებში) საინჟინრო გეომეტრიის მეთოდების გამოყენებით შეგვევსო.

ჩვენ მიერ შესწავლილი და ჩვენი აზრით რამდენადმე გადაჭრილი პრობლემა გულისხმობს მხატვრულ დაპროექტებაში სიახლის შეტანის მცდელობას საინჟინრო ამოცანების მეცნიერულად დასაბუთების სახით.

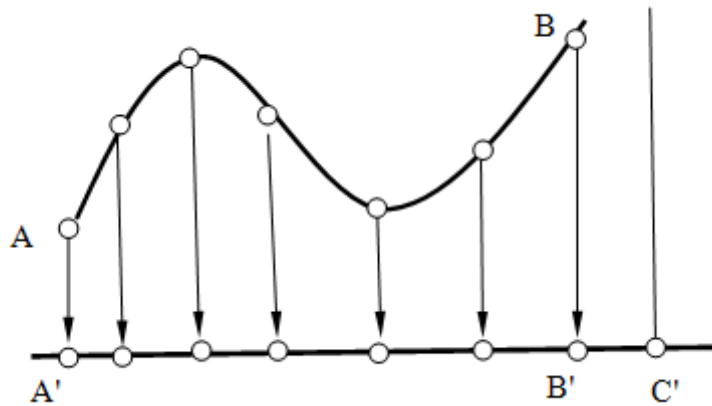
2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1 პირველი ნაწილი

2.1.1 გეომეტრიული ასახვები

სხვადასხვა გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნისას ხშირად გვიხდება გადასვლა ერთი გეომეტრიული ფიგურიდან მის გარკვეულ სახეცვლილებასთან. მაგალითად, მხაზველობით გეომეტრიაში სივრცეში მდებარე ფიგურების ანასახებს განვიხილავთ და ამ ანასახებზე მოქმედებების შესრულებით ვწყვეტთ სივრცით ამოცანებს.

ორ გეომეტრიულ ფიგურას, ან მათ ნაწილებს შორის შეიძლება დამყარებული იყოს გარკვეული შესაბამისობა. იმ წესს ან კანონს, რომლის მიხედვითაც Φ ფიგურის თითოეულ წერტილს Φ' ფიგურის განსაზღვრული წერტილი შეესაბამება, Φ ფიგურის Φ' ფიგურაში ასახვა ეწოდება[14].

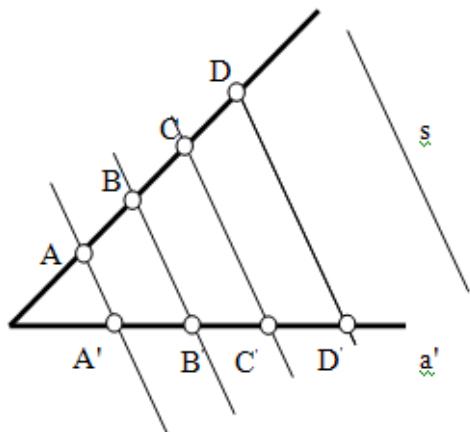


ნახ. 1

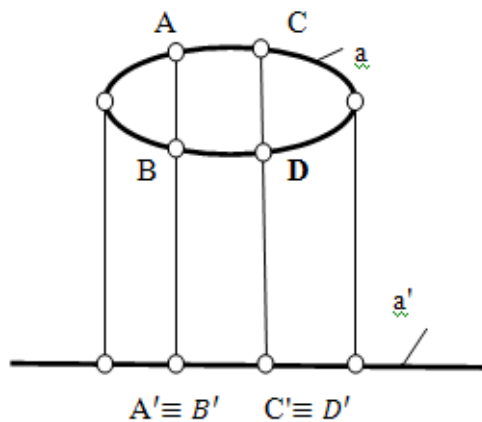
თუ ფიგურის წერტილს Φ' ფიგურის A' წერტილი შეესაბამება, ვამბობთ, რომ წერტილი A' წერტილზე აისახა. A' -ს წერტილის ანასახი ეწოდება, ხოლო წერტილი -ის წინა სახეა (ნახ. 1).

ასახვის განსაზღვრებიდან სულაც არ გამომდინარეობს, რომ აუცილებელია Φ' ფიგურის ყოველი წერტილი ფიგურის რომელიმე წერტილის ანასახს წარმოადგენდეს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, არ არის აუცილებელი Φ' ფიგურის ყველა წერტილს ჰქონდეს წინა სახე

(ნახ. 1). აგრეთვე, Φ' ფიგურის წერტილს შეიძლება ჰქონდეს ერთზე მეტი წინა სახე, ანუ ფიგურის რამდენიმე განსხვავებული წერტილი შეიძლება Φ' ფიგურის ერთი და იგივე წერტილზე აისახოს (ნახ. 2).



ნახ. 2



ნახ. 3

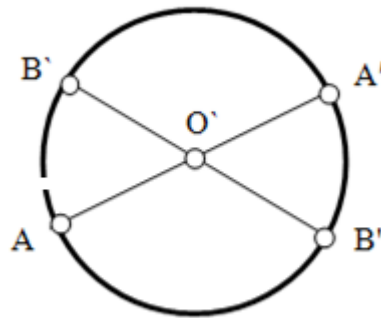
თუ Φ ფიგურა Φ' ფიგურაზე ისე აისახა, რომ Φ ფიგურის ნებისმიერი ორი განსხვავებული წერტილი Φ' ფიგურის ისევ ორ განსხვავებულ წერტილზეა ასახული, ასახვას შექცევადი ეწოდება. ამ შემთხვევაში Φ და Φ' ფიგურების წერტილთა შორის ურთიერთ ცალსახა შესაბამისობაა დამყარებული. რაც იმას ნიშნავს, რომ არა მარტო Φ ფიგურის ნებისმიერ A წერტილს შეესაბამება

თუ Φ ფიგურა Φ' ფიგურაზე ისე აისახა, რომ Φ ფიგურის ნებისმიერი ორი განსხვავებული წერტილი Φ' ფიგურის ისევ ორ განსხვავებულ წერტილზეა ასახული, ასახვას შექცევადი ეწოდება. ამ შემთხვევაში Φ და Φ' ფიგურების წერტილთა შორის ურთიერთცალსახა შესაბამისობაა დამყარებული. რაც იმას ნიშნავს, რომ არა მარტო Φ ფიგურის ნებისმიერ A წერტილს შეესაბამება A' ფიგურის ერთადერთი A' წერტილი, არამედ პირიქითაც, Φ' ფიგურის ნებისმიერ A' წერტილსაც Φ ფიგურის ერთადერთი A წერტილი შეესაბამება (ნახ. 3).

2.1.2 გეომეტრიული გარდაქმნები

ისეთ ურთიერთცალსახა ასახვას, როცა Φ ფიგურა თავისთავზე აისახება, Φ ფიგურის გარდაქმნა ეწოდება. საზოგადოდ, გარდაქმნის დროს Φ ფიგურის წერტილები ამავე ფიგურის სხვა წერტილებზე

აისახება. რადგან Φ ფიგურის გარდაქმნა ურთიერთცალსახაა, ამიტომ იგი შექცევადია.



ნახ. 4

წრეწირის შესაბამის წერტილებს შორის დამყარებული შესაბამისობა წრეწირს თავის თავზე ასახავს (ნახ. 4). უფრო ზუსტად თუ ჩამოვაყალიბებთ, Φ ფიგურის თავის თავზე ისეთ ასახვას, რომელშიც ორ განსხვავებულ წერტილს ორი განსხვავებული წერტილი შეესაბამება, Φ ფიგურის გარდაქმნა ეწოდება.

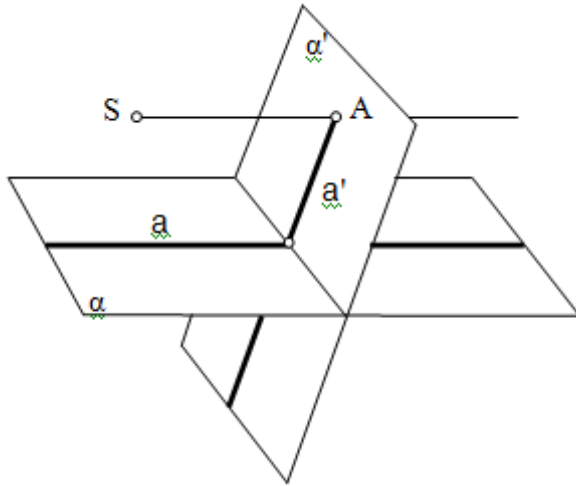
რადგან სიბრტყე გეომეტრიული ფიგურაა, ამიტომ სიბრტყის გარდაქმნის ცნება ფიგურის გარდაქმნის ცნების ანალოგიურია. სიბრტყის გარდაქმნა ეწოდება სიბრტყის თავის თავზე ისეთ ასახვას, რომელშიც სიბრტყის ორ განსხვავებულ წერტილს ისევ ორი განსხვავებული წერტილი (ანასახი) შეესაბამება.

ასახვას, რომელშიც Φ ფიგურის ნებისმიერი წერტილი თავის თავზე აისახება, Φ ფიგურის იგივე გარდაქმნა ეწოდება.

2.1.3 ევკლიდეს სივრცე და მისი შევსება

არასაკუთრივი ელემენტებით

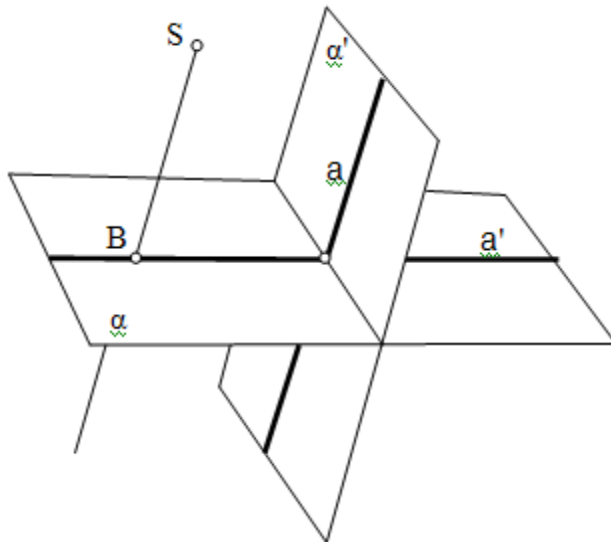
თუ α სიბრტყეს α' სიბრტყეზე დავაგებმილებთ, a წრფის წერტილები a' წრფის წერტილებზე აისახება, მაგრამ a' წრფეზე გვექნება ერთი წერტილი, რომელიც არ აღმოჩნდება a წრფის რომელიმე წერტილის გეგმილი. ეს არის წერტილი A' , რომელიც a წრფის პარალელურ წრფეზე ძევს.



ნახ. 5

ე. ი. a' წრფის ყველა წერტილი a წრფის ყველა წერტილის გეგმილს წარმოადგენს, გარდა ერთი წერტილისა. ამ დანაკლისის შესავსებად ჩავთვალოთ, რომ A' წერტილი a წრფის „უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილის“ გეგმილია (ნახ. 5).

ავიღოთ a წრფე და მასზე არამდებარე P წერტილი. P წერტილზე გავატაროთ a წრფის მკვეთი b წრფე. წრფეების გადაკვეთის წერტილი



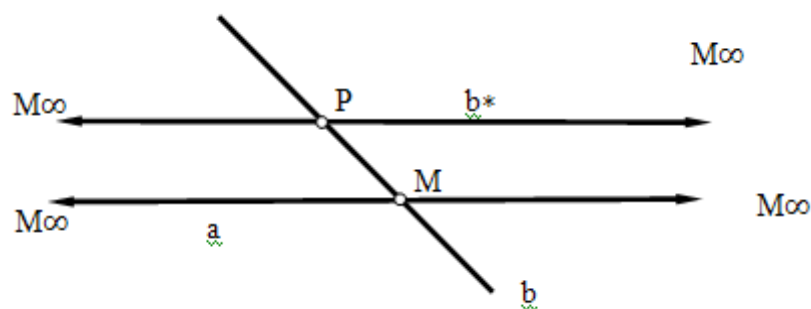
ნახ. 6

აღვნიშნოთ M -ით. წარმოვიდგინოთ, რომ მკვეთი b წრფე შემობრუნდება P წერტილის ირგვლივ a წრფის პარალელურ b^* მდებარეობაში. მაშინ b და a წრფეების გადაკვეთის M წერტილი გადაადგილდება უსასრულობაში a წრფის გასწვრივ. ამიტომ, როცა

a და b წრფეები პარალელური გახდება, ჩვენ მათ მივაწერთ „უსასრულოდ შორს მდებარე“ გადაკვეთის წერტილს, ანუ ვიტყვი, რომ პარალელური წრფეები უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილში იკვეთება (ნახ. 6).

დავაკვირდეთ, როგორ გადაადგილდება a და b წრფეების გადაკვეთის M წერტილი, როცა მკვეთი b წრფე სრულ ბრუნს აკეთებს P წერტილის ირგვლივ. თავიდან M წერტილი მოძრაობს გარკვეული მიმართულებით, როცა b წრფე მიიღებს b^* მდებარეობას, M წერტილი მივა a წრფის უსასრულოდ შორს მდებარე M_{∞} მდებარეობაში. ვთქვათ, b წრფე აგრძელებს ბრუნვას. მაშინ M წერტილი აღმოჩნდება ზემოთ აღნიშნული M_{∞} მდებარეობის საწინააღმდეგო მიმართულებით და ბოლოს, როცა b წრფე დაამთავრებს ბრუნვას, დაუბრუნდება თავის საწყის M მდებარეობას. სხვანაირად რომ ვთქვათ, შემდგომში წრფეს განვიხილავთ, როგორც შეკრულ წირს[33].

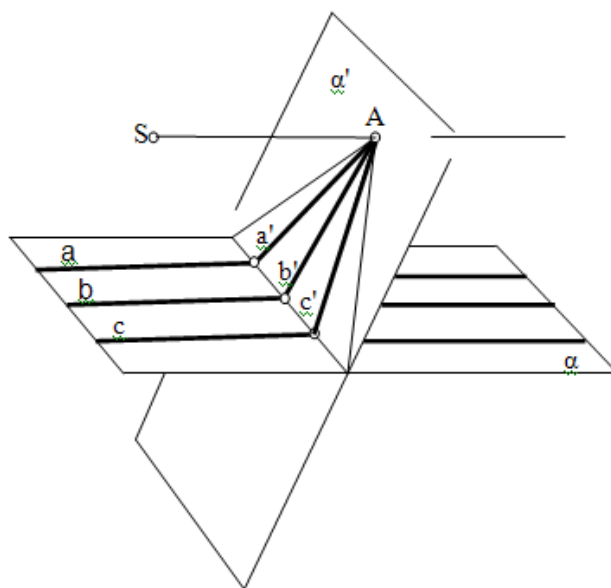
ახლა უკვე a' წრფის ყოველი წერტილი a წრფის რომელიმე წერტილის გეგმილს წარმოადგენს (ჩვეულებრივს ან უსასრულოდ შორს მდებარეს). პირიქით, a წრფის ყოველი წერტილი a' წრფის რომელიმე განსაზღვრულ წერტილზე (ჩვეულებრივზე ან უსასრულოდ შორს მდებარეზე) გეგმილდება (ნახ. 7).



ნახ. 7

α სიბრტყის კუთვნილი და a წრფის პარალელური წრფეები α' სიბრტყეზე გადაკვეთილ წრფეებად გეგმილდება. მათი გადაკვეთის წერტილი სწორედ ის წერტილია, რომელიც ითვლება a წრფის უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილის გეგმილად. ამიტომ ვთვლით,

რომ ერთმანეთის პარალელურ ყველა წრფეს აქვს ერთი საერთო უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილი ანუ პარალელური წრფეები ერთ წერტილში იკვეთება (ნახ. 8).

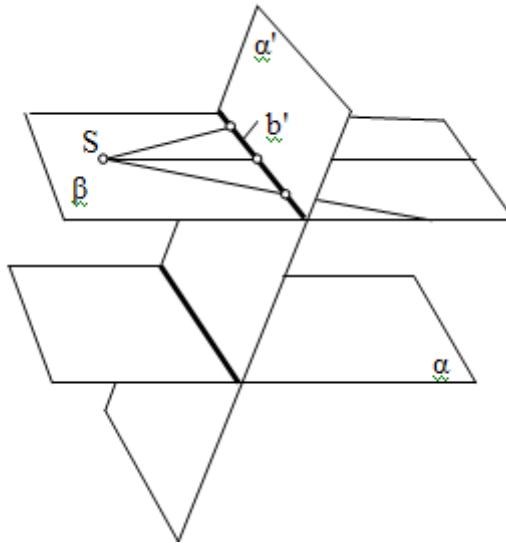


ნახ. 8

α სიბრტყის პარალელური ყველა მაგებმილებელი წრფე ერთ β სიბრტყეში ძევს. ეს β სიბრტყე გეგმილთა α' სიბრტყეს b' წრფეზე კვეთს. ამ b' წრფის წერტილები α სიბრტყის უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილების გეგმილებს წარმოადგენს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, b' წრფე α სიბრტყის უსასრულოდ შორს მდებარე წრფის გეგმილია[33].

აქედან შემოგვაქვს დასკვნა, რომ ერთმანეთის ყველა პარალელური სიბრტყე იკვეთება ერთ უსასრულოდ შორს მდებარე (არასაკუთრივ) წრფეზე და პირიქით, არასაკუთრივ წრფეზე გადაკვეთილი სიბრტყეები ერთმანეთის პარალელური სიბრტყეებია. ე.ი. ორი არაპარალელური სიბრტყის არასაკუთრივი წრფეები სხვადასხვა წრფეებია. ეს ნიშნავს, რომ არსებობს უსასრულო რაოდენობა არასაკუთრივი წრფეებისა.

სივრცის უსასრულოდ შორს მდებარე წრფეების ერთობლიობა (იგივეა, რაც უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილთა ერთობლიობა) ყოველ საკუთრივ წრფესთან იკვეთება ერთ წერტილში და ამიტომაც ეწოდება მას არასაკუთრივი(უსასრულოდ შორსმდებარე) სიბრტყე(ნახ.9).



ნახ. 9

თუ $A\in b$, მაშინ $A\in$ წერტილზე გამავალი წრფეები პარალელურია b წრფეზე გამავალი სიბრტყეების (ნახ. 10).

ეკვლიდეს სიბრტყეზე არასაკუთრივი წრფის შემოტანით გაფართოებულ სივრცეში განისაზღვრა ერთი რომელიმე სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეთა ერთობლიობა, რომელსაც სიბრტყეთა შეკვრა ეწოდება და ამ შეკვრის ღერძს არასაკუთრივი წრფე წარმოადგენს. ეს არასაკუთრივი წრფე შეკვრის ყველა სიბრტყის კუთვნილია. ამგვარად, სიბრტყეთა შეკვრასთან ერთად, რომელსაც გააჩნია საკუთრივი ღერძი, გვაქვს პარალელურ სიბრტყეთა შეკვრა არასაკუთრივი ღერძით.

სივრცის ყველა არასაკუთრივი ელემენტების ერთობლიობას უნდა გააჩნდეს შემდეგი თვისებები: თითოეულ წრფესთან ერთ წერტილში

უნდა იკვეთებოდეს (ამ წრფის არასაკუთრივ წერტილში) და თითოეულ სიბრტყესთან – ერთ წრფეზე (ამ სიბრტყის არასაკუთრივ წრფეზე). ჩანს, ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილება შეიძლება, თუ ეკვლიდეს სივრცეს დაეუმატებთ არასაკუთრივ სიბრტყეს, როგორც არასაკუთრივ წრფეთა და წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს.

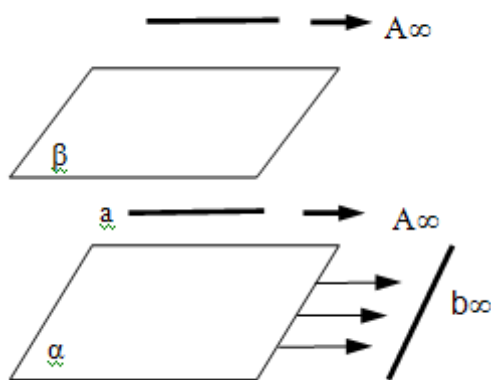
პარალელურ წრფეთა თითოეულ კონას ერთი არასაკუთრივი წერტილი შეესაბამება, პარალელურ სიბრტყეთა თითოეულ შეკვრას კი – ერთი არასაკუთრივი წრფე.

არასაკუთრივ და საკუთრივ ელემენტთა ურთიერთკუთვნილება შემდეგნაირად განისაზღვრება: არასაკუთრივი წრფე ეკუთვნის ყველა

იმ საკუთრივ სიბრტყეს, რომლებიც შედის ამ წრფეზე გამავალ პარალელურ სიბრტყეთა შეკვრაში. ყველა არასაკუთრივი წერტილი და არასაკუთრივი წრფე ეკუთვნის არასაკუთრივ სიბრტყეს.

ეკლიდეს გაფართოებულ სივრცეს, შევსებულს არასაკუთრივი ელემენტებით, პროექციული სივრცე ეწოდება.

პროექციული გეომეტრიის ტერმინოლოგიით თუ ვისარგებლებთ, სიბრტყეზე მდებარე პარალელური წრფეები ქმნის წრფეთა კონას არასაკუთრივი ცენტრით. ვინაიდან სიბრტყის თითოეულ წერტილზე გადის მოცემული წრფის პარალელური მხოლოდ ერთი წრფე, ამიტომ მოცემულ სიბრტყეზე მოცემული წრფის პარალელურად მხოლოდ ერთი წრფეთა კონა გაივლის.



ნახ. 10

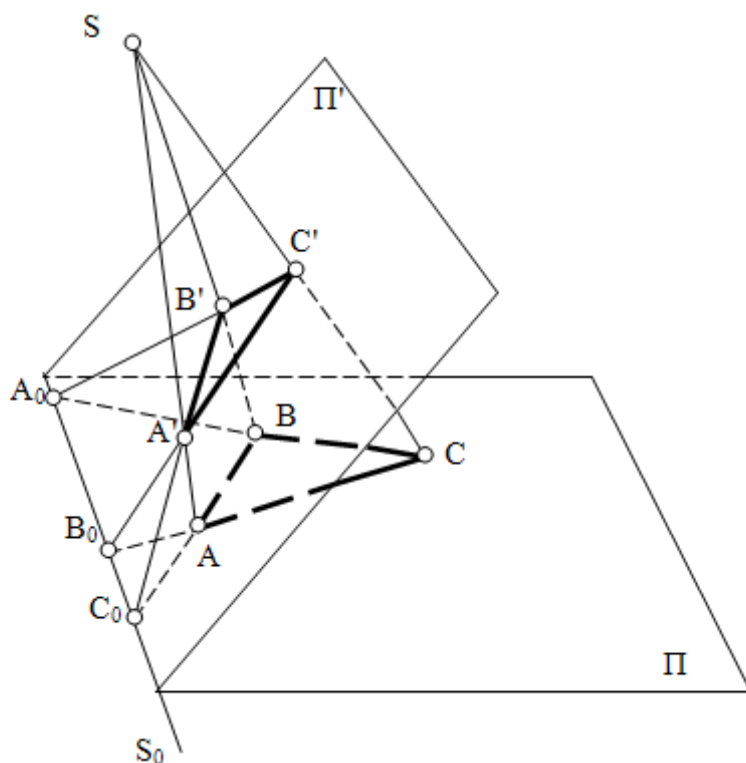
პროექციული სივრცე, ეკლიდეს სივრცის მსგავსად მატერიალური სამყაროს ერთ-ერთ გეომეტრიულ მოდელად ითვლება. ამიტომ მიზანშეწონილად ჩავთვალებთ, ჩვენი სამუშაოს პირველი ნაწილი გეომეტრიული ფიგურების პროექციული თვისებების განხილვას მიუძღვნათ.

2.14 დეზარგის თეორემა და მისი შედეგები

გეომეტრიული ფიგურების პროექციული თვისებების შესწავლა დავიწყოთ დეზარგის თეორემით. ამ თეორემის შინაარსი და მისგან გამომდინარე შედეგები მნიშვნელოვანი ნაბიჯია ელემენტარული

გეომეტრიული ამოცანებიდან პროექციული გეომეტრიის უფრო რთულ ამოცანებზე გადასვლისას[14].

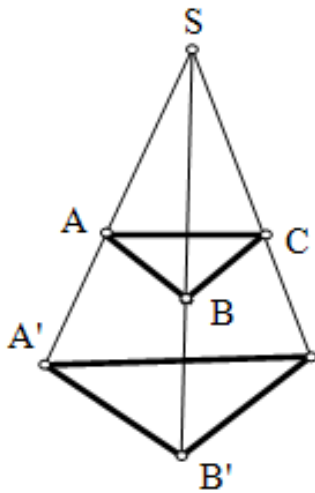
დეზარგის თეორემა: თუ სივრცეში მდებარე ორი სამკუთხედის წვეროების შემაერთებელი წრფეები ერთ წერტილში იკვეთება, მაშინ სამკუთხედების შესაბამისი გვერდების სამი წყვილი ერთ წრფეზე მდებარე სამ წერტილში გადაიკვეთება (ნახ. 11).



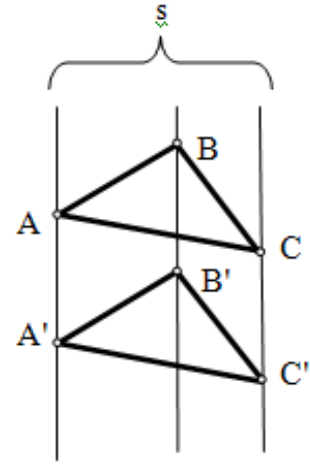
ნახ. 11

მარტივად მტკიცდება შემზრუნებული თეორემაც: თუ ორი სამკუთხედი სივრცეში ისეა განლაგებული, რომ შესაბამისი გვერდების გადაკვეთის წერტილები ერთ წრფეზე მდებარეობს, მაშინ სამკუთხედების შესაბამისი წვეროების შემაერთებელი წრფეები ერთ წერტილში გადაიკვეთება. დეზარგის თეორემა (პირდაპირი და შემზრუნებული) ძალაშია მაშინაც, როდესაც ABC და A'B'C' სამკუთხედები ერთ სიბრტყეში მდებარეობს (ნახ. 12)

ჰომოლოგია არასაკუთრივი ღერძით მეტრულ გეომეტრიაში კარგად ცნობილი მსგავსების გარდაქმნაა(ნახ.13).



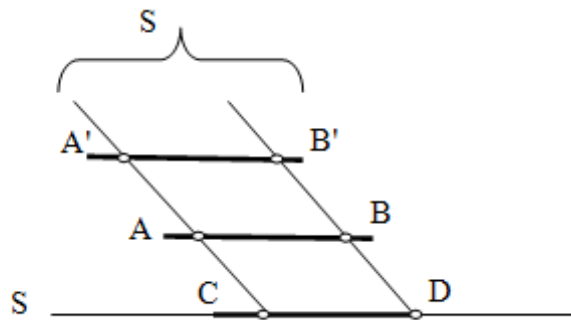
ნახ. 13



ნახ. 14

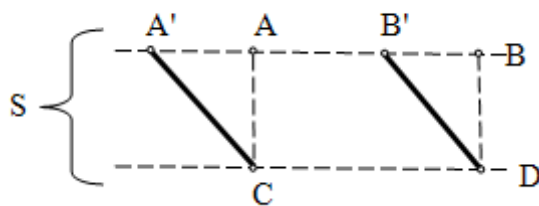
ახლა განვიხილოთ პარაბოლური ჰომოლოგია არასაკუთრივი ღერძით (იგივეა, რაც პარალელური გადატანა)[3], რომელსაც ცენტრიც არასაკუთრივი აქვს(ნახ.14).

ზემოთ უკვე განვიხილეთ პირველი ტიპის ჰომოლოგიები: ჰიპერბოლური, როდესაც ცენტრი ღერძს არ ეკუთვნის (მსგავსების გარდაქმნა) და ბ) პარაბოლური, როდესაც ცენტრი ღერძზე ძვეს (პარალელური გადატანა). ახლა განვიხილოთ მეორე ტიპის ჰომოლოგიები უსასრულოდ შორს მდებარე ცენტრით. ჰომოლოგიის ყველა საკუთრივ-ორმაგი წრფე ცენტრზე გადის. თუ ცენტრი არასაკუთრივია, ეს წრფეები ერთმანეთის პარალელურია. ნახ.(15)-ზე განხილული გარდაქმნა არის სიბრტყის გაწელება ორმაგი წრფეების გასწვრივ გაწელების ერთი და იგივე კოეფიციენტით



ნახ. 15

ახლა განვიხილოთ პარაბოლური კომოლოგია უსასრულოდ შორს მდებარე ცენტრით. ამ შემთხვევაში არა მარტო ყველა საკუთრივ-ორმაგი წრფეა ერთმანეთის პარალელური, არამედ ღერძიც ამ წრფეების პარალელურია, ანუ იკვეთება მათთან არასაკუთრივ წერტილში-ცენტრში. ეს იქნება პარაბოლური კომოლოგია უსასრულოდ შორს მდებარე ცენტრით – იგივე ძვრა (ნახ. 16)[4]



ნახ. 16

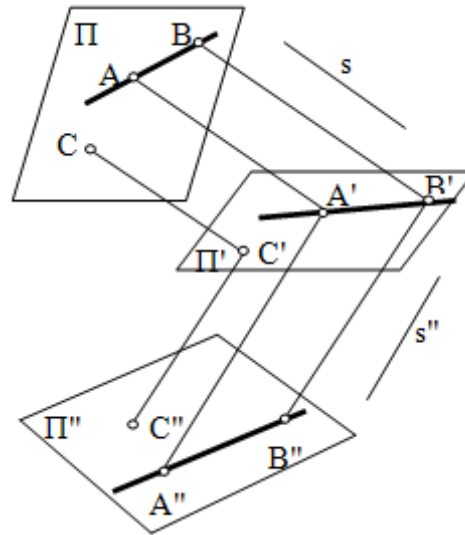
აღნიშნული დასკვნები და წინადადებები საშუალებას გვაძლევს პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნისას წარმატებით გამოვიყენოთ პროექციული გეომეტრიის მეთოდები.

2.1.5 ზოგადი აფინური შესაბამისობა

ორ ბრტყელ ველს შორის პერსპექტიულ-აფინური შესაბამისობა პარალელური დაგეგმილების შედეგად მყარდება. განვიხილოთ ისეთი შესაბამისობა, რომელიც შეიძლება მივიღოთ პარალელური დაგეგმილებების კომპოზიციით.

π სიბრტყე S მიმართულებით დავაგეგმილოთ π' სიბრტყეზე, შემდეგ π' სიბრტყე S' მიმართულებით — π'' -ზე, ბოლოს კი π'' სიბრტყე S'' მიმართულებით — π''' -ზე. ამგვარად, π და π''' სიბრტყეებს შორის დამყარდა დამოკიდებულება, როდესაც π სიბრტყის A , B და C წერტილებს π''' სიბრტყის A''' , B''' და C''' წერტილები შეესაბამება. ცხადია, A''' , B''' და C''' საზოგადოდ არ წარმოადგენს A , B და C წერტილების პარალელურ გეგმილებს. თუმცა, მათ შენარჩუნებული ექნება პერსპექტიულ-აფინური შესაბამისობის ზოგიერთი თვისება.

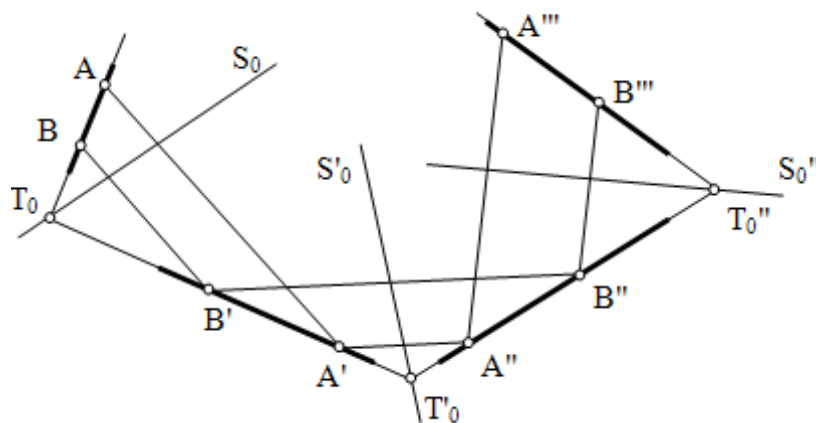
მართლაც, რადგან π და π''' -ს შორის შესაბამისობა პარალელური დაგეგმილების კომპოზიციით არის მიღებული, თითოეული ასეთი დაგეგმილება კი ინარჩუნებს კოლინეარობას და სამი წერტილის მარტივ ფარდობას, ამიტომ π და π''' -ს სიბრტყეებს შორის შესაბამისობასაც იგივე თვისებები ექნება(ნახ.17).



ნახ. 17

შესაბამისობას, რომელიც დამყარდა π და π''' სიბრტყეებს შორის, აფინური ეწოდება.[14].

ახლა განვიხილოთ პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნების ერთობლიობა სიბრტყეზე. თითოეული გარდაქმნა განსაზღვრულია ღერძითა და შესაბამის წერტილთა წყვილით: 1) S_0 და $(A A')$, 2) S'_0 და $(A' A'')$, 3) S''_0 და $(A'' A''')$.

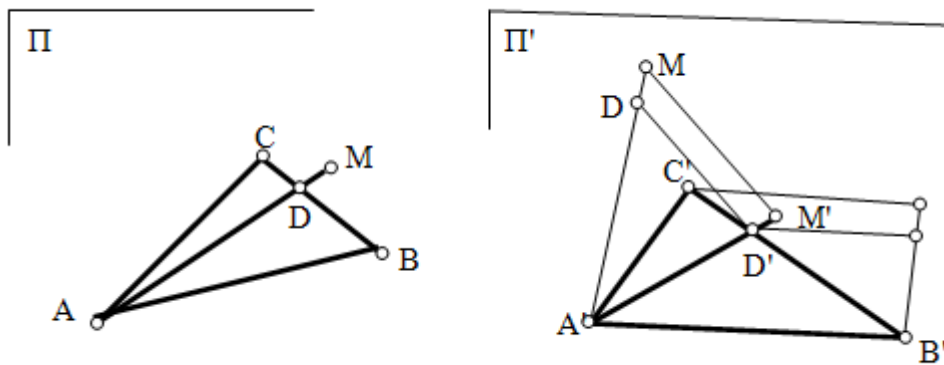


ნახ. 18

სურათზე ნაჩვენებია B წერტილის შესაბამისი B''' წერტილის აგება. როგორც განხილული შემთხვევებიდან ჩანს, პარალელური დაგეგმილების ან პერსპექტიულ-აფინური გარდაქმნების კომპოზიციებით მიღებული შესაბამისობა ხასიათდება კოლინეარობითა და სამი წერტილის მარტივი ფარდობით(ნახ.18).

განვიხილოთ ორი წერტილოვანი ველის აფინური შესაბამისობის ერთი კერძო შემთხვევა. მოცემული π სიბრტყე მსგავსებით გარდაქმნათ π' სიბრტყეში. როგორც ვიცით, ორი წერტილოვანი ველს მსგავსებისას შენარჩუნებულია წრფეთა კოლინეარობა და შესაბამის წრფეთა პარალელობა. ამ თვისებების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ π და π' ველებს შორის აფინური შესაბამისობაა.

სიბრტყის სიბრტყეზე პარალელური დაგეგმილება და ფიგურათა გადაადგილება აფინური შესაბამისობის მაგალითებია, რადგან თითოეული მათგანი კოლინეარობას, წრფეთა პარალელობას და სამი წერტილის მარტივ ფარდობას ინარჩუნებს. ცხადია, ამ გარდაქმნების კომპოზიციით მიღებული შესაბამისობაც აფინური იქნება.



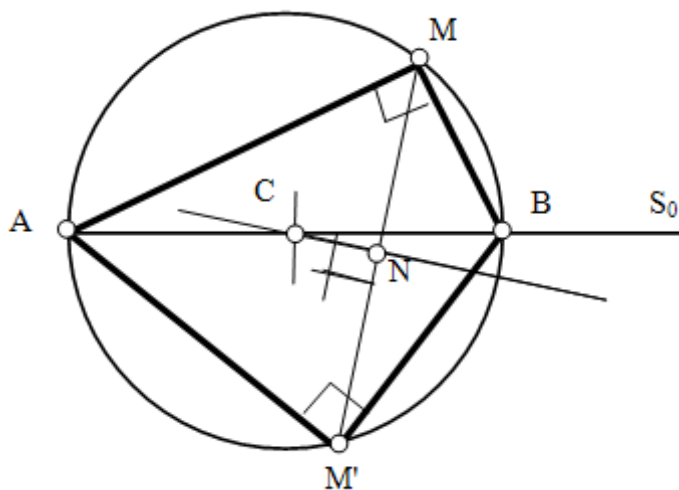
ნახ. 19

ვთქვათ π სიბრტყეზე მდებარე ABC სამკუთხედს π' სიბრტყეზე $A'B'C'$ სამკუთხედი შეესაბამება (ნახ.19), მაშინ π სიბრტყეზე აღებული ნებისმიერი M წერტილის შესაბამისი M' წერტილს π' სიბრტყეზე შემდეგნაირად ვიპოვით: M წერტილი ABC სამკუთხედის A წვეროსთან შევაერთოთ და განვსაზღვროთ (AM) და (BC) წრფეების გადაკვეთის D წერტილი. π' სიბრტყეზე D წერტილი განვსაზღვროთ $(B'C'D') = (BCD)$

ტოლობით, რადგან აფინურ შესაბამისობაში სამი წერტილის მარტივი ფარდობა უცვლელია, ხოლო (AD) წრფის შესაბამის $(A'D')$ წრფეზე M' წერტილი ვიპოვოთ პირობით: $(A'D'M') = (AMD)$. ამრიგად, π სიბრტყის ნებისმიერ M წერტილს π' სიბრტყის ერთი გარკვეული M' წერტილი შეესაბამება და პირიქით.

2.1.6 აფინურად შესაბამისი ველების მთავარი მიმართულებები

განვიხილოთ π და π' აფინურად შესაბამისი წერტილოვანი ველები. როგორც ვიცით, π სიბრტყეში აღებულ ურთიერთმართობულ წრფეთა წყვილს π' სიბრტყეში ყოველთვის ურთიერთმართობული წრფეები არ შეესაბამება. დავამტკიცოთ, რომ თითოეულ წერტილოვან ველში მოიძებნება ურთიერთმართობულ წრფეთა ერთი წყვილი მაინც, რომელსაც მეორე ველში ურთიერთმართობული წრფეები შეესაბამება. დასაწყისისათვის განვიხილოთ ის კერძო შემთხვევა, როდესაც მოცემული სიბრტყეები პერსპექტიულ-აფინურ (ნათესაურ) შესაბამისობაშია. ნათესაობა განსაზღვრულია ნათესაობის S_0 დერძითა და (MM') შესაბამის წერტილთა წყვილით (ნახ.20).



ნახ. 20

π ველის კუთვნილ M წერტილზე ავაგოთ π და π' სიბრტყეების (MA) და (MB) წრფეები. ამ წრფეების π' სიბრტყეზე $(M'A)$ და $(M'B)$ წრფეები შეესაბამება. ცხადია, შესაბამის წრფეთა წყვილის გადაკვეთის A და B

წერტილები ნათესაობის S_0 ღერძზე ძევს. თუ M' წერტილზე გამავალ წრფეებს შორის კუთხე მართი აღმოჩნდება, მაშინ მივიღებთ (AMBM') ოთხკუთხედს, რომლის M და M' მოპირდაპირე წვეროვებთან შედგენილი კუთხეები მართია. როგორც ელემენტარული გეომეტრიის კურსიდანაც ცნობილი, ასეთ ოთხკუთხედზე შეიძლება წრეწირის შემოსახვა. M და M' წვეროვებთან მდებარე მართი კუთხეები (AMBM') ოთხკუთხედზე შემოსახული წრეწირის დიამეტრებს ეყრდნობა. AB მონაკვეთი ამ წრეწირის დიამეტრია, ხოლო C ცენტრი — MM' მონაკვეთის შუამართობისა და AB დიამეტრის გადაკვეთის წერტილი.

ამრიგად, თუ ნათესაური შესაბამისობა ნათესაობის S_0 ღერძითა და (MM') შესაბამის წერტილთა წყვილითაა მოცემული, MM' მონაკვეთის შუამართობისა და ნათესაობის S_0 ღერძის გადაკვეთის C წერტილი საძიებელი წრეწირის ცენტრი იქნება. ამ წრეწირის რადიუსი — $R=CM=CM'$. აღვნიშნოთ წრეწირისა და ნათესაობის ღერძის გადაკვეთის წერტილები A და B ასოებით, მაშინ π სიბრტყის კუთვნილ და ურთიერთმართობულ MA და MB წრფეებს π' სიბრტყეზე ისევ $M'A$ და $M'B$ ურთიერთმართობული წრფეები შეესაბამება. ამ მიმართულებებს ნათესაობის მთავარი მიმართულებები ეწოდება. π წერტილოვანი ველის ყოველ წერტილზე ნათესაობის მთავარი მიმართულებების მხოლოდ ერთი წყვილი გადის, რადგან დამხმარე წრეწირის C ცენტრის განსაზღვრის ერთადერთი გზა არსებობს[14].

როდესაც ნათესაობის MM' მიმართულება ნათესაობის S_0 ღერძის მართობულია, MM' მონაკვეთის შუამართობი S_0 ღერძის პარალელურია და დამხმარე წრეწირის C ცენტრი არასაკუთრივ წერტილს წარმოადგენს. ნათესაობის მთავარი მიმართულებებიდან ერთი ემთხვევა ნათესაობის MM' მიმართულებას, ხოლო მეორე ნათესაობის ღერძის პარალელურია. აგრეთვე (MA) და (MB) წრფეების პარალელური წრფეების ნებისმიერი წყვილიც მთავარი მიმართულებებს განსაზღვრავს. თუ მონათესავე წერტილები ნათესაობის ღერძის მიმართ სიმეტრიულადაა განლაგებული, MM' მონაკვეთის N შუა წერტილი ნათესაობის ღერძს ეკუთვნის და დამხმარე წრეწირის C ცენტრის მდებარეობა გაურკვეველია. ამ შემთხვევაში თოთოეულ წერტილოვან

ველზე მოიძებნება ნათესაობის მთავარი მიმართულებების უსასრულო რაოდენობა.

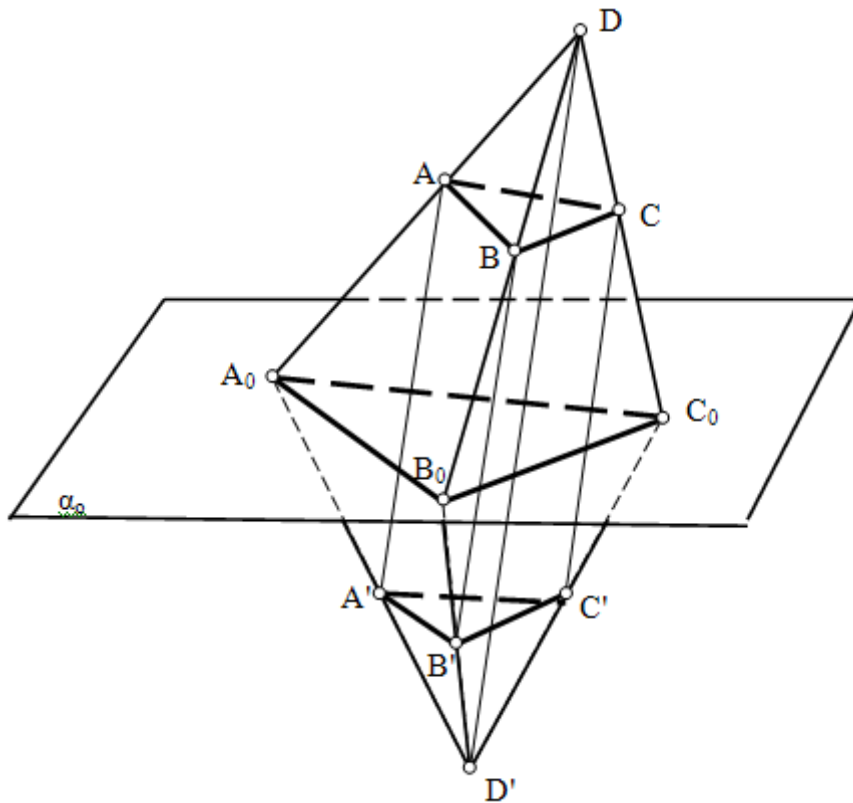
აღსანიშნავია, რომ π და π^1 წერტილოვან ველებს შორის აფინური შესაბამისობა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც ორი გარდაქმნის შედეგი. დაეუშვათ π და π^1 ველებს შორის ძოგადი აფინური შესაბამისობა დამყარებულია მსგავსების გარდაქმნითა და ნათესაობის კომპოზიციით ისე, რომ π სიბრტყე მსგავსებით გარდაქმნილია π_1 -ში, ხოლო π_1 ნათესაურად — π^1 -ში.

მაშინ, როგორც ვნახეთ, π_1 და π^1 სიბრტყეებისთვის შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნათესაობის მთავარი მიმართულებები. მსგავსების გარდაქმნა კი π_1 სიბრტყეს π სიბრტყეში აბრუნებს. ამავე დროს, მსგავსების გარდაქმნისას მართ კუთხეებს ისევ მართი კუთხეები შეესაბამება. ამიტომ, π_1 სიბრტყის მთავარი მიმართულებები π სიბრტყის მთავარ მიმართულებებზე აისახება. ეს ნიშნავს, რომ აფინურად შესაბამის ორ წერტილოვან ველში ყოველთვის არსებობს ერთი წყვილი მაინც მთავარი მიმართულებებისა.

2.1.7 სივრცის პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნა

გეომეტრიული გარდაქმნები, რომელსაც პროექციული გეომეტრია შეისწავლის, მხოლოდ ბრტყელი ველებით არ შემოიფარგლება. განვიხილოთ სივრცის პერსპექტიულ-აფინური გარდაქმნა, რომელიც ხშირად მხაზველობითი გეომეტრიის რიგი პოზიციური და მეტრული ამოცანების გადაწყვეტის ერთადერთ მიზანშეწონილ მეთოდს წარმოადგენს.

ორი შეთავსებული სივრცის ნათესაური შესაბამისობა განსაზღვრულია, თუ მოცემულია მონათესავე წერტილთა ოთხი წყვილი. კავშირის წრფეები ურთიერთპარალელურია. ნათესაობის სიბრტყე რომ განისაზღვროს, საკმარისია შევავროთოთ მოცემული წერტილები. მონათესავე წრფეების თითოეული წყვილის გადაკვეთის



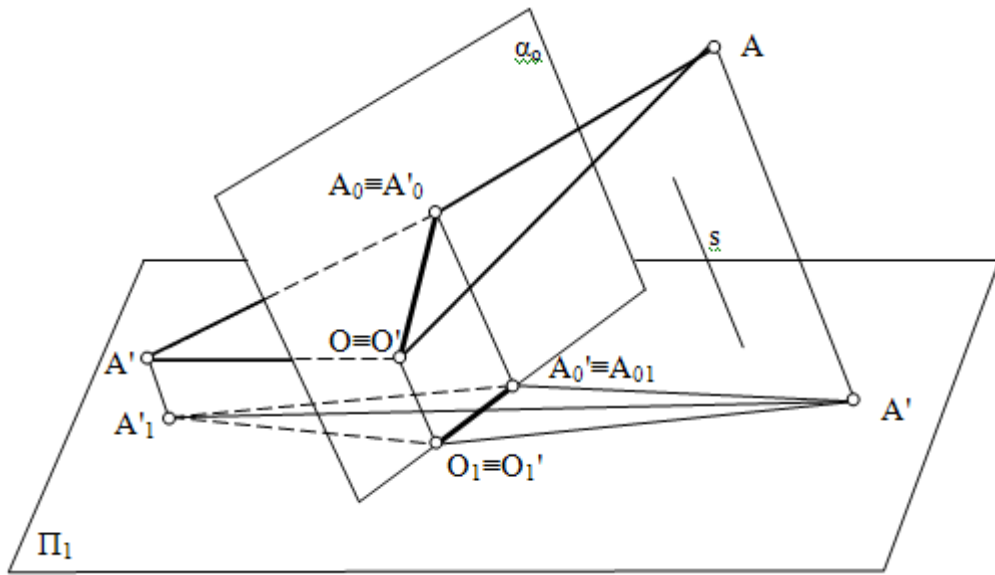
ნახ. 21

წერტილი ნათესაობის სიბრტყეს ეკუთვნის. როგორც ვიცით სიბრტყე სამი წერტილით განისაზღვრება. ამიტომ, ნათესაობის სიბრტყის განსაზღვრისათვის საკმარისია მონათესავე წრფეთა სამი წყვილის გატარება (ნახ.21).

2.1.8 დაგეგმილების მიმართულების არჩევა ნათესაურ სივრცეებში

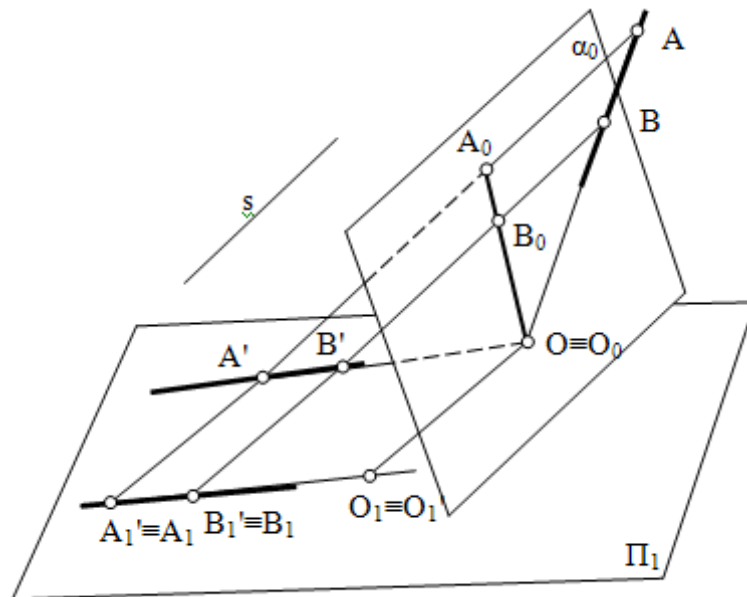
განვიხილოთ როგორი უნდა იყოს დაგეგმილების მიმართულება, რომ სივრცის ნათესაურ გარდაქმნასთან დაკავშირებული აგებები რაც შეიძლება მარტივად აისახოს გეგმილთა სიბრტყეზე.

თუ დაგეგმილების მიმართულებას შევირჩევთ ისე, რომ იგი ნათესაობის α_0 სიბრტყის პარალელური იყოს, მაშინ გეგმილთა სიბრტყეზე მიღებულ ამ ნათესაურ შესაბამისობებს ნათესაობის მიმართულებასთან ერთად ნათესაობის ღერძიც საერთო ექნება(ნახ. 22).



ნახ. 22

ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც დაგეგმილების მიმართულება ნათესაობის მიმართულების პარალელურია (ნახ.23). ამ

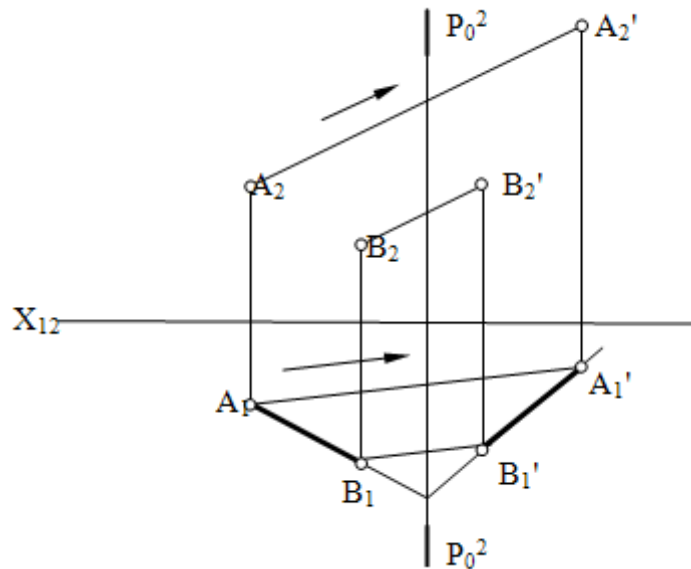


ნახ. 23

შემთხვევაში, როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნათესაურად შესაბამისი წერტილების გეგმილები ერთმანეთს დაემთხვევა.

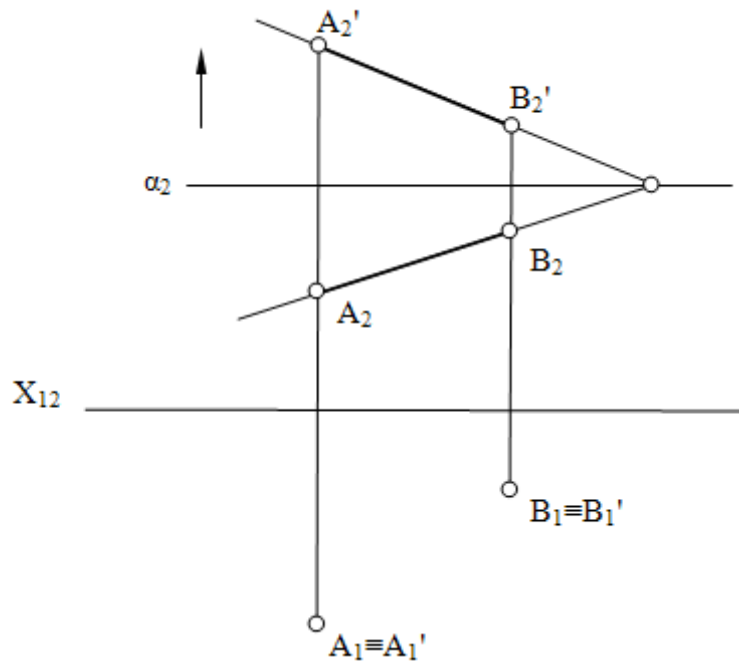
2.1.9 ნათესაური სიბრტყეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში

ერთ გეგმილთა სიბრტყეზე დაგეგმილებისას მიზანშეწონილია, დაგეგმილების მიმართულება ნათესაობის სიბრტყის პარალელურად ავიღოთ. როგორც ვიცით, ორთოგონალური დაგეგმილებისას დაგეგმილების მიმართულება გეგმილთა სიბრტყეების მართობულია. ამიტომ, თუ ნათესაობის სიბრტყეს ამ მიმართულების პარალელურად ავიღებთ, იგი ორ პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს: მართობული უნდა იყოს როგორც პორიზონტალური, ასევე ფრონტალური გეგმილთა სიბრტყეებისა. ამ პირობას კი პროფილის სიბრტყე აკმაყოფილებს (ნახ.24)



ნახ. 24

ნახაზზე ნათესაობის (პროფილის) სიბრტყე მოცემულია თავისი კვალებით. ვთქვათ, A წერტილის მონათესავე წერტილია $A'(A_1, A_2)$. მაშინ ნათესაობის მიმართულება განისაზღვრება თავისი პორიზონტალური ($A_1 A_1'$) და ფრონტალური ($A_1 A_2'$) გეგმილით. მოცემული B წერტილის მონათესავე B' წერტილის აგება სიძნელეს არ წარმოადგენს.



ნახ. 25

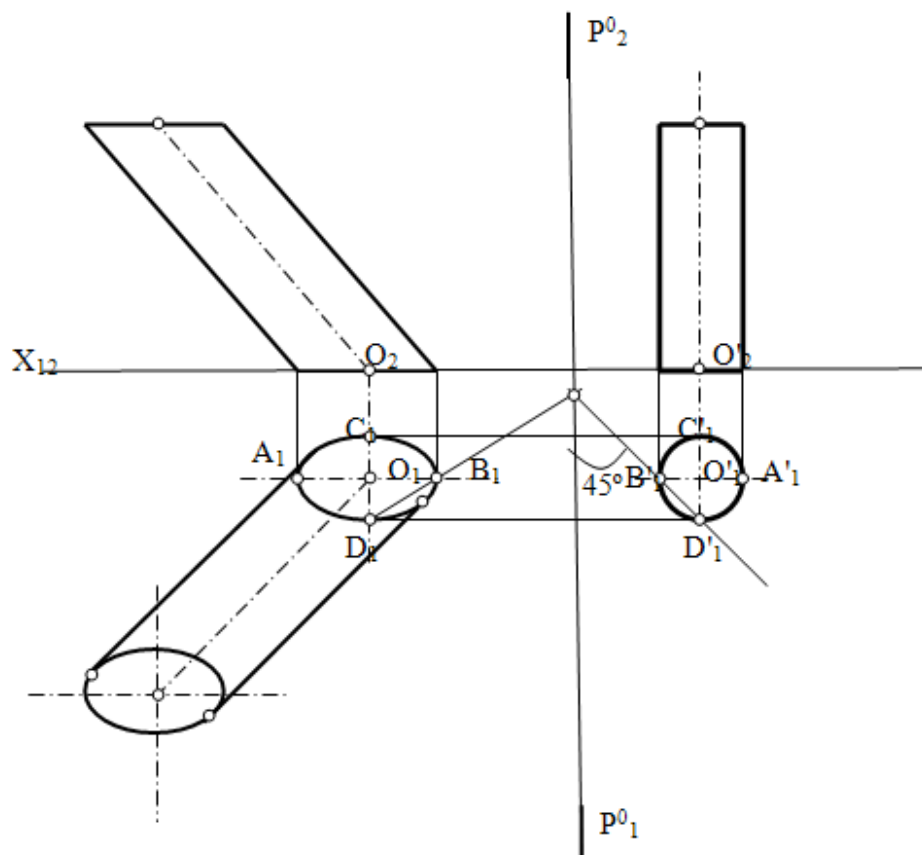
ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, როცა დაგეგმილების მიმართულება ნათესაობის მიმართულების პარალელურია. როგორც ვიცით, ამ დროს სივრცის ნათესაური წერტილების ნებისმიერი წყვილის გეგმილები ერთმანეთს ემთხვევა. ორი გეგმილთა სიბრტყის შემთხვევაში კი გვეძლევა საშუალება, ნათესაობის სიბრტყე ისე შევირჩიოთ, რომ იგი პარალელური იყოს ერთ-ერთი გეგმილთა სიბრტყისა. ნათესაობის მიმართულება კი – ნათესაობის სიბრტყის მართობული (ნახ. 25).

ამ შემთხვევაში მონათესავე ფიგურების კორიზონტალური გეგმილები ერთმანეთს ემთხვევა, ხოლო ფრონტალურ გეგმილთა სიბრტყეზე გეგმილებს შორის მყარდება ნათესაური შესაბამისობა, სადაც ნათესაობის ღერძს კორიზონტალური სიბრტყე წარმოადგენს.

2.1.10 ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირები და მათი გარდაქმნა ბრუნვის ზედაპირებში

ფორმათა მრავალფეროვნებითა და გეომეტრიული ფიგურების წარმოქმნაში თავისი როლის მიხედვით ზედაპირებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს.

განვიხილოთ ტექნიკურ ფორმებში ფართოდ გავრცელებული ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირები. ასეთ ზედაპირებს მიეკუთვნება ელიფსური ზედაპირები. ამ ზედაპირების ბრტყელი კვეთები, შესრულებული სიმეტრიის ღერძის მართობული სიბრტყეებით, ერთმანეთის მსგავს ელიფსებს წარმოადგენს. როგორც ვიცით, ელიფსი მათემატიკური წირია და წერტილ-წერტილ უნდა აიგოს. ამიტომ, ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირების ურთიერთკვეთის ამოცანების გადაწყვეტა რიგ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამ შემთხვევაში ხშირად მივმართავთ ამ ზედაპირების გარდაქმნას ბრუნვის ზედაპირებში. როგორც აღვნიშნეთ, სივრცის გარდაქმნების მეთოდი მოცემულ ფიგურას სხვა ისეთ ფიგურად გარდაქმნის, რომლის თვისებები დასახული ამოცანების ამოხსნის გამარტივების საშუალებას მოგვცემს. განვიხილოთ დახრილი ელიფსური ცილინდრის გარდაქმნა

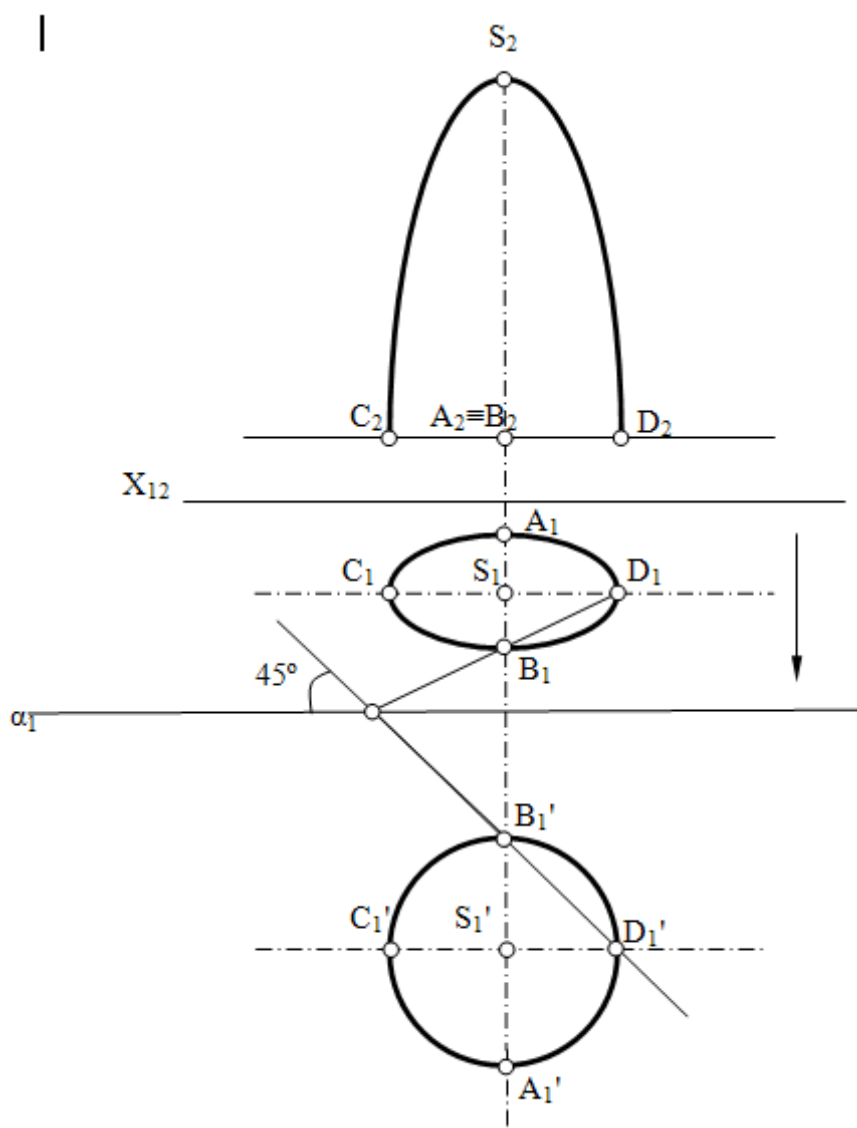


ნახ. 26

მაგეგმილებელ ცილინდრად, როცა ნათესაობის სიბრტყე პროფილური დონის სიბრტყეა. ნათესაური შესაბამისობის დასამყარებლად საჭიროა მონათესავე წერტილთა წყვილიც (ნახ 26).

ა წერტილის მონათესავე წერტილის შერჩევას უნდა გაეთვალისწინოთ, რომ $A'B'$ და $C'D'$ ღერძები ერთმანეთის ტოლი იქნება.

განისაზღვრება რა მაგეგმილებელი ცილინდრის ჰორიზონტალური გეგმილი, ფრონტალური გეგმილის აგება სიძნელეს აღარ წარმოადგენს.



ნახ. 27

გარდაეჭმნათ ელიფსური ჰიპერბოლოიდი ბრუნვის
ჰიპერბოლოიდად. ამოცანის გამარტივების მიზნით ნათესაობის

სიბრტყედ შევირჩიოთ ფრონტალური სიბრტყე. ნათესაობის მიმართულება კი – ნათესაობის სიბრტყის მართობულად (ნახ. 27).

ნახაზზე შესრულებული აგება უზრუნველყოფს ელიფსის გარდაქმნას ისეთ წრეწირში, რომლის დიამეტრიც ელიფსის დიდი დიამეტრის ტოლია. ამ შემთხვევაში ბრუნვის ჰიპერბოლოიდის ფრონტალური გეგმილი ემთხვევა მოცემული ელიფსური ჰიპერბოლოიდის ფრონტალურ გეგმილს.

ნათესაობის სიბრტყის განხილულმა შერჩევამ თავიდან აგვაცილა ის შრომატევადი სამუშაო, რომელიც მოცემული ზედაპირის ფრონტალური გეგმილის(ლეკალური მრუდის) აგებასთან იყო დაკავშირებული.

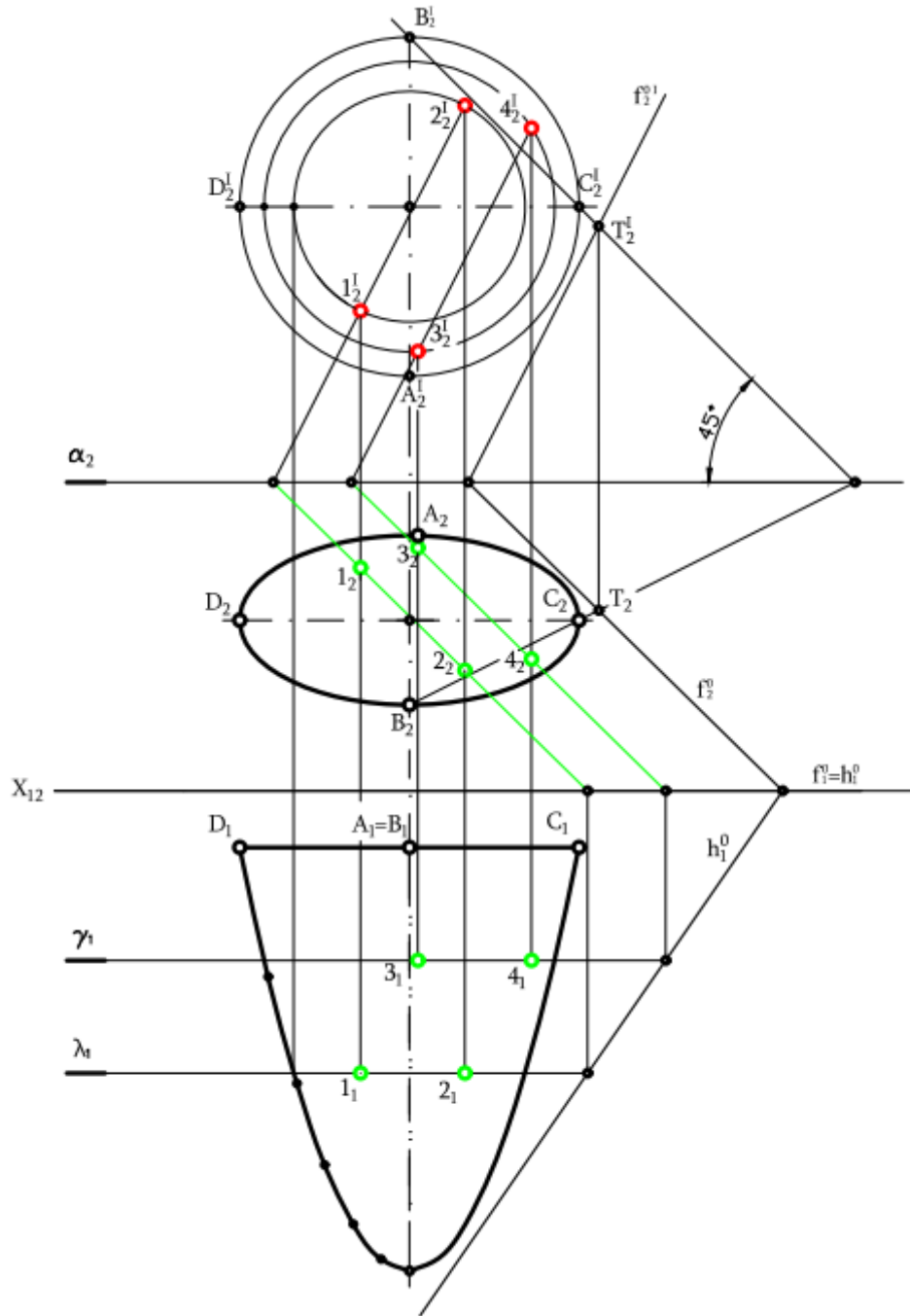
2.1.11 მეორე რიგის ზედაპირების კვეთა

სივრცის ნათესაური გარდაქმნა, ადრე განხილული მეთოდებისგან განსხვავებით, მნიშვნელოვნად ამარტივებს მხაზველობითი გეომეტრიის საკმაოდ რთულ ამოცანებს.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ელიფსური პარაბოლოიდი, რომელიც ფუძით ეყრდნობა ფრონტალურ გეგმილთა სიბრტყეს. ვიპოვოთ ამ ზედაპირის კვეთა ზოგადი მდებარეობის სიბრტყით (ნახ. 28).

ცხადია, მკვეთი სიბრტყეების მეთოდით ამ ამოცანის ამოხსნისას საჭირო გახდება დიდი რაოდენობით დამხმარე ელიფსების აგება. თუ ელიფსურ პარაბოლოიდს ნათესაური შესაბამისობით ბრუნვის პარაბოლოიდად გარდავქმნით, ელიფსების მაგივრად წრეწირებს ავაგებთ.

ნათესაობის სიბრტყე შევირჩიოთ ჰორიზონტალური გეგმილთა სიბრტყის პარალელურად. ეს საშუალებას მოგვცემს, ელიფსი წრეწირში გარდავქმნათ, ელიფსური ზედაპირი კი – ბრუნვის ზედაპირად. გარდაქმნის შემდეგ, ჩვენს წინაშე დასმული ამოცანა მკვეთი სიბრტყეების დახმარებით შეგვიძლია გადავწყვიტოთ. საკმარისი რაოდენობის სიბრტყეების გატარებით, შევძლებთ ავაგოთ საძიებელი წირი, რომელიც რა თქმა უნდა, ელიფსს წარმოადგენს.



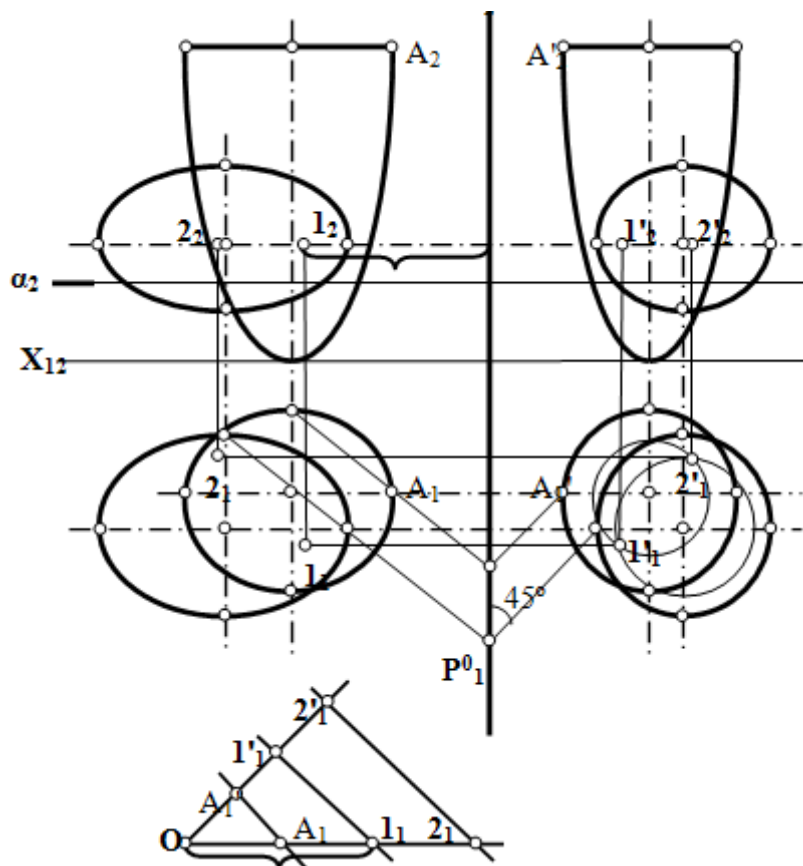
ნახ. 28

2.1.12 მეორე რიგის ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგება

მეორე რიგის ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგებაში სივრცის ნათესაური გარდაქმნის გამოყენებას მაშინ აქვს აზრი, თუ კვეთაში მონაწილე ორივე ზედაპირი ერთდროულად გარდაიქმნება ბრუნვის

ზედაპირში (ნახ. 29). ეს კი მხოლოდ მაშინ არის შესაძლებელი, თუ ორივე ზედაპირის ღერძები ურთიერთპარალელურია და ღერძების მართობულ კვეთაში მიღებული ბრტყელი კვეთები ერთმანეთის მსგავს და მსგავსებულად განლაგებულ ელიფსებს წარმოადგენს.

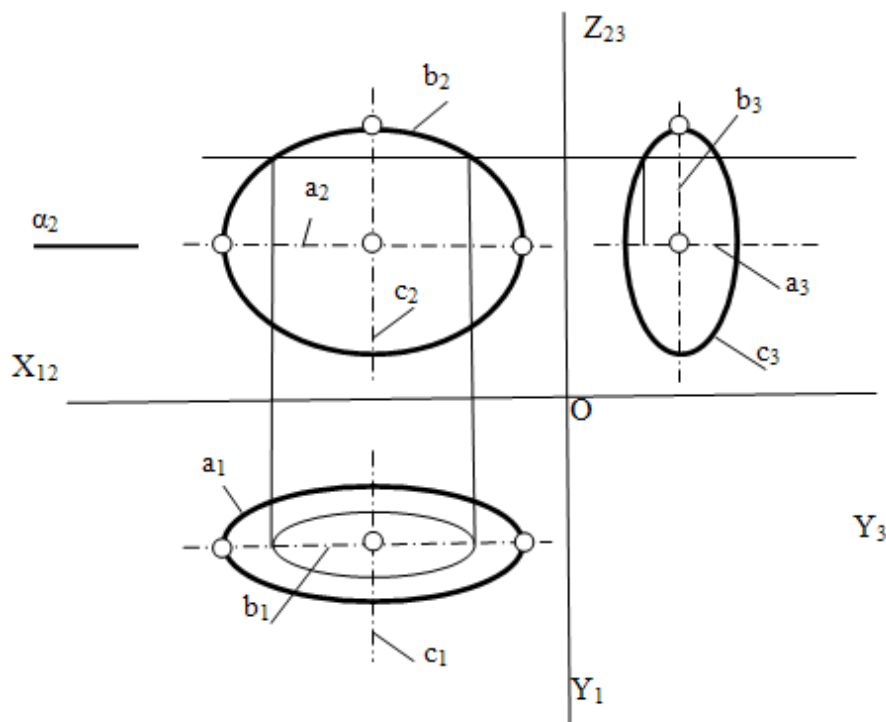
განვიხილოთ სამღერძიანი ელიფსოიდისა და ელიფსური პარაბოლოიდის კვეთა. ნათესაობის სიბრტყედ შევირჩიოთ პროფილის სიბრტყე. ამ შემთხვევაში ნათესაობის მიმართულება ნათესაობის სიბრტყის მართობულია.



ნახ. 29

ელიფსური ზედაპირები მეორე რიგის ზედაპირებია. მეორე რიგის ზოგადი სახის ზედაპირებიდან მხოლოდ ცილინდრები (პარაბოლური და ჰიპერბოლური) და ჰიპერბოლური პარაბოლოიდი არ ეკუთვნის ელიფსურ ზედაპირებს.

ელიფსური ზედაპირები მიიღება ელიფსის გადაადგილებით სივრცეში რაიმე წირის გასწვრივ ისე, რომ ელიფსის სიბრტყე ყოველთვის პარალელური რჩება პარალელიზმის სიბრტყის. მიმართველი წირი ბრუნავს სივრცეში ნებისმიერად რაიმე უძრავი წერტილის გარშემო, თანაც ელიფსის დიდი და მცირე დიამეტრები იცვლება კანონზომიერებით, რომელიც დამოკიდებულია დანარჩენ ორ მიმართველზე. ამიტომ, ელიფსური ზედაპირები, სივრცის ნათესაური გარდაქმნით ადვილად გარდაიქმნება ბრუნვის ზედაპირებად და პირიქით. გარდაქმნისას, თუ მსახველი ელიფსებიდან ერთ-ერთს გარდაქმნით წრეწირად, მაშინ ყველა მისი პარალელური და მსგავსი ელიფსი წრეწირად გარდაიქმნება და შესაძლებელი გახდება ურთიერთპარალელური დამხმარე სიბრტყეების სიმრავლის გამოყენება, რომლებიც მონათესავე ზედაპირს წრეწირზე გადაკვეთს.



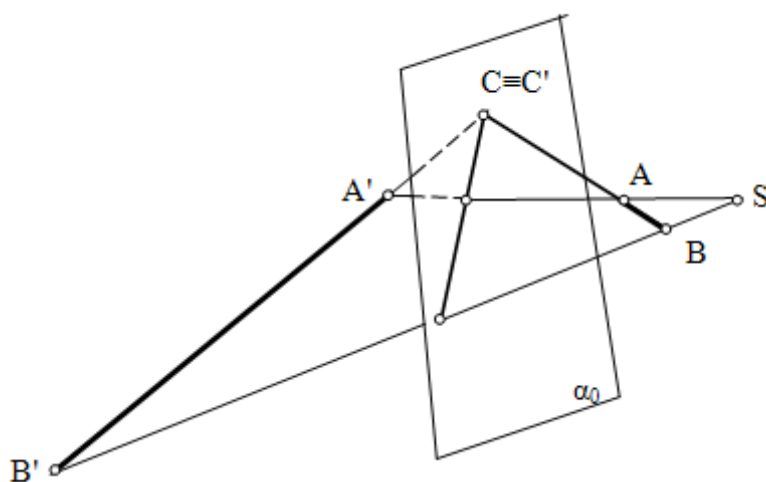
ნახ. 30

ელიფსურ ზედაპირებს მიეკუთვნება: ა) ელიფსოიდები, რომელთა მიმართველები ელიფსებია (ნახ. 30) ბ) ჰიპერბოლოიდები (ნახ. 27), რომელთა მიმართველები ჰიპერბოლებია გ) პარაბოლოიდები (ნახ. 29), რომელთა მიმართველები პარაბოლებია დ) კონუსი, რომლის

მიმართვები დაშლილი მეორე რიგის წირებია (გადაკეთილი წრეების ორი წყვილი) ე) ელიფსური ცილინდრი (ნახ.26), რომელთა მიმართვები დაშლილი მეორე რიგის წირებია (პარაბოლური წრეების ორი წყვილი).

3.1.14 სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგიები

სივრცის პროექციული ჰომოლოგია გარდაქმნის უფრო ზოგადი სახეა, ვიდრე ნათესაური გარდაქმნა. ნათესაური გარდაქმნისას ჰომოლოგიის ცენტრი არასაკუთრივ წერტილს წარმოადგენს და ამიტომაც შესაბამის წერტილთა შემაერთებელი წრეები ერთმანეთის პარაბოლურია. სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია განსაზღვრულია შესაბამისი წერტილების ოთხი წყვილით და პერსპექტივის S ცენტრით. შესაბამის წერტილთა ოთხი წყვილიდან სამი წყვილი განსაზღვრავს შესაბამისობის α_0 სიბრტყეს. შესაბამისი წერტილების წყვილი ჰომოლოგიის ცენტრთან ერთად ერთ წრეზეც ევს (ნახ.31)

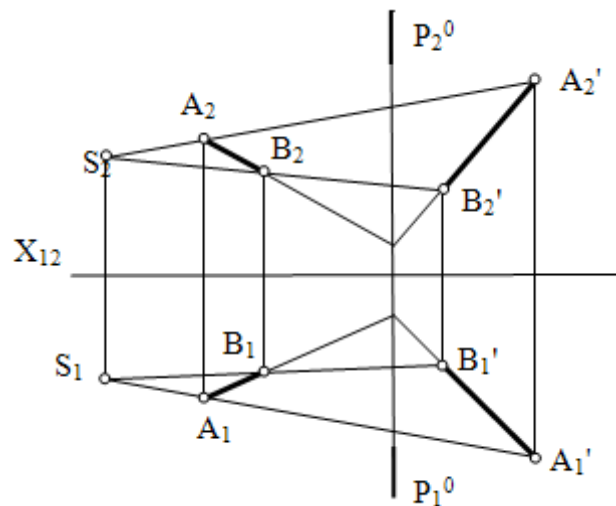


ნახ. 31

ჰომოლოგიურად შესაბამისი ორი ფიგურა რომელიმე გეგმილთა სიბრტყეზე ჰომოლოგიის სიბრტყის პარაბოლურად რომ დავაგეგმილოთ, მაშინ გეგმილთა სიბრტყეზე მოცემული ფიგურების

გეგმილებს შორის დამყარდება ბრტყელი ჰომოლოგიური შესაბამისობა, რომლის დერძს ჰომოლოგიის სიბრტყის გეგმილთა სიბრტყესთან გადაკვეთის წრფე წარმოადგენს, ცენტრს – ჰომოლოგიის ცენტრის გეგმილი[18].

როგორც ვიცით, ორთოგონალური დაგეგმილებისას დაგეგმილების მიმართულება გეგმილთა სიბრტყეების მართობულია, ამიტომ მიზანშეწონილია, ჰომოლოგიის სიბრტყე მართობული იყოს ორივე გეგმილთა სიბრტყისა. ამ პირობას კი პროფილის სიბრტყე აკმაყოფილებს (ნახ. 32).

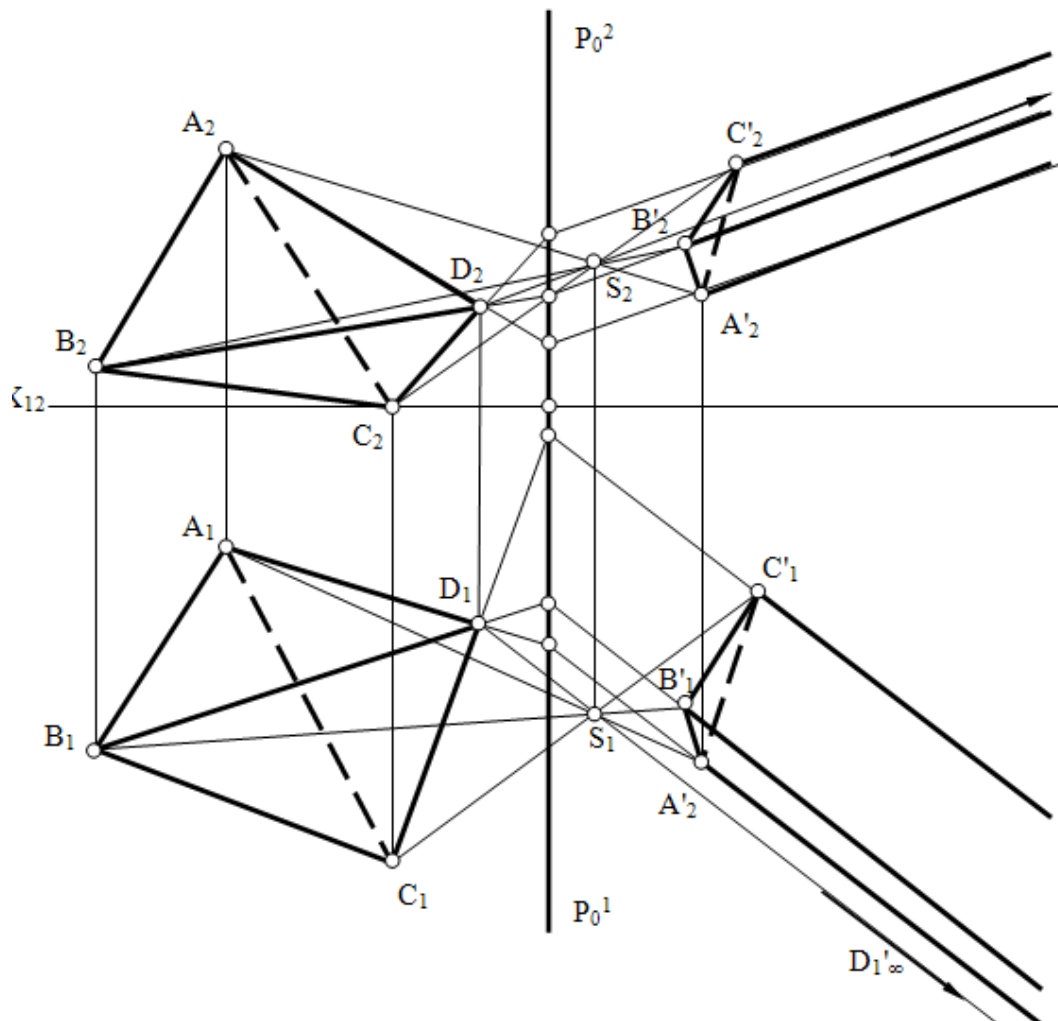


ნახ. 32

სივრცის ჰომოლოგია შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც სიბრტყითი ჰომოლოგიების უსასრულო სიმრავლე. ამიტომ სივრცის ჰომოლოგიას ყველა ის თვისება აქვს, რაც სიბრტყის ჰომოლოგიას ახასიათებს. ჩვენ ვიცით, რომ ბრტყელი ჰომოლოგიური გარდაქმნით ელიფსი, პარაბოლა და ჰიპერბოლა წრეწირზე შეიძლება გარდაიქმნას. შესაბამისად სივრცის ჰომოლოგიური გარდაქმნა ბრუნვის ელიფსოიდს, ბრუნვის პარაბოლოიდს და ბრუნვის ჰიპერბოლოიდს სფეროზე ასახავს, რითაც პოზიციური ამოცანების ამოხსნის დროს გარკვეულ გამარტივებას მივალწევთ (ნახ.33).

სივრცის ნათესაური შესაბამისობით პრიზმა შეიძლება მხოლოდ პრიზმაში აისახოს. სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგიით კი

პრიზმა შეიძლება პირამიდაზე აისახოს და პირიქით. ეს დამოკიდებული იქნება ჰომოლოგიის ცენტრის შერჩევაზე. კერძოდ, თუ პირამიდის D წვეროს შევესაბამებთ D_{∞}' წერტილს, მაშინ პირამიდის შესაბამისი ზედაპირის წიბოები ერთმანეთის პარალელური აღმოჩნდება და მივიღებთ პრიზმულ ზედაპირს. ჰომოლოგიის ცენტრი (SS_{∞}') წრფის რომელიმე $S(S_1, S_2)$ წერტილია, ჰომოლოგიის $P(P_1 \equiv P_2)$ სიბრტყე კი პროფილის სიბრტყეა.



ნახ. 33

2.2. მეორე ნაწილი

2.2.1 ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (გეომეტრიული ფიგურებიდან გეგმილთა სიბრტყეზე დაცემული ჩრდილები)

ტექნიკურ ნახაზებზე ჩრდილების აგება მხოლოდ გეომეტრიული თვალსაზრისით ხდება. ამიტომ, სინათლის წყაროს ინტენსივობა და

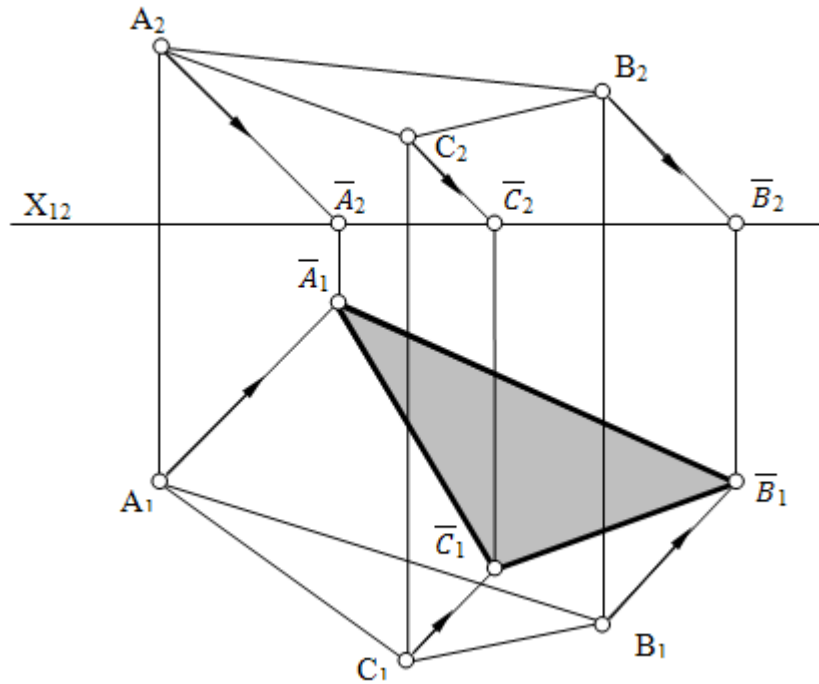
ფიზიკური ასპექტები მხედველობაში არ მიიღება. სინათლის წყაროს ფორმისა და სივრცეში მდებარეობის მიხედვით სინათლის სხივები შეიძლება იყოს პარალელური (ბუნებრივი ანუ მზის განათება) ან გადაკვეთილი (ხელოვნური განათება). მზეს განვიხილავთ, როგორც უსასრულოდ შორს მდებარე წერტილს და მისგან გამომავალ სხივებს ურთიერთპარალელურებად ვთვლით. აქედან გამომდინარე, დაცემული ჩრდილების აგება შეიძლება შევადაროთ პარალელურ დაგეგმილებას, ხოლო ჩრდილების საზღვრის დადგენის პრინციპი–ზედაპირის მოხაზულობის აგებას.

ჩვეულებრივ, ტექნიკურ ნახაზებზე, სინათლის სხივის მიმართულებად იმ კუბის დიაგონალის პარალელურ მიმართულებას მიიჩნევენ, რომლის წახნაგები ძირითადი გეგმილთა სიბრტყეების პარალელურია.

ეპიურზე ამ განათების სხივების გეგმილები X, Y და Z ღერძებისადმი 45°-ით იქნება დახრილი. განათებისას, სინათლის სხივები სივრცეში მდებარე ობიექტის ზედაპირის გარკვეულ ნაწილს ანათებს, დანარჩენი კი გაუნათებელი (ჩრდილში) რჩება (ნახ. 40). ამ ჩრდილს საკუთარ ჩრდილს უწოდებენ. განათებული და გაუნათებელი ზედაპირის გამყოფ საზღვარს–საკუთარი ჩრდილის კონტურს, ხოლო ჩრდილს, რომელიც სხვა ზედაპირზე ეცემა–დაცემულ ჩრდილს (ნახ. 44).

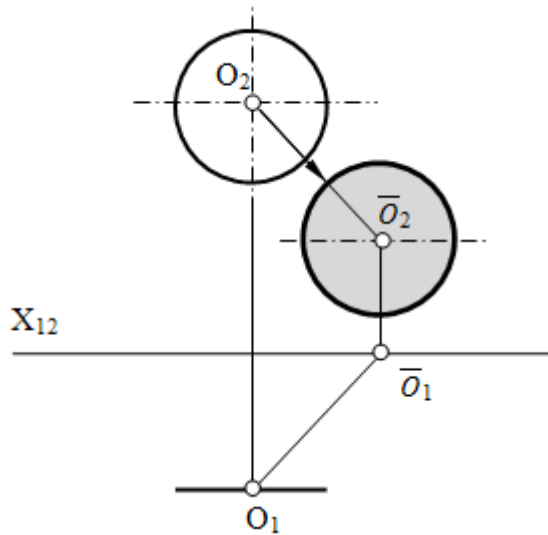
სინათლის სხივებმა, რომლებიც გეომეტრიულ ფიგურას ეხება, სივრცეში შეიძლება წარმოქმნას ცილინდრული ან წახნაგოვანი ზედაპირი. ამ სხივური ზედაპირისა და სხვა ზედაპირის (ან სიბრტყის) კვეთა დაცემული ჩრდილის კონტურს განსაზღვრავს[18].

წერტილის ჩრდილი ამ წერტილზე გამავალი განათების სხივის კვალს წარმოადგენს გეგმილთა სიბრტყეზე. სხივები, რომლებიც წრფეზე გაივლის, სხივურ სიბრტყეს წარმოქმნის. წრფის (როგორც წერტილთა სიმრავლის) ჩრდილი ამ სხივური სიბრტყისა და გეგმილთა სიბრტყის გადაკვეთით განისაზღვრება. აქედან გამომდინარე, წრფიდან დაცემული ჩრდილი გეგმილთა სიბრტყეზე ისევ წრფეს წარმოადგენს და მისი აგებისთვის წრფის კუთვნილი ორი წერტილის ჩრდილის აგებაა საკმარისი.



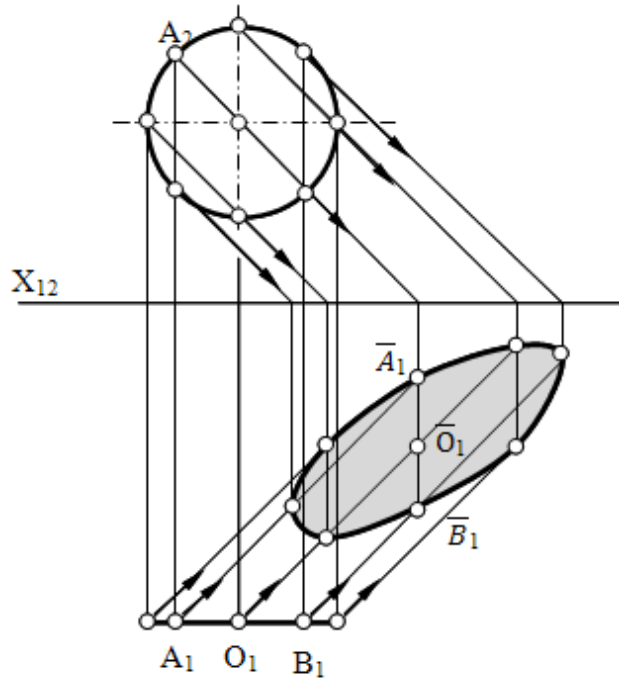
ნახ. 37

იმისდა მიხედვით, რა მდებარეობაშია წრეწირის სიბრტყე გეგმილთა სიბრტყეების მიმართ, მისი ჩრდილი შეიძლება იყოს წრეწირი (ნახ.38) ან ელიფსი (ნახ.39).



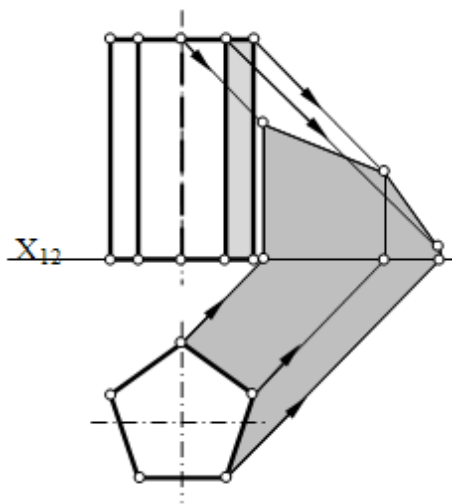
ნახ. 38

ნახ.39-ზე ჰორიზონტალური გეგმილთა სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში მდებარე წრეწირის ჩრდილი აგებულია ჰორიზონტალურ გეგმილთა სიბრტყეზე

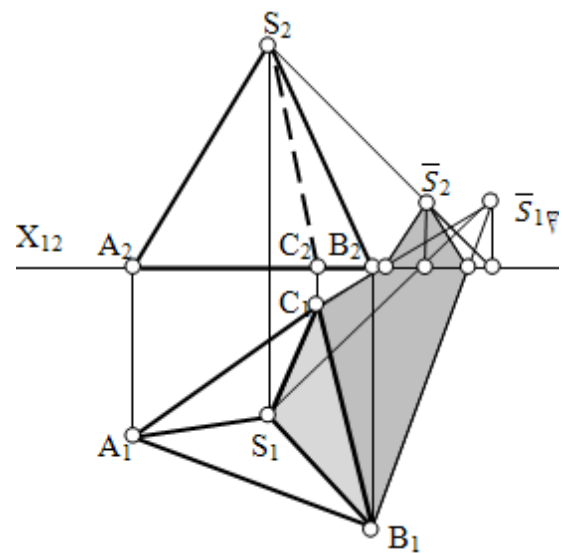


ნახ. 39

ნებისმიერი ზედაპირის ჩრდილის ასაგებად, ჯერ საკუთარი ჩრდილის კონტური უნდა განისაზღვროს (ნახ.40) და შემდეგ ამ კონტურის დაცემული ჩრდილი უნდა აიგოს.



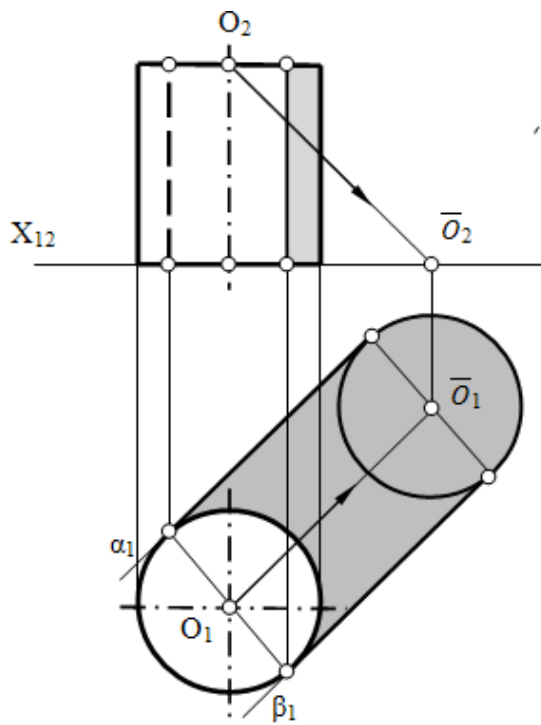
ნახ. 40



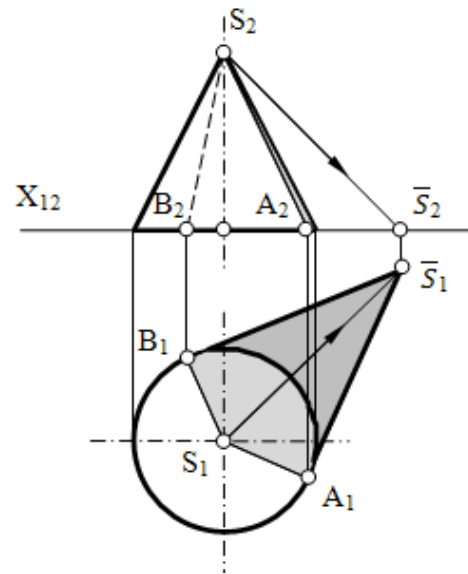
ნახ. 41

ბრუნვის ცილინდრის საკუთარი ჩრდილის კონტურის დასადგენად, ცილინდრის მხები და ფრონტალური გეგმილთა სიბრტყის მიმართ 45°-

ით დახრილი ჰორიზონტალურად მაგეგმილებელი და β სხივური სიბრტყეები გავატაროთ (ნახ.42). ცილინდრის ზედა ფუძის საკუთარი



ნახ. 42



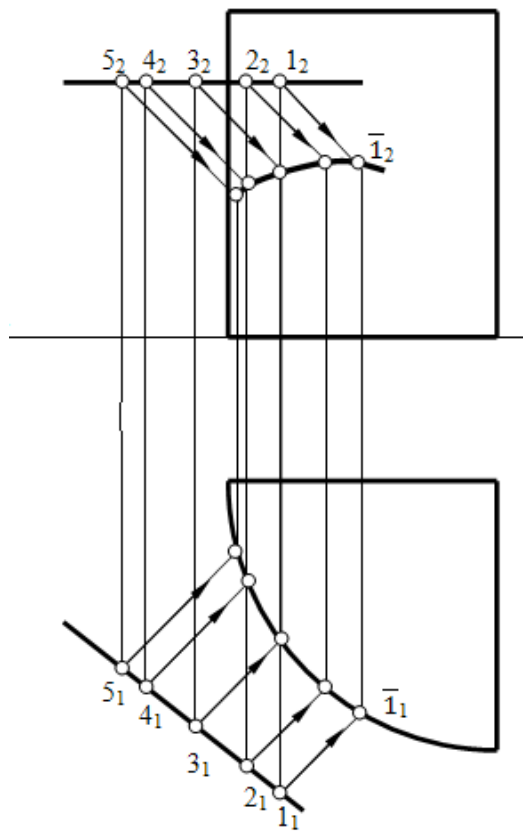
ნახ. 43

ჩრდილი ცნობილი წესით ავაგოთ. მიღებული კონტურის დაცემული ჩრდილი შემოსაზღვრავს ცილინდრის დაცემულ ჩრდილს. ფრონტალურ გეგმილზე კი მიღებული მსახველის მარჯვნივ ცილინდრი საკუთარ ჩრდილში იქნება.

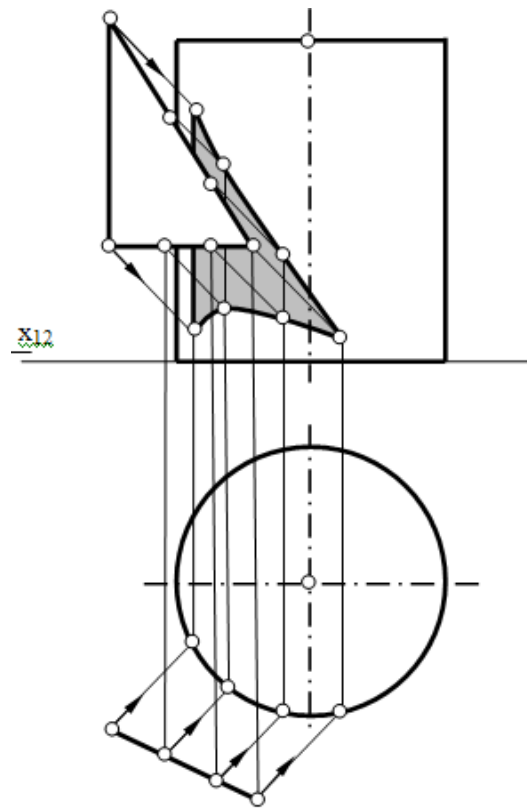
ბრუნვის კონუსის დაცემული ჩრდილის ასაგებად, ჯერ მისი S წვეროს ჩრდილი ავაგოთ. წვეროს ჩრდილის მიღებულ S_1 გეგმილზე კონუსის ფუძის წრეწირის მხები $\bar{S}_1 A_1$ და $\bar{S}_1 B_1$ წრფეები გავატაროთ. შეხების წერტილებში გამავალი მსახველები და ამ წერტილებს შორის მოქცეული ფუძის წრეწირის რკალი საკუთარი ჩრდილის კონტურს განსაზღვრავს (ნახ.43).

2.2.2 ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (გეომეტრიულ ზედაპირებზე დაცემული ჩრდილები)

წრფის ჩრდილი მრუდ ზედაპირზე ამ წრფეზე გატარებული სხივური სიბრტყისა და მოცემული ზედაპირის კვეთას წარმოადგენს (ნახ.44). ნახ.45-ზე ბრტყელი ფიგურიდან ჩრდილი ეცემა ბრუნვის ცილინდრზე. აგებები ორი ზედაპირის ურთიერთკვეთის ამოცანის ამოხსნის



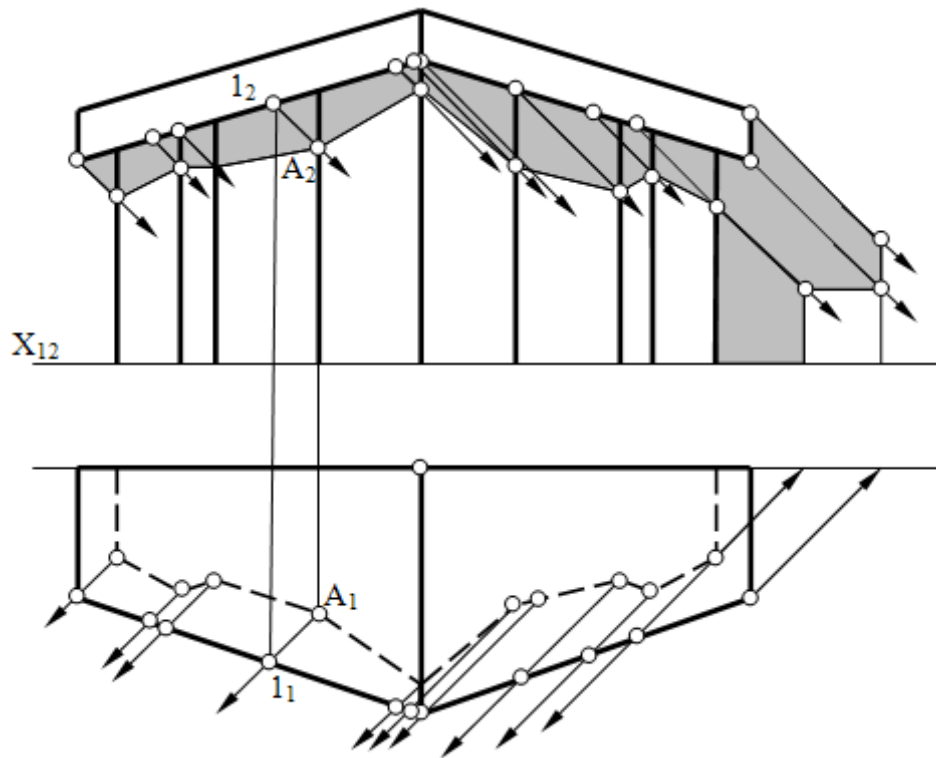
ნახ. 44



ნახ. 45

ანალოგიურია. ჩრდილების საზღვრების დადგენის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. მეთოდს კი ობიექტის ფორმისა და მდებარეობის მიხედვით ვირჩევთ. სასურველია, რომ გრაფიკული ოპერაციების მინიმალური რაოდენობით ამონახსნის რაც შეიძლება მეტი სიზუსტე იქნას მიღწეული[30]. პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გავრცელებულია ზემოთ

განხილული სხივური კვეთების მეთოდი, რომელიც ჩრდილების აგების ძირითად მეთოდს წარმოადგენს (ნახ.46).



ნახ. 46

2.2.3 გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები

ფიგურათა პერსპექტიული გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს პროექტის შექმნის პროცესშივე შემოწმდეს ჩაფიქრებული კომპოზიცია მასშტაბურობის, პროპორციულობის, შემადგენელი ნაწილების ურთიერთდებარეობის და სხვა მოთხოვნების გათვალისწინებით[30].

ცენტრალური დაგეგმილების სქემით სიბრტყეზე მიღებულ გამოსახულებასა და სამგანზომილებიან ობიექტს შორის გარკვეული დამოკიდებულება არსებობს. გეომეტრიული ფიგურების პროექციული თვისებების შესწავლა დეზარგის თეორემით დავიწყეთ. იმ ორ სამკუთხედს, რომლებიც დეზარგის თეორემას აკმაყოფილებს, პერსპექტიული სამკუთხედები ეწოდება. შესაბამისი წვეროების შემაერთებელ წრფეთა საერთო S წერტილს-პერსპექტივის ცენტრი,

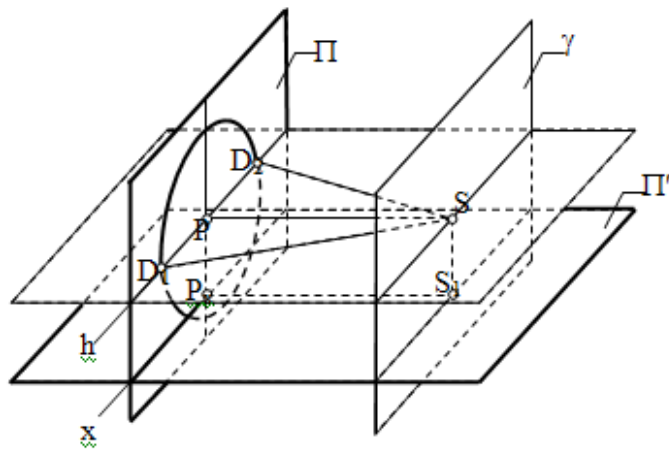
ხოლო წრფეს, რომელიც სამკუთხედების შესაბამისი გვერდების გადაკვეთის წერტილებით განისაზღვრება – პერსპექტივის ღერძი.

ამ ტერმინების გათვალისწინებით დეზარგის თეორემა შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ: თუ ორ სამკუთხედს აქვს პერსპექტივის ცენტრი, მაშინ ამ სამკუთხედებს ექნება პერსპექტივის ღერძიც და პირიქით, თუ ორ სამკუთხედს აქვს პერსპექტივის ღერძი, მაშინ იარსებებს პერსპექტივის ცენტრიც.

პერსპექტიული გამოსახულების მისაღებად ცენტრალური დაგეგმილების სპეციალური სისტემა გამოიყენება.

მოცემულ სქემაში Π სიბრტყე Π' სიბრტყის მართობულია; როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნებისმიერი A' წერტილისათვის Π სიბრტყეზე ყოველთვის მოიძებნება ერთადერთი (A, A_1) წყვილი და პირიქით, ამ წესით აგებული (A, A_1) წყვილი ერთადერთ A' წერტილს განსაზღვრავს სივრცეში[29].

ახლა უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ ამ სქემის შემადგენელი ელემენტები და მიღებული ტერმინები (ნახ. 47).



ნახ. 47

Π – გეგმილთა ვერტიკალური სიბრტყე ანუ სურათის სიბრტყე.

Π' –გეგმილთა ჰორიზონტალური სიბრტყე ანუ ფუძეთა სიბრტყე.

X -სურათის ფუძე ($X = \Pi \cap \Pi'$). λ -ჰორიზონტის სიბრტყე ($S \in \lambda \parallel \Pi'$).

λ -ჰორიზონტის სიბრტყე ($S \in \lambda \parallel \Pi'$). γ -ნეიტრალური სიბრტყე ($S \in \gamma \parallel \Pi$).

$|S P|$ -მთავარი მანძილი.

\perp

P-მთავარი წერტილი ($SP \cap \Pi = P$; $SP \perp \Pi$).

PD_1 რადიუსიანი წრეწირი-მთავარი წრეწირი.

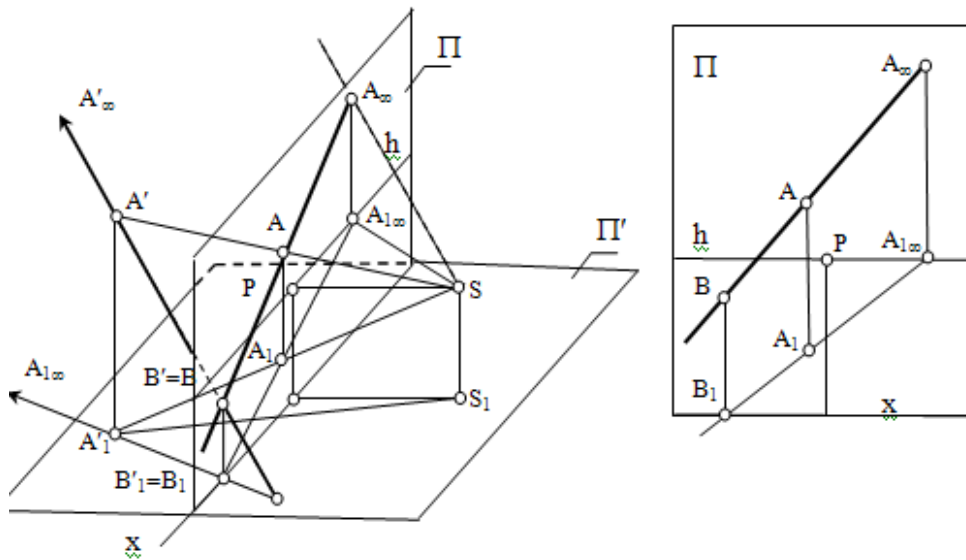
D_1, D_2 -დისტანციის წერტილები ($\angle SD_1\Pi = 45^\circ$ და $\angle SD_2\Pi = 45^\circ$).

$A^1, B^1 \dots$ მოცემული წერტილები. $A^1_1, B^1_1 \dots$ წერტილების ფუძეები.

$A_1, B_1 \dots$ მეორეული გეგმილები. $A, B \dots$ მოცემული წერტილების პერსპექტივი[30].

წრფის პერსპექტივის ასაგებად საკმარისია მისი ორი წერტილის პერსპექტივა ავაგოთ (ნახ.48).

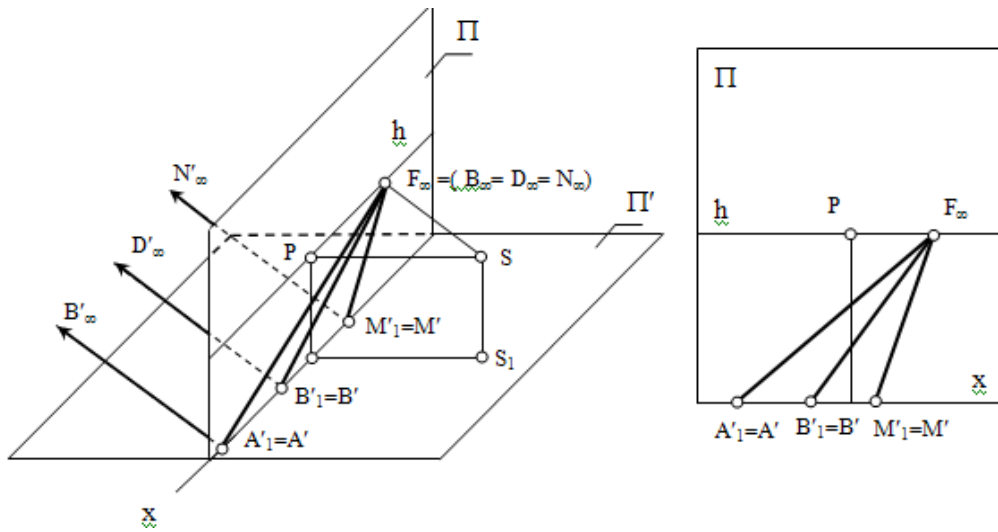
ნახაზზე წრფის მახასიათებელ წერტილებად მოცემული წრფისა და სასურათე სიბრტყის გადაკვეთის B' წერტილი და ამ წრფის უსასრულოდ შორს მდებარე ანუ არასაკუთრივი A'_{∞} წერტილია შერჩეული. სასურათე სიბრტყესთან გადაკვეთის წერტილის გეგმილი



ნახ. 48

თავისთავს შეუთავსდება ($B' = B$), ხოლო არასაკუთრივი წერტილის გეგმილის ასაგებად მზერის S წერტილზე მოცემული წრფის პარალელური წრფე გავატაროთ და ვიპოვოთ მისი გადაკვეთა (A_{∞}) სასურათე სიბრტყესთან. თუ A' წერტილს $A'B'$ წრფეზე უსასრულობისკენ გადავადგილებთ, მისი A'_1 ფუძეც A_1B_1 წრფეზე უსასრულობისკენ გადავადგილდება. როდესაც A_1 უსასრულობაში გადავა, მისი მაგეგმილებელი SA_1 სხივი A_1B_1 წრფის და მაშასადამე

ფუძეთა სიბრტყის პარალელური გახდება. აქედან გამომდინარე, იგი

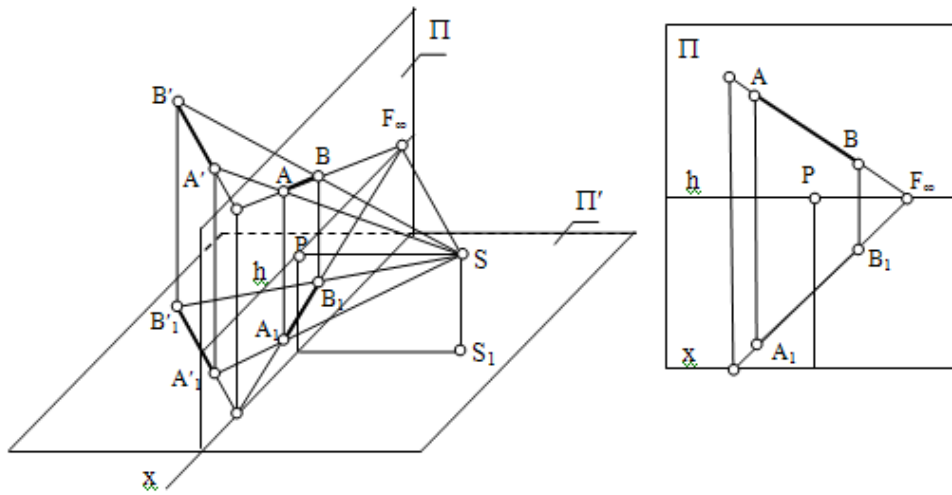


ნახ. 49

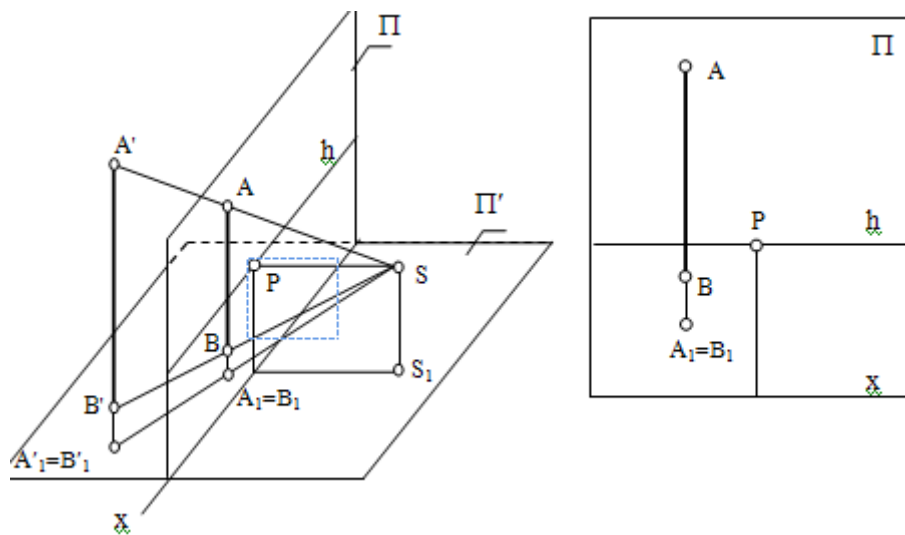
სასურათე სიბრტყეს ჰორიზონტის ხაზზე გადაკვეთს. ამავე დროს, A' წერტილის გადაადგილების პროცესში ამ წერტილის და მისი ფუძის A და A_1 პერსპექტივები ჰორიზონტის ხაზის მიმართ მართობულ კავშირის წრფეზე იქნება განლაგებული. ე.ი. თუ სასურათე სიბრტყეზე მოცემულია რაიმე წრფის a პერსპექტივა და აგრეთვე მისი ფუძის a_1 პერსპექტივა, საჭიროა a_1 გავაგრძელოთ ჰორიზონტის ხაზის გადაკვეთამდე, მიღებული A' წერტილიდან აღვმართოთ მართობი (ვერტიკალური კავშირის წრფე), რომელიც a წრფეზე მოგვცემს არასაკუთრივი A'_{∞} წერტილის A_{∞} პერსპექტივას[29].

განვიხილოთ ფუძეთა სიბრტყეში მდებარე პარალელურ წრფეთა კონა $A'B' \parallel C'D' \parallel M'N' \parallel \dots$ როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, $A' = A, C' = C, M' = M \dots$ ამ წრფეთა არასაკუთრივ წერტილთა გეგმილების მოსაძებნად კი მზერის S წერტილზე თითოეული მათგანის პარალელური წრფე გავატაროთ და ამ წრფეების გადაკვეთის წერტილები სასურათე სიბრტყესთან. ნახ. 49-დან ჩანს, რომ ეს წერტილები ერთმანეთს დაემთხვევა ($B_{\infty} = D_{\infty} = N_{\infty} = F_{\infty}$).

განვიხილოთ ფუძეთა სიბრტყის პარალელური $A'B'$ წრფე. $A'B' \parallel A_1'B_1$ და რადგან პარალელურ წრფეებს ერთი თავმოყრის წერტილი აქვს, მათ პერსპექტივებსაც თავმოყრის ერთი F_{∞} წერტილი ექნება, რომელიც ჰორიზონტის ხაზზე მდებარეობს (ნახ.50



ნახ. 50

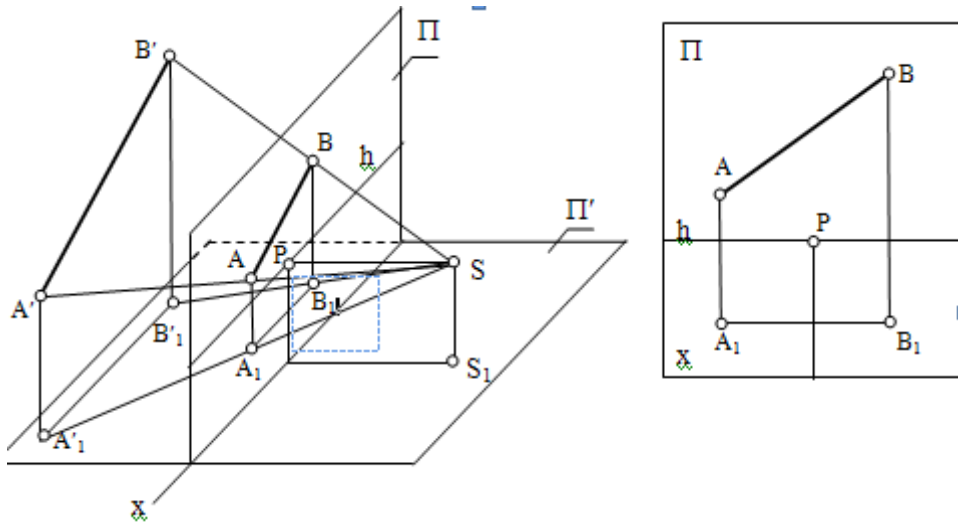


ნახ. 51

ფუძეთა სიბრტყის მართობული $A'B'$ წრფის პერსპექტივი სურათის X ფუძის მართობული იქნება (ნახ. 51), ხოლო ფუძის A_1B_1 პერსპექტივი წერტილს წარმოადგენს. ასეთი წრფეების თავმოყრის წერტილი არასაკუთრივია[29].

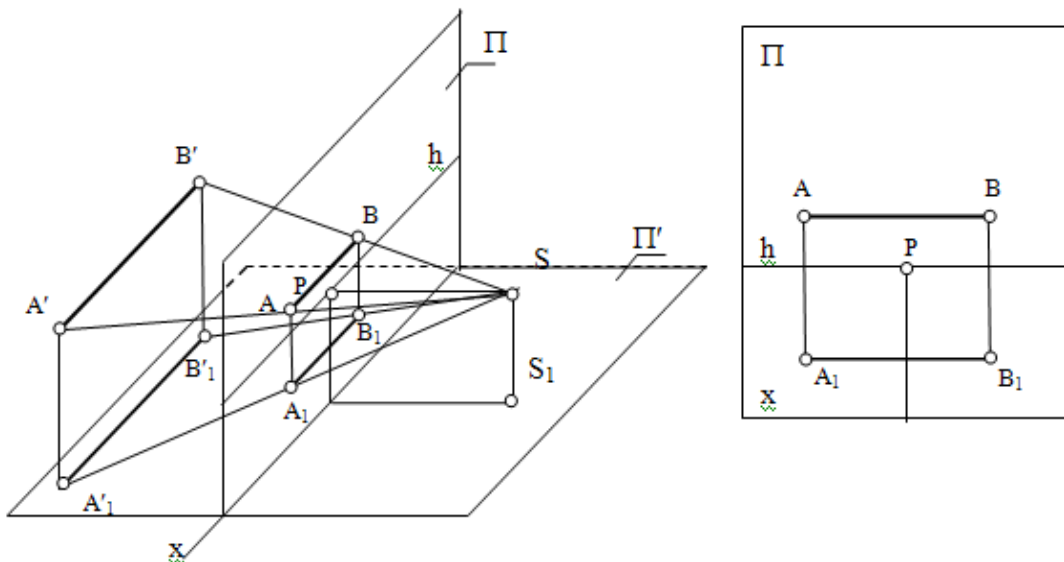
ნახ.52-ზე სასურათე სიბრტყის პარალელური $A'B'$ წრფის პერსპექტივია აგებული. როგორც ნახაზიდან ჩანს, $AB \parallel A'B'$ და $A_1B_1 \parallel X$; სურათის ფუძის პარალელური $A'B'$ წრფის პერსპექტივი და

მეორეული A_1B_1 გეგმილი (ნახ.53) სურათის ფუძის პარალელურია ($AB \parallel A_1B_1 \parallel X$); სასურათე სიბრტყის მართობული წრფეებისა და მათი ფუძეების თავმოყრის წერტილს მთავარი P წერტილი წარმოადგენს (ნახ.54);



ნახ. 52

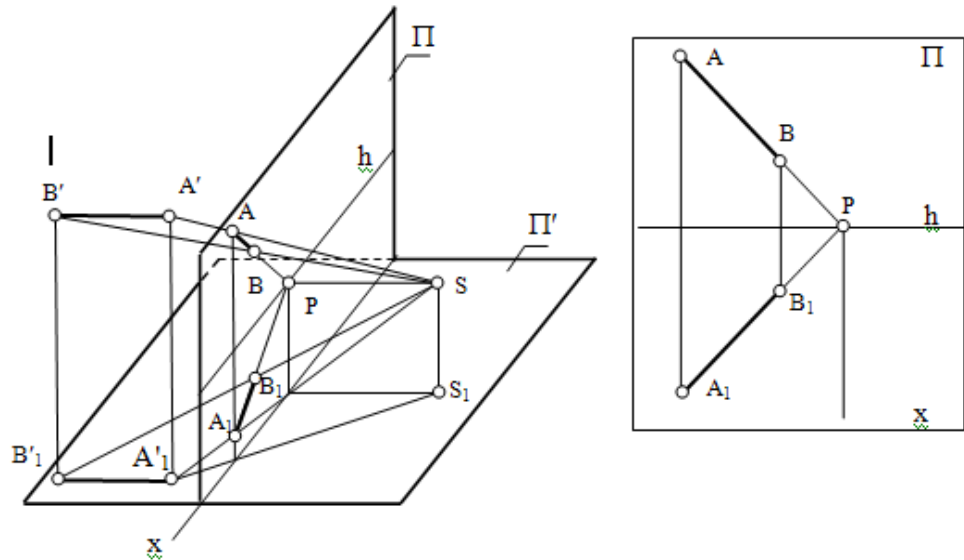
პერსპექტივში სიბრტყეს ორი გადაკვეთილი წრფით განსაზღვრავენ (ნახ.55), რომელთაგან ერთი ფუძეთა სიბრტყესთან, ხოლო მეორე სურათთან მოცემული სიბრტყის თანაკვეთის წრფეს წარმოადგენს (შესაბამისად, ფუძეთა და სასურათე კვალები)[29].



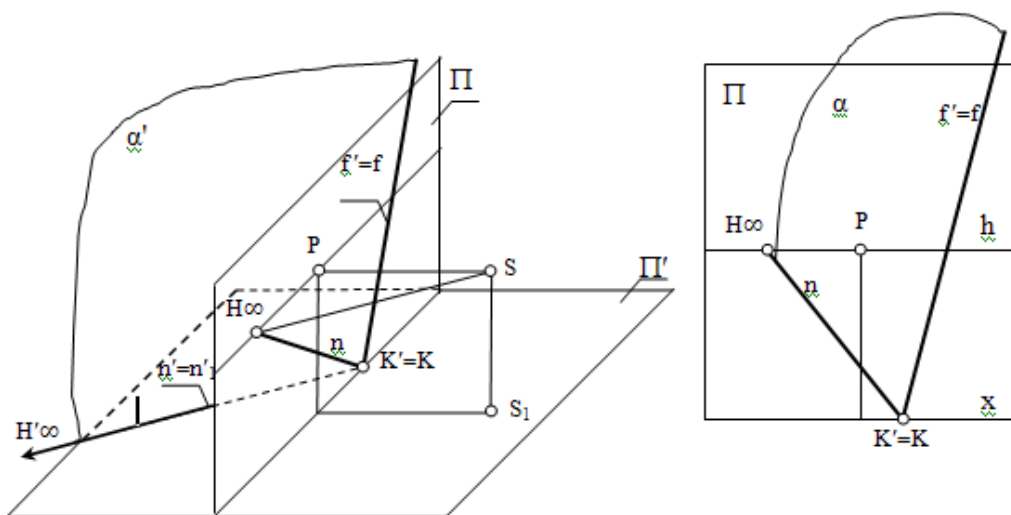
ნახ. 53

თუ მხერის წერტილზე გამავალი და მოცემული სიბრტყის პარალელური სიბრტყის სურათთან გადაკვეთას განვიხილავთ, მივიღებთ წრფეს, რომელიც მოცემული სიბრტყის არასაკუთრივი წრფის გაგმილს წარმოადგენს (ნახ. 56).

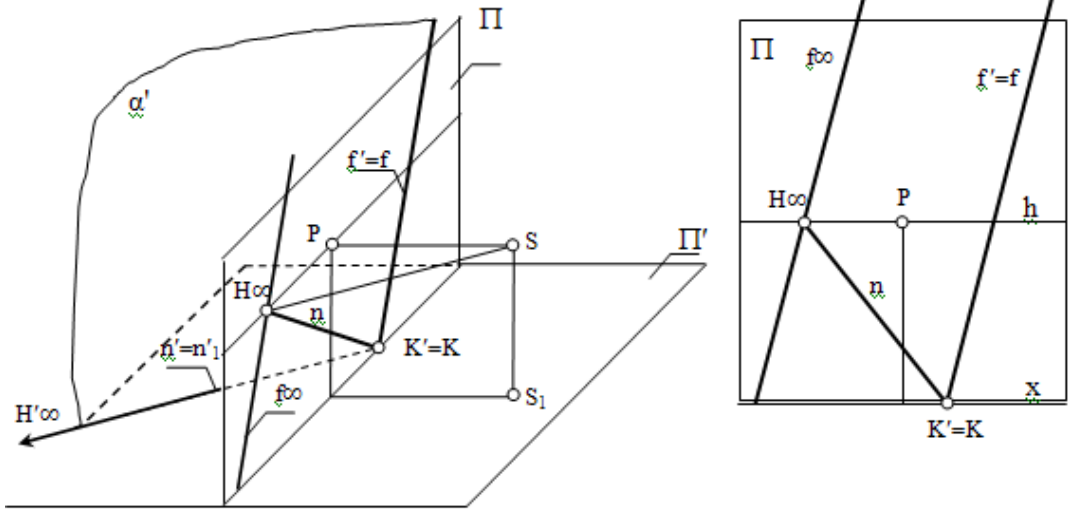
ამგვარად, სიბრტყის არასაკუთრივი წრფის პერსპექტივი სიბრტყის კვალის პარალელურია.



ნახ. 54



ნახ. 55



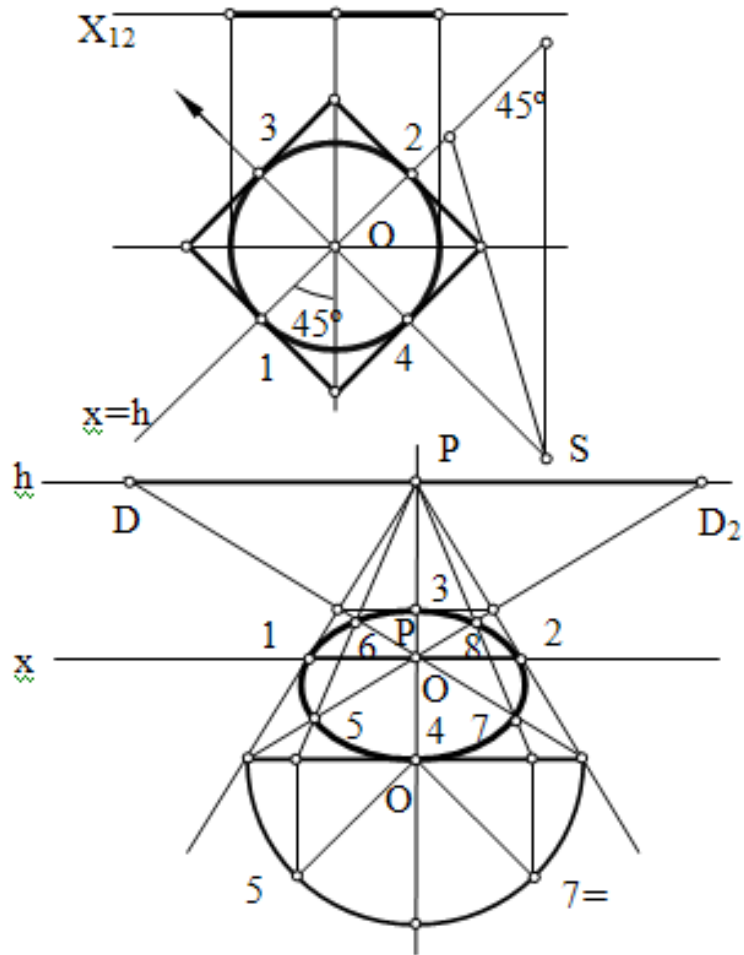
ნახ. 56

რაც შეეხება წრეწირის პერსპექტივს, იგი მიიღება წრეწირის თითოეულ წერტილზე გამავალი მაგეგმილებელი სხივებისგან შექმნილი სხივური კონუსისა და სასურათე სიბრტყის გადაკვეთაში. იმისდა მიხედვით, თუ რა მდებარეობაშია სასურათე სიბრტყე ამ ამ სხივური კონუსის მიმართ, კვეთაში მიღებული წირი შეიძლება იყოს ელიფსი, პარაბოლა ან ჰიპერბოლა.

განვიხილოთ წრეწირის პერსპექტივის (ელიფსის) აგების ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდი, რომელსაც შემოხაზული კვადრატის მეთოდი ეწოდება[30].

ნახ. 57-ზე მოცემულია ფუძეთა სიბრტყეში მდებარე წრეწირის ორთოგონალური გეგმილები. წრეწირზე შემოვხაზოთ კვადრატი, შევირჩიოთ მხერის წერტილი და სასურათე სიბრტყე, რომელიც წრეწირის ცენტრზე გადის. გავატაროთ x და h . სურათის ფუძეზე P_x წერტილის სხვადასხვა მხარეს გადავზომოთ მოცემული წრეწირის რადიუსები. ლოგორც ვიცით, სატურატე სიბრტყის მართობული წრფეების თავმოყრის წერტილს მთავარი P წერტილი წარმოადგენს. ამიტომ, სურათის ფუძეზე მიღებული 1 და 2 წერტილები შევაერთოთ P წერტილთან. დისტანციის D_1 და D_2 წერტილები შევაერთოთ P_x წერტილთან. მივიღეთ მოცემული კვადრატის პერსპექტივი. კვადრატის ქვედა ფუძეზე, როგორც დიამეტრზე შემოვხაზოთ ნახევარწრეწირი და

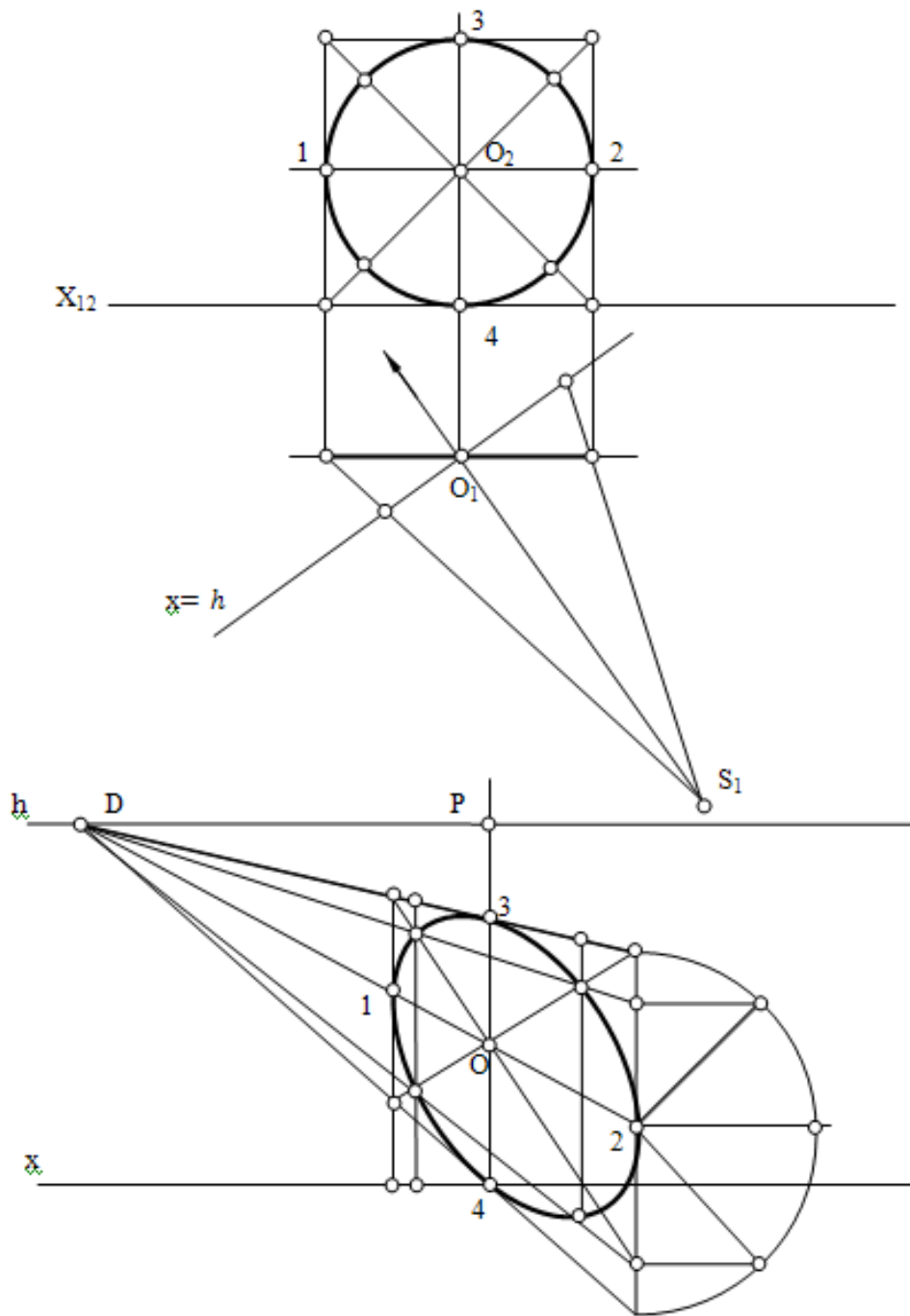
გაგატაროთ პორიზონტალურ მიმართულებასთან 45° -ით დახრილი რადიუსები, რომელთა ბოლოები კვადრატის დიაგონალებზე განსაზღვრავს 5,6,7 და 8 წერტილებს. მიღებული წერტილების მომკვლეები მრუდი ელიფსს წარმოადგენს.



ნახ. 57

ახლა განვიხილოთ ფუძეთა სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში მდებარე წრეწირი და ავაგოთ მისი პერსპექტივი. ამ შემთხვევაშიც დამხმარე წრეწირად სასურათე სიბრტყის პარალელური წრეწირი გამოვიყენოთ (ნახ. 58).

ავაგოთ ორთოგონალურ გეგმილებში მოცემული მართკუთხა პარალელებიპედის პერსპექტივი (ნახ.59). შევირჩიოთ მზერის (S_1, S_2) წერტილი და მთავარი სხივის (S_1P) მიმართულება. სურათის სიბრტყე მზერის მიმართულების მართობულად უნდა ავიღოთ, მაგრამ მისი



ნახ. 58

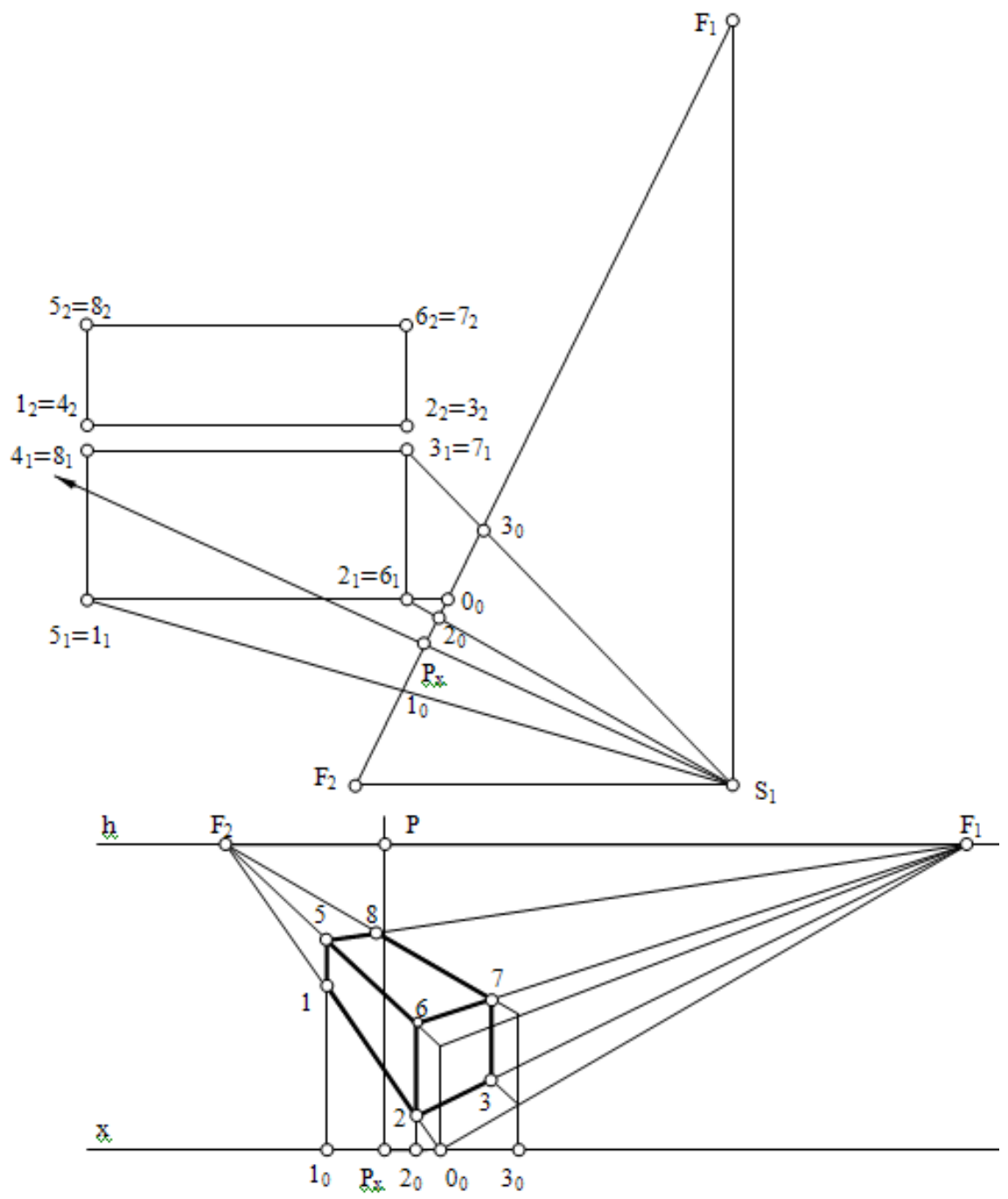
დაშორება მზერის წერტილიდან მხოლოდ იმაზეა დამოკიდებული, თუ რა ზომის პერსპექტივი გვინდა მივიღოთ: რაც უფრო მეტადაა დაშორებული სურათის სიბრტყე S წერტილიდან, მით უფრო დიდი ზომის პერსპექტიულ გამოსახულებას მივიღებთ.

პერსპექტივის ასაგებად ჰორიზონტი და სურათის ფუძე გავატაროთ. h და x წრფეთა შორის მანძილი ორთოგონალური გეგმილებიდან

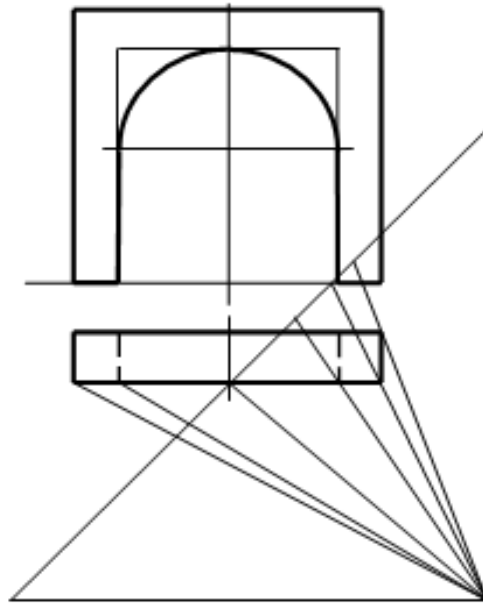
უნდა ავიღოთ. დაგნიშნოთ მთავარი P წერტილი. მზერის S წერტილზე პრიზმის (1,2) და (2,3) წიბოების პარალელური წრფეები გავატაროთ და ვიპოვოთ ამ წრფეების გადაკვეთის წერტილები სასურათე სიბრტყესთან (F_1 და F_2), რომლებიც შესაბამისი მიმართულების პარალელურ წრფეთა კონების თავმოყრის წერტილებს წარმოადგენს. რადგან (1,2) და (2,3) წრფეები ჰორიზონტალური წრფეებია, მათი თავმოყრის წერტილები ჰორიზონტის ხაზზე P წერტილიდან $|PF_1|$ და $|PF_2|$ მანძილებით იქნება დაშორებული[30].

მოცემული ფიგურის გამოსახულების აგებას ერთ-ერთი იმ (O) წერტილიდან დავიწყებთ, რომელიც უშუალოდ სურათის სიბრტყეშია. სურათის x ფუძეზე P წერტილიდან მარჯვნივ მოვზომოთ $P_x O_x$ მონაკვეთი. მიღებული O_x წერტილი შევაერთოთ თავმოყრის F_2 წერტილთან. რადგან O წერტილი ფუძეთა სიბრტყეშია, O_x წერტილიდან შეგვიძლია გადავზომოთ მოცემული ფიგურის სიმაღლე ორთოგონალური გეგმილებიდან და მიღებული O წერტილიც შევაერთოთ თავმოყრის F_2 წერტილთან. ახლა უკვე 1 და 2 წერტილების პერსპექტივის აგება მარტივად შეგვიძლია: გავატაროთ (S_{11}) და (S_{21}) მაგეგმილებელი წრფეები. ამ წრფეების გადაკვეთის წერტილები მოვნიშნოთ სურათის სიბრტყეზე და მიღებული 1_0 და 2_0 წერტილებიდან აღვმართოთ მართობები ($F_2 O_x$) და ($F_2 O$) წრფეებთან გადაკვეთამდე. მივიღეთ 5 და 6 წერტილები. 2 და 6 წერტილებზე გავატაროთ (2,3) და(67) პარალელური წრფეები, რომელთა თავმოყრის წერტილია F_1 . რაც შეეხება 3 და 7 წერტილებს, აიგება უკვე აგებული წერტილების ანალოგიურად. 8 წერტილის აგება სიძნელეს აღარ წარმოადგენს.

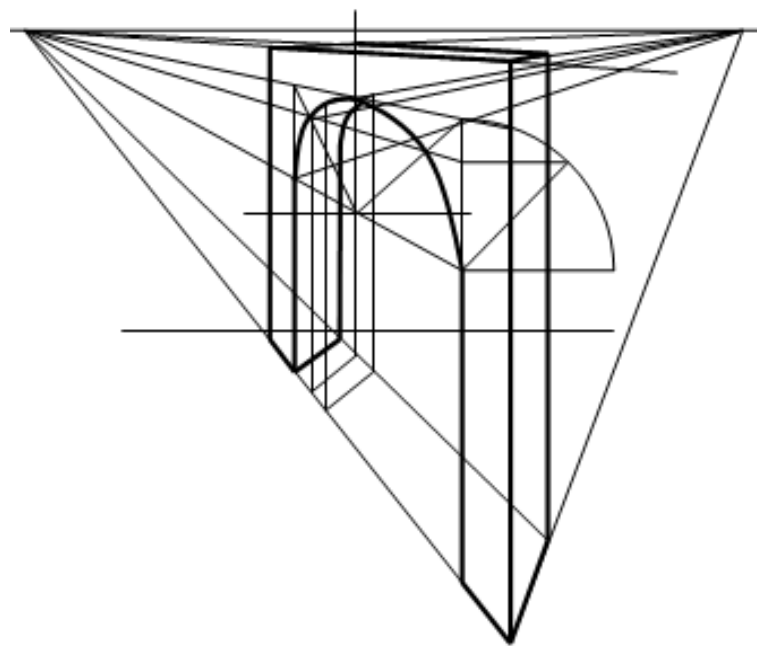
ვთქვათ, ეპიურზე მოცემულია მართი პრიზმა ცილინდრული თაღით (ნახ. 60). ავაგოთ ამ ფიგურის პერსპექტივი ზემოთ განხილული აგებების გათვალისწინებით (ნახ.61).



6sb. 59



б.б. 60



б.б. 61

2.3 მესამე ნაწილი

2.3.1 მხატვრული შემოქმედება მატერიალურ წარმოებაში

მატერიალური წარმოების განვითარებამ მოითხოვა ისეთი სამრეწველო ნაკეთობების დაპროექტება და საგნობრივი გარემოს შექმნა, სადაც ამ ნაკეთობების ტექნიკურ მოთხოვნებთან ერთად ადამიანური ფაქტორიც იქნებოდა გათვალისწინებული. დიზაინერის მიზანი საზოგადოებისათვის სასარგებლო, საექსპლოატაციოდ მოსახერხებელი და ლამაზი საგნების შექმნა გახდა[37].

სამრეწველო დიზაინი სამრეწველო ნაკეთობების დაპროექტების შემოქმედებითი პროცესია, რომელიც ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნათა შესაბამისად ხორციელდება. სასარგებლო და ლამაზი ნაკეთობების შექმნა ამ ნაკეთობების კონსტრუქციულ-ტექნიკური და ეკონომიური მოთხოვნების გათვალისწინებით უნდა ხდებოდეს. ფორმათა ძიებისას დიზაინერმა სწორად უნდა განსაზღვროს ტექნიკურსა და ესთეტიკურს, მატერიალურსა და სულიერს შორის არსებული თანაფარდობა მოცემულ საგნობრივ გარემოში.

სამრეწველო დიზაინი არამარტო საგნობრივ გარემოს გარდაქმნის, არამედ ამ გარემოს მიმართ ადამიანის დამოკიდებულებასაც აყალიბებს. იმდენად, რამდენადაც ექსპლოატაციის პროცესში საგნები გარკვეულ შემოქმედებას ახდენს ადამიანზე, იწვევს ადამიანის დამოკიდებულებას ამ საგნობრივ გარემოზე. ადამიანთა გემოვნების განვითარებასთან ერთად, სამრეწველო დიზაინს შეუძლია წინასწარ განსაზღვროს მოსახლეობის მოთხოვნა შესაბამისი მიმართულებით[40].

სამრეწველო ნაკეთობებში სასარგებლო და ლამაზი განუყოფლადაა დაკავშირებული. სილამაზეს, როგორც დამატებით მახასიათებელს, უკვე მზა ნაწარმს ვერ მივანიჭებთ. სილამაზე იქმნება დაპროექტების დასაწყისშივე, როცა ფორმის შერჩევისას ვითვალისწინებთ ნაკეთობის ფუნქციონალურ დანიშნულებას, კონსტრუქციას, მასალას და ტექნოლოგიურობას. ამიტომ, მხატვრული კონსტრუირების მეთოდი ითვალისწინებს დიზაინერის მუშაობას მკვლევარებთან, კონსრუქტორებთან და ტექნოლოგებთან ერთად, კონსტრუირების მოსამზადებელი ეტაპიდანვე. მხოლოდ ამ შემთხვევაში და ასეთ

პირობებში შეიძლება იყოს დიზაინერის მუშაობა ეფექტური ახალი ნაკეთობების შექმნისას[36].

2.3.2 ნაკეთობის ესთეტიკური ღირებულება

მხატვარ-კონსტრუქტორმა პროექტირების პროცესში ფორმათა წარმოქმნის ობიექტური კანონზომიერებები უნდა გაითვალისწინოს. მან არა მარტო საგნების სასარგებლოება უნდა უზრუნველყოს, არამედ შექმნას ისინი ლამაზი, თანამედროვე სტილის, მოდის და ესთეტიკური გემოვნების შესაბამისად, ერთ ნაკეთობაში შეუთანხმოს სასარგებლო და ლამაზი. სწორედ ეს ფაქტორი უნდა იყოს გათვალისწინებული პროექტირების დროს. იმ შემთხვევაში, როცა ნაკეთობის სარგებლიანობას ძირითადი მნიშვნელობა აქვს (ჩარხები, ხელსაწყოები) პროექტირებაში უნდა ჭარბობდეს ფუნქციონალური მიდგომა, მაგრამ აუცილებლად სტილისა და კომპოზიციის მოთხოვნათა გათვალისწინებით. ასეთი ნაკეთობების ესთეტიკური ღირებულებები და სილამაზე კონსტრუქციების დახვეწისას იბადება და მას ძირითადად ინჟინერ-კონსტრუქტორი ქმნის. როცა წინა პლანზე ნაკეთობის სილამაზეა წამოწეული (სუვენირები, ბევრი კულტურულ-საყოფაცხოვრებო ნაწარმი), იზრდება და ხანდახან მთავარიც ხდება ფორმის მხატვრული ძიება, სტილისა და მოდის აყოლა. რა თქმა უნდა, ამ შემთხვევაშიც, პროექტირებისას ფორმათა წარმოქმნის ტექნიკური ფაქტორების უგულვებელყოფა არ შეიძლება.

ქმნის რა ნაწარმს, მხატვარ-კონსტრუქტორი ანიჭებს მას საზოგადოებრივ შინაარსს, აკეთებს მას სასარგებლოს, მოსახერხებელსა და ლამაზს. მხატვრული პროექტირების მეთოდებით შექმნილი ნაკეთობები არამარტო ტექნიკურად სრუყოფილი და ეკონომიურია, არამედ ექსპლოატაციასაც მოსახერხებელი, ჰარმონიული და გარეგნულად მიმზიდველი. ასეთი რეზულტატი მხოლოდ ინჟინრებისა და მხატვარ-კონსტრუქტორების მჭიდრო თანამშრომლობით მიიღწევა. მათი ერთობლივი მუშაობის შედეგად იქმნება სამრეწველო პროდუქცია

ხარისხის მაღალი მაჩვენებლით, რომელიც მომხმარებლის მოთხოვნებს ყოველმხრივ დააკმაყოფილებს[36].

ყოველი ახალი ნაკეთობა, რომელიც სერიულ წარმოებაში უნდა ჩაიშვას, წინასწარ საგულდაგულო მხატვრულ დამუშავებას მოითხოვს. ხელოსნის წარუმატებლობა არის ცუდი ნაწარმის ერთეული ეგზემპლარი, ხოლო სერიული წარმოების წარუმატებლობას კი მნიშვნელოვან დანაკარგებამდე მიყვავართ. ამიტომ, ახალი სამრეწველო ნაწარმის დამპროექტებელთა ჯგუფს დიდი პასუხისმგებლობა აკისრია.

თავისი მუშაობის პროცესში მხატვარ-კონსტრუქტორს უხდება გულმოდგინედ გაითვალისწინოს სამრეწველო ნაწარმისათვის წაყენებული სოციალურ-ეკონომიური და ესთეტიკური მოთხოვნების ფართო წრე.

მოთხოვნებს, რომელსაც სერიული სამრეწველო პროდუქციის მომხმარებელი უყენებს მხატვარ-კონსტრუქტორს, ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები ეწოდება. ნაკეთობისადმი ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნების განსაზღვრისას საჭიროა გათვალისწინებული იყოს როგორც მისი მოხმარების, ასევე თანამედროვე წარმოების პირობები.

2.3.3. საგნობრივი გარემოს გარდაქმნა და სამრეწველო დიზაინი

წარმოების პროცესში ადამიანი მუდმივად ქმნის და ცვლის საგნობრივ გარემოს. ეს გარემო მისი შრომითი საქმიანობის პროდუქტს წარმოადგენს და იმ აუცილებელ ცხოვრებისეულ საშუალებას შეადგენს, რომლის გარეშეც ადამიანს არსებობა არ შეუძლია.

ადამიანი ქმნის და იყენებს, საგნობრივი გარემო ფორმირდება და ფუნქციონირებს. სამრეწველო ნაწარმი, რომელიც კარგად პასუხობს თავის დანიშნულებას და მოცემულ ისტორიულ მომენტში აკმაყოფილებს ადამიანს, განიხილება, როგორც ფუნქციონალურად სრულყოფილი, მოსახერხებელი და სასარგებლო.

სამრეწველო საქონლის ხარისხის გაუმჯობესებასა და ასორტიმენტის სრულყოფაში დიდ როლს მხატვარ-კონსტრუქტორები ასრულებენ. მათ მიერ დაპროექტებული ნაკეთობები ერთმანეთს უნდა შეესაბამებოდეს ზომებში, ფორმაში, ფერში და გარემომცველ საგანთა ერთიანი კომპლექსები წარმოქმნას. დამპროექტებლების წინაშე დგას ამოცანა – ადამიანთა შრომისათვის, ყოფაცხოვრებისა და დასვენებისათვის აუცილებელი კომფორტული გარემოს შექმნა.

საწარმოო ესთეტიკა ტექნიკური ესთეტიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია. საწარმოო გარემოს ესთეტიკური ორგანიზაცია მჭიდრო კავშირშია შრომის მეცნიერულ ორგანიზაციასთან და შრომითი საქმიანობისა და დასვენებისათვის ოპტიმალური პირობების შექმნასთან დაკავშირებულ პრობლემებთან. იგი აგრეთვე მნიშვნელოვან სოციალურ ფაქტორსაც წარმოადგენს, რადგან ხელს უწყობს ადამიანის პიროვნული თვისებების განვითარებას[40].

ახალი საწარმოების დაპროექტებისა და მშენებლობის დროს დიდი ყურადღება ეთმობა სამუშაო გარემოს შექმნის პრობლემებს, რომლებიც შრომითი პირობების გაუმჯობესებასა და ესთეტიკური ღირებულებების დაკმაყოფილებას ემსახურება.

სამრეწველო გარემოს ესთეტიკური ფორმირება უნდა განიხილებოდეს, როგორც ღონისძიებათა კომპლექსი, მიმართული მექანიზაციის, ავტომატიზაციის და სრულყოფილი ტექნოლოგიების დანერგვისაკენ, შრომის კომფორტული პირობების შექმნისა და ესთეტიკური გამომსახველობის მიღწევისკენ. ასეთი გარემო კი ადამიანებში დადებით ემოციონალურ და მხატვრულ ზემოქმედებას გამოიწვევს[36].

2.3.4. ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები ფართო მოხმარების საგნების დაპროექტებაში

პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ როცა საქმე გვაქვს ესთეტიკურად სრულყოფილ საგანთან, როცა ჩვენ წინ მართლაც მაღალი კლასის

ნაკეთობაა, იგი წარმოადგენს, როგორც წესი, ინჟინერ-კონსტრუქტორის, მხატვარ-კონსტრუქტორისა და ბევრი სხვა მაღალკვალიფიცირებული სპეციალისტის ერთობლივი, შეთანხმებული თანამშრომლობის შედეგს. ასეთი შედეგის მისაღებად მხატვარ-კონსტრუქტორმა წინასწარ კარგად უნდა გაიაზროს და შეისწავლოს ტექნიკური ესთეტიკის ის ძირითადი მოთხოვნები, რომელსად უნდა აკმაყოფილებდეს კონკრეტული დასაპროექტებელი ნაკეთობა.

ნაკეთობის ფუნქცია ფართო ცნებაა და იგი უცილებლად ადამიანის მოღვაწეობასთან კავშირში განიხილება. დანიშნულების გარდა (ძირითადი სამუშაო ფუნქცია), გათვალისწინებული უნდა იყოს ისეთი საკითხები, როგორცაა მომხმარებლობა, სიმსუბუქე და ბოლოს მომხმარებლის უსაფრთხოება ექსპლოატაციის პროცესში. აქედან გამომდინარეობს მთელი რიგი მოთხოვნებისა ე.წ. ადამიანურ ფაქტორთან დაკავშირებით და ერგონომიკის საკითხები.

სამრეწველო ნაწარმი ლამაზი რომ იყოს, მასში სრულად უნდა ისახებოდეს ის მიზანი, რომელსაც ადამიანი აყენებს ამ ნაწარმის შექმნისას. რამდენადაც საქმე გვაქვს მატერიალურ წარმოებასთან, სრულყოფილად უნდა გადაიჭრას ტექნიკური საკითხებიც, თანაც მინიმალური საშუალებებით. თუ ეს ასეა და საგნის ფორმაშიც მეტ-ნაკლებად გამოიხატება მიზანი და შინაარსი, მაშინ ეს ფორმა აღიქმება, როგორც მშვენიერი[40].

დასაპროექტებელი საგნებისა და საგანთა კომპლექსების მიმართ წაყენებული ტექნიკური ესთეტიკისა მოთხოვნები წარმოადგენს ფორმათა წარმოქმნის ერთ-ერთ ძირითად მონაცემს. სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა და გათვალისწინება მხატვარ-კონსტრუქტორს აძლევს საშუალებას წინასწარი წარმოდგენა შეიქმნას ფუნქციონალური ფორმის, კონსტრუქციული ფორმისა და ტექნოლოგიური ფორმის შესახებ. მაგრამ სრულყოფილი დიზაინ-ფორმის შესაქმენლად ეს საკმარისი არ არის. გარდა ამისა, საჭიროა კომპოზიციის კანონზომიერებებისა და საშუალებების ცოდნაც.

ტექნიკური ესთეტიკის ზოგადი მოთხოვნებია[36]:

ა) **გამომსახველობა**, რომელიც წარმოადგენს ნაკეთობის თვისებას, თავისი გარეგნული სახით თვალნათლივ ასახოს ხარისხი და შესაბამისი ესთეტიკური ზემოქმედება მოახდინოს.

ბ) **ორიგინალურობა-ერთობლიობა** ნაკეთობის ფორმის თავისებური ელემენტებისა და მათი ურთიერთკავშირისა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, გავარჩიოთ იგი სხვა, ამავე ტიპის ნაკეთობისაგან. ორიგინალურობის ცნება კი არ გამორიცხავს, პირიქით ხაზს უსვამს და ინარჩუნებს ფორმისთვის დამახასიათებელ ნაციონალურ, საწარმოო ან საფირმო ნიშანს.

გ) **ჰარმონიულობა**- ნაკეთობის ფორმის თვისებები ორგანულად უნდა ერწყმოდეს ფორმის ელემენტებს, რაც ამ ელემენტების ურთიერთგანლაგებითა და ურთიერთკავშირით მიიღწევა. ჰარმონიულობის მოთხოვნა ვრცელდება აგრეთვე ნაკეთობის ნაკეთობის შესაბამისობაზე იმ შენობა-ნაგებობასთან, სადაც მისი ექსპლოატაცია უნდა მოხდეს. დ) **სტილის ერთიანობის** მოთხოვნა- ნაკეთობის სტილი იმ მომენტში არსებულ და ისტორიულად ჩამოყალიბებულ სოციალურ-ეკონომიურ და იდეურ-ესთეტიკურ პრინციპებს უნდა ასახავდეს.

ე) **სტილის თანამედროვეობა** – ნაკეთობა შესაბამისობაში უნდა იყოს საერთო მსოფლიო სტილთან და განვითარების საერთო დონესთან.

2.3.5 დაპროექტების სტადიები

ნებისმიერი სამრეწველო ნაკეთობის დაპროექტების პროცესი შეიძლება სტადიებად დავეყოთ. მხატვარ-კონსტრუქტორის როლი თითოეულ სტადიაზე სხვადასხვა შეიძლება იყოს[36].

პროექტირების პირველი, მოსამზადებელი სტადია-**კვლევის** სტადიაა. სხვა სპეციალისტებთან ერთად კვლევაში დიზაინერიც იღებს მონაწილეობას, ეხება ფორმათა წარმოქმნის საკითხებს, სწავლობს კავშირს ადამიანი-საგანი-გარემო. კვლევის პროცესში გროვდება ინფორმაცია დასაპროექტებელ ნაწარმზე იმ გამოცდილების გათვალისწინებით, თუ როგორ მზადდებოდა ადრე ანალოგიური ნაკეთობები. მთელი შეგროვილი ინფორმაცია ყოველმხრივ ანალიზდება,

რაც სრულ წარმოდგენას გვიქმნის ამ ნაკეთობაზე და ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს მისი შემდგომი სრულყოფისათვის.

მაჩვენებლები, რომლის მიხედვითაც უნდა გაწარმოთ ანალიზი, დამოკიდებულია ნაკეთობის სირთულეზე, მის ურთიერთკავშირზე ადამიანთან და გარემოსთან.

ნაკეთობის ნიმუშის შესწავლისას დგინდება მისი დამზადებისთვის საჭირო ტექნოლოგიური და კონსტრუქციული მეთოდები, განისაზღვრება საჭირო მასალები და დაისახება მათი გამოყენების რაციონალური გზები, გამოიკვლევა ნაკეთობის შესაბამისობა დანიშნულებასთან და ექსპლოატაციის პირობებთან (თუ რამდენად მოსახერხებელი იქნება ნაკეთობა ექსპლოატაციისას), გამოითვლება, რამდენად ეკონომიური გადაწყვეტილებები იქნა მიღებული. ნაკეთობის დამზადების შეფასების ზოგადი მაჩვენებელი გამოიყვანება ზემოთ ჩამოთვლილ მაჩვენებლებზე დაყრდნობით. მაჩვენებლების რაოდენობა და მათი შედარებითი ანალიზი დამოკიდებულია ნაკეთობის სირთულესა და დანიშნულებაზე.

კვლევის დამამთავრებელ სტადიაზე შედგება ძირითადი მოთხოვნები ახალი ნაკეთობის დაპროექტებაზე და ეს მოთხოვნები გათვალისწინებული იქნება მომავალ პროექტზე მუშაობისას.

დაპროექტების მეორე სტადიაა **მხატვრულ-საკონსტრუქტორო წინადადებების** სტადია. ეს არის ყველაზე უფრო რთული სტადია მხატვრულ კონსტრუირებაში. ამ სტადიაზე წარმოებს ფორმათა ძიება და დამუშავება, განისაზღვრება კინემატიკური და ელექტრული სქემები, შეირჩევა კონსტრუქციული მასალები, შესაძენი მზა ნაწილები და დეტალები, დადგინდება კვანძებისა და ცალკეული ნაწილების გაბარიტული ზომები და მისაღები კონსტრუქციული გადაწყვეტები.

ამ სტადიაზე ძირითად შემსრულებლებად გვევლინებიან ინჟინერ-კონსტრუქტორი და მხატვარ-კონსტრუქტორი, რომლებიც მჭიდრო კონტაქტში მუშაობენ მთელი დაპროექტების პროცესში. თუმცა, ეს არ გამორიცხავს ტექნოლოგის, ერგონომისტის, ექიმის ან სხვა სპეციალისტის მონაწილეობას პროექტირების პროცესში, მაგრამ ამ სტადიაზე ისინი ძირითადად კონსულტატების როლს ასრულებენ.

მხატვრულ-საკონსტრუქტორო წინადადებებს მოჰყვება დასაპროექტებელი ნაკეთობის ესკიზის დამუშავება, რომელიც ძირითადი დამაკავშირებელი რგოლია ინჟინერ-კონსტრუქტორსა და მხატვარ-კონსტრუქტორს შორის. პირველი მათგანი წყვეტს პროექტირების ტექნიკურ საკითხებს, ხოლო მხატვარ-კონსტრუქტორი ამ გადაწყვეტილებების საფუძველზე აწარმოებს ძიებას. მხატვარ-კონსტრუქტორის მიერ წინადადებები და ვარიანტები ინჟინერ-კონსტრუქტორს გადაეცემა დასამუშავებლად. დამუშავების ამ პროცესში შეიძლება ინჟინერ-კონსტრუქტორს მხატვარ-კონსტრუქტორის საყურადღებოდ შენიშვნები და წინადადებები დაეხადოს. თავის მხრივ, უკანასკნელს შეუძლია პასუხად ახლებური კონსტრუქციული გადაწყვეტები წამოაყენოს

ფორმისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტების ძიება შემოქმედებითი პროცესია და ოპტიმალური ვარიანტი მხოლოდ მაშინ შეიძლება შემუშავდეს, თუ ინჟინერ-კონსტრუქტორისა და მხატვარ-კონსტრუქტორის მიერ ერთობლივად წამოყენებული ყველა მოთხოვნა და წინადადება იქნება გათვალისწინებული.

მხატვრულ-საკონსტრუქტორო წინადადებების დამუშავების სტადიაზე, როგორც წესი, იბადება საკითხების გადაწყვეტის სხვადასხვა გზები, ნაკეთობის ესკიზები სრულდება ნახატებისა და ნახაზების სახით, რაც საშუალებას იძლევა ოპერატიულად იქნას შეტანილი შესაბამისი ცვლილებები. ესკიზების დამზადების პარალელურად, მხატვარ-კონსტრუქტორი აწარმოებს ძიებას და ნაკეთობის ფორმის დახვეწას მაკეტირების გამოყენებით. მაკეტირება სრულდება პირობითი მასალით (პლასტილინით, მუყაოთი, თიხით და ა.შ.).

ყველა დამუშავებული წინადადება ანალიზს უნდა ექვემდებარებოდეს. შედეგად კი შეირჩევა საუკეთესო ვარიანტი, რომელზედაც გაგრძელდება მუშაობა.

პროექტირების მესამე სტადიაა **მხატვრულ-საკონსტრუქტორო პროექტის** შედგენა, რომელიც ნაკეთობის ტექნიკური პროექტის დამუშავებას შეესაბამება. ამ სტადიაზე სამუშაოს მოცულობა და მონაწილე სპეციალისტების რიცხვი საგრძნობლად იზრდება. ადრე

შესრულებული ესკიზები საბოლოოდ იხვეწება, დამუშავდება კონსრუქციის კვანძები და შემადგენელი ელემენტები. მხატვარ-კონსტრუქტორმა ფორმის ჩამოყალიბებისას ყველა ის ცვლილება უნდა გაითვალისწინოს, რომელიც პროექტირების პროცესში შეიძლება მოხდეს. ამავე დროს, ეს გადაწყვეტილებები აუცილებლად უნდა შეუთანხმოს ინჟინერ-კონსტრუქტორს.

ტექნიკური პროექტის შესრულების სტადიაზე, როცა ნაკეთობის ფორმასთან დაკავშირებული საკითხები საბოლოოდ გადაწყვეტილია, მხატვარ-კონსტრუქტორი უფრო გულდასმით ამუშავებს ცალკეული დეტალების ფორმებს, განსაკუთრებით კი იმ ნაწილებისას, რომლებიც განსაზღვრავს მომხმარებლის მიერ ნაკეთობის მოსახერხებელ მოხმარებას. საბოლოოდ, ტექნოლოგთან, ფიზიოლოგთან და სხვა სპეციალისტებთან ერთად მხატვარ-კონსტრუქტორი ირჩევს დასამზადებლად აუცილებელ და ზედაპირის მოსაპირკეთებელ მასალებს, რადგან გარდა ესთეტიკური მოთხოვნებისა, ზედაპირის ფერი და ფაქტურა უნდა აკმაყოფილებდეს ფიზიოლოგის მოთხოვნებსაც.

ესკიზური პროექტის სიღრმისეული დამუშავების გარდა, პროექტირების ამ სტადიაზე წყდება რიგი სხვა საკითხებიც: რაციონალური კონსტრუქციული მასალების შერჩევა და ნაკეთობის დამზადების ოპტიმალური ტექნოლოგიები, კვანძებისა და შემადგენელი ნაწილების უნიფიკაცია და ნორმალიზაცია.

მხატვრულ-საკონსტრუქტორო პროექტირების სტადიაზე, ნახაზების გარდა, სრულდება მაკეტები პირობით მასალებში ან გამოიყენება წინა სტადიაზე შესრულებული და შენიშვნების გათვალისწინებით დამუშავებული მაკეტები. აუცილებლობის შემთხვევაში ნაკეთობის ნატურალური სიდიდის მოდელიც მზადდება. ეს ეხმარება მხატვარ-კონსტრუქტორს მოახდინოს ფორმისა და ფერის კორექტირება, რომელიც უნდა შეთანხმდეს საპროექტო ჯგუფის დანარჩენ წევრებთან, რადგან ამ ცვლილებებმა ნაკეთობის დამზადების ტექნოლოგიასა და მასალის შერჩევაზე შეიძლება მოახდინოს გავლენა.

მეოთხე სტადიაა **მხატვრულ-საკონსტრუქტორო დამუშავების** სტადია. ამ სტადიაზე ნაკეთობის სამუშაო ნახაზები მუშავდება. ფორმათა წარმოქმნისა და ფერის შერჩევის საკითხები წინა სტადიაზე უკვე

დამუშავებულია და მხატვარ-კონსტრუქტორის სამუშაოთა მოცულობა მკვეთრად მცირდება. სამუშაო ნახაზების დამუშავებისას კონსულტანტის რანგში იგი მხოლოდ მაშინ ჩაერთვება, როცა ეს აუცილებელი გახდება. მხატვარ-კონსტრუქტორი უშუალო მონაწილეობას ღებულობს შაბლონებისა და რთული ზედაპირების დამუშავებაში, სხვადასხვა წარწერების დამზადებაში.

სამუშაო ნახაზების შესრულების შემდეგ მზადდება ერთი ან რამდენიმე საცდელი ნიმუში, რომელიც განკუთვნილია ახალი ნაკეთობის მხატვრულ-კონსტრუქციული შეფასებისთვის, ფუნქციონალური მოთხოვნების შესაბამისობაზე, სიმტკიცეზე და ხანგამძლეობაზე გამოცდისთვის. ნიმუშები უნდა დამზადდეს იმავე მასალისაგან, რომელიც პროექტის მიხედვით მასიური წარმოებისთვის არის განკუთვნილი. არ შეიძლება მასალებისა და ზედაპირების მოპირკეთების შეცვლა, რადგან ამან პროექტის იდეის დამახინჯება და ნაწარმის გარეგნული სახის შეცვლა შეიძლება გამოიწვიოს.

მეხუთე სტადია-საცდელი ნიმუშების გამოცდა. მომავალ საექსპლოატაციო პირობებთან მაქსიმალურად მიახლოებულ პირობებში მოწმდება პროექტირების პროცესში მიღებული ყველა გადაწყვეტილების სისწორე და აუცილებლობის შემთხვევაში შეიძლება შეტანილ იქნას შესაბამისი ცვლილებები.

მხატვარ-კონსტრუქტორი სპეციალისტების იმ ჯგუფის სრულუფლებიანი წევრია, რომელიც საცდელი ნიმუშის დამზადების პროცესზე ახორციელებს საავტორო ზედამხედველობას და ამ პროცესის შედეგებზე გამოაქვს დასკვნა.

პროექტირების ზემოთ მოყვანილი სტადიები დამახასიათებელია შედარებით რთული ნაკეთობებისთვის, როგორცაა ჩარხები, მანქანები, ხელსაწყოები, ფოტოაპარატები, მტვერსასრუტები, ტელევიზორები, ავეჯი და სხვა. რიგი ნაკეთობების პროექტირება არ მოითხოვს სპეციალისტების დიდ რაოდენობას, ოღონდ ზოგადი საორგანიზაციო პრინციპი იგივე იქნება.

მხატვარ-კონსტრუქტორის მუშაობის მეთოდთა არსებითად დასაპროექტებელი ნაკეთობის დანიშნულებაზე, გამოყენების არეზე და ესთეტიკურ მოთხოვნებზეა დამოკიდებული.

2.3.6 საპროექტო ამოცანების ძირითადი ტიპები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ნებისმიერი სამრეწველო ნაკეთობის დაპროექტების პროცესი პირობითად ხუთ სტადიად შეიძლება დავეყოთ. ჩვენს მიერ მოძიებულ ლიტერატურაში[36] საპროექტო ამოცანების ოთხი ძირითადი ტიპია გამოყოფილი: 1)უმარტივესი საგნებისა და მექანიკური მოწყობილობების დაპროექტება 2)რთული პრაქტიკული და სივრცობრივ-მოცულობითი სტრუქტურის მექანიზმების დაპროექტება 3)სამრეწველო ნაკეთობათა კომპლექსის დაპროექტება და 4)საგნობრივი გარემოს დაპროექტება.

სპეციალისტთა ჯგუფის მიერ შესრულებული ანალიზის შემდეგ, რომელიც დამოკიდებულია ნაკეთობის სირთულესა და მის ურთიერთკავშირზე ადამიანთან და გარემოსთან, უნდა განისაზღვროს, საპროექტო ამოცანის ზემოთ ჩამოთვლილი ტიპებიდან რომელს მიეკუთვნება კონკრეტული ამოცანა. ყოველი ტიპის შესრულება კი თავის თავში გულისხმობს იმ ძირითადი სტადიების ნაბიჯ-ნაბიჯ გავლას, რომელის აუცილებელია საპროექტო ამოცანის წარმატებით დასრულებისთვის.

2.3.7 საპროექტო გრაფიკა

საპროექტო გრაფიკის რამდენიმე სახე არსებობს: წრფოვანი გამოსახულება, მონოქრომული (ერთფერიანი) გამოსახულება, შესრულებული ე.წ. ამორეცხვით ან დაფერვით და პოლიქრომული, რომელიც რამდენიმე ფერში სრულდება. საპროექტო გრაფიკის ამა თუ იმ სახის შერჩევა დამოკიდებულია დასაპროექტებელი ობიექტის ხასიათზე, შესასრულებელი გამოსახულების (გეგმილის) სახეზე (პერსპექტივა, ჭრილი, ორთოგონალური გეგმილი) და ზოგად კომპოზიციურ ჩანაფიქრზე.

წრფოვანი გამოსახულება-ნახაზის შესრულება, საპროექტო გრაფიკის სხვა დანარჩენ სახეებთან შედარებით, დროის ნაკლებ დანახარჯს მოითხოვს და იმ შემთხვევებში გამოიყენება, როცა გამოსახულებას მნიშვნელოვანი მოცულობით-სივრცობრივი შთაბეჭდილების მოხდენა არ მოეთხოვება. წრფოვანი გრაფიკა მეტ-

ნაკლებად ბევრ პირობითობას შეიცავს, მეტი ყურადღება ექცევა ტექნიკურ და გეომეტრიულ ინფორმაციას, ინტერიერის, ექსტერიერისა და სხვადასხვა სქემების დაგეგმარებას. სიმარტივე, ლაკონიურობა, მკაფიოდ შესრულებული ნახაზი, თავისუფალი სხვადასხვა გარეგნული ეფექტებისაგან, ხშირად ხდის ორთოგონალურ გეგმილებს ერთადერთ მისაღებ საშუალებად.

მონოქრომული (შუქ-ჩრდილოვანი) გამოსახულება, შესრულებული შავ-თეთრი, ე.წ. ამორეცხვის ან დაფერვის მეშვეობით თვალსაჩინოდ გადმოგვცემს საგნის მოცულობით ფორმასა და მის ძირითად სივრცობრივ განსაკუთრებულობას.

მხატვრულ პროექტირებაში, ჩვეულებრივ, მონოქრომული გამოსახულებები პოლიქრომულ გამოსახულებებთან ერთად კომპლექსში გამოიყენება[38].

პოლიქრომული ნახაზი აკვარელით ან გუაშით სრულდება. შექმნილია პოლიქრომიული ნახაზების შესრულების სხვადასხვა მეთოდი. თითოეულ მეთოდს თავისი ტექნოლოგია, თავისებურება და გამოყენების არე აქვს.

2.3.8 მოდელირება

სამრეწველო ნაკეთობის მაკეტის დამზადება მხატვრული დაპროექტების ყველა ძირითად სტადიაზე შეიძლება გახდეს საჭირო. იმისდა მიხედვით, თუ ძიების რომელ სტადიაზე ხდება ამა თუ იმ ცვლილების შეტანა, საკონსტრუქტორო თუ ტექნოლოგიური წინადადებების გათვალისწინება ან დახვეწა, მაკეტი შეიძლება იყოს საძიებო ან საბოლოო.

მხატვრულ-საკონსტრუქტორო წინადადებების დამუშავების სტადიაზე(მეორე სტადია) საძიებო მაკეტირება პირობითი მასალით(პლასტილინი, მუყაო, ხე, თაბაშირი და ა.შ.) სრულდება.

საგანთა ფორმები, ისე როგორც მათი ფუქციონალური დანიშნულება, მრავალფეროვანია. ფორმათა სირთულის მიხედვით შეირჩევა მაკეტირებისთვის საჭირო მასალა და ოპტიმალური ტექნოლოგიური პროცესი[38].

პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება ფურცლოვანი მასალისგან მაკეტის დაზადების შემთხვევები. მხაზველობითი გეომეტრიიდან ცნობილია, რომ ამისათვის საჭიროა წინასწარ, მონუის ეპიურზე შესრულდეს ფიგურის ნახაზი და ამ ნახაზის მიხედვით განისაზღვროს ფიგურის მახასიათებელი ელემენტების ძირითადი ზომები, კუთხეები და ფართობები. მიღებული სიდიდეების გათვალისწინებით გამოიხაზოს ფიგურის ზედაპირის შლილი ანუ განფენა სიბრტყეზე. მიღებული შლილი გადატანილ უნდა იქნას ფურცლოვან მასალაზე და გამოიჭრას თარგი. ამ თარგის მეშვეობით ხდება საძიებო მაკეტის დამზადება.

რაც შეეხება დაპროექტების იმ სტადიას, როცა ხდება მხატვრულ-საკონსტრუქტორო პროექტის შედგენა, გამოიყენება უკვე შესრულებული მაკეტი ან მზადდება ახალი და უფრო დახვეწილი. ფორმისა და ფერის კორექტირების მიზნით კი შეიძლება ნატურალური სიდიდის მოდელიც დამზადდეს.

მოდელი წარმოადგენს საბოლოო სახის მაკეტს, რომელიც ზუსტად იმეორებს მასიურ წარმოებაში ჩასაშვებ ნაკეთობას თავისი ზომების, ფერის, ფაქტურისა და სხვა მახასიათებლების გათვალისწინებით და იმავე მასალისგან უნდა დამზადდეს, რომელიც პროექტის მიხედვით არის გადაწყვეტილი.

მხატვრული პროექტირების ტექნიკისა და მეთოდების თავისუფალი ფლობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა შემოქმედებითი მიზნების წარმატებით განხორციელებისა და თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისი სამრეწველო პროდუქციის შესაქმნელად. დიზაინერის ოსტატობა აადვილებს (და აჩქარებს) ამ ძიების პროცესს. ფორმების დახვეწა კი სამრეწველო ნაწარმის ფუნქციონალურ და ესთეტიკურ სრულყოფას განაპირობებს.

2.3.9 საინჟინრო გეომეტრიის გამოყენება სამრეწველო დიზაინის ამოცანებში კომპიუტერული მხარდაჭერით

მნიშვნელოვანია ზედაპირების როლი მეცნიერებასა და გამოყენებით ხელოვნებაში, ტექნიკასა და არქიტექტურაში.

მათემატიკაში ზედაპირებს განიხილავენ, როგორც წერტილთა უწყვეტ სიმრავლეს, რომლებიც ერთმანეთთან გარკვეული კანონზომიერებით არის დაკავშირებული.

მხაზველობით გეომეტრიაში ზედაპირები მოცემულია გრაფიკული სახით. ამიტომ მიზანშეწონილია, ზედაპირი განვიხილოთ, როგორც სივრცეში გარკვეული კანონზომიერებით მოძრავი წირის მდებარეობათა ერთობლიობა. ზედაპირის განსაზღვრის აღნიშნულ მეთოდს კინემატიკური მეთოდი ეწოდება. კინემატიკური მეთოდით შესაძლებელია მარტივად წარმოიქმნას და აისახოს საინჟინრო პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული სხვადასხვა ზედაპირი.

არსებობს ზედაპირის ასახვის ე.წ. კარკასული მეთოდი, რომლის მიხედვითაც ზედაპირი განისაზღვრება მისი კუთვნილი წერტილების ან წირების ერთობლიობით.

ტექნიკაში და კერძოდ მანქანათმშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება ბრუნვის ზედაპირები. ეს აიხსნება იმით, რომ საინჟინრო მოწყობილობებისა და მექანიზმების მუშაობა ძირითადად ბრუნვითი მოძრაობებით არის განპირობებული. ასევე გასათვალისწინებელია სხვადასხვა ტიპის ჩარხებზე მათი დამზადების ტექნოლოგიაც.

ზემოთ განხილული იყო მეორე რიგის ზედაპირის, კერძოდ ელიფსური პარაბოლოიდის კვეთა ზოგადი მდებარეობის სიბრტყით (ნახ. 28). ამოცანის გამარტივების მიზნით ელიფსური პარაბოლოიდი ნათესაური შესაბამისობით ბრუნვის პარაბოლოიდად გარდაექმნით. ნათესაობის სიბრტყე შევირჩიეთ ჰორიზონტალური გეგმილთა სიბრტყის პარალელურად. მოცემული ელიფსი ეპიურზე წრეწირად რომ გარდაიქმნას, ვიპოვოთ C_2 წერტილის ნათესაურად შესაბამისი C_2^1 წერტილი. სივრცეში მოცემული ზედაპირი ბრუნვის ზედაპირად გარდაიქმნება[24].

ნახ.62-ზე იგივე ამოცანა შესრულებულია გრაფიკული პროგრამა Auto CAD- ის დახმარებით. ფრონტალურ გეგმილთა სიბრტყეზე სრულად არის დამყარებული ნათესაური შესაბამისობა. მივიღეთ წრეწირი, რომელიც მოცემული ელიფსის ნათესაურად შესაბამისი წირია. ამის შემდეგ უკვე შეგვიძლია დამხმარე მკვეთი სიბრტყეების გამოყენება.

მივიღებთ საძიებელ წირს, რომელიც თავის მხრივ ელიფსს წარმოადგენს (ნახ.62).

ქვემოთ მოყვანილია აღნიშნული ამოცანის ამოხსნისათვის გამოყენებული ბაზური პრიმიტივების ჩამონათვალი Auto CAD 2011-ის ვერსიაში:

Command: _mtext

Command: Specify opposite corner:

Command: _mtext

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _mtext

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _mtext

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: Specify opposite corner:

Command: _mtext

Command: _mtext

Command: _mtext

Command:

Command: _mtext

Command: _mtext Current text style: "Standard" Text height: 2.5 Annotative: No

Specify first corner:

Specify opposite corner or [Height/Justify/Line spacing/Rotation/Style/Width/Columns]:

Command: _move 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Command:

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _mtext

Command:

Command: _mtext

** STRETCH **

Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]:

Command:

Command: *Cancel*

Command: _erase 1 found

Command: _mtext Current text style: "Standard" Text height: 2.5 Annotative: No

Specify first corner:

Specify opposite corner or [Height/Justify/Line spacing/Rotation/Style/Width/Columns]:

Automatic save to C:\Documents and Settings\Administrator\local settings\temp\Drawing1_1_1_6500.sv\$...

Command: *Cancel*

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>: <Ortho on>

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple

Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: <Ortho off>

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:

Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _mtext

Command: _mtext

Command: _mtextedit
Command: _mtextedit
Command:
Command: _mtextedit
Command: _mtextedit
Command: _line Specify first point:
Specify next point or [Undo]: <Ortho on> 8

Specify next point or [Undo]: *Cancel*

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple
Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point
or <use first point as displacement>:
Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:
Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:
Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>:
Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: *Cancel*

Command: Specify opposite corner:
Command: _erase 2 found

Command: _move 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or
<use first point as displacement>:
Command: _line Specify first point: *Cancel*

Command: _copy 1 found

Current settings: Copy mode = Multiple
Specify base point or [Displacement/mOde] <Displacement>: Specify second point
or <use first point as displacement>:
Specify second point or [Exit/Undo] <Exit>: *Cancel*

Command: _move 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or
<use first point as displacement>:
Command: _move 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or
<use first point as displacement>:
:
Command: _move 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or

<use first point as displacement>:

Command: `_move` 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Command: `_move` 1 found

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: Specify second point or <use first point as displacement>:

Command: `*Cancel*`

Command: `_line` Specify first point:

Specify next point or [Undo]: <Ortho off>

Specify next point or [Undo]: `*Cancel*`

Command: `*Cancel*`

**** STRETCH ****

Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]:

Command: `*Cancel*`

Command: `_line` Specify first point:

Specify next point or [Undo]:

Specify next point or [Undo]: `*Cancel*`

Command: `*Cancel*`

Command: `_trim`

Current settings: Projection=UCS, Edge=None

Select cutting edges ...

Select objects or <select all>:

Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:

Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:

Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:

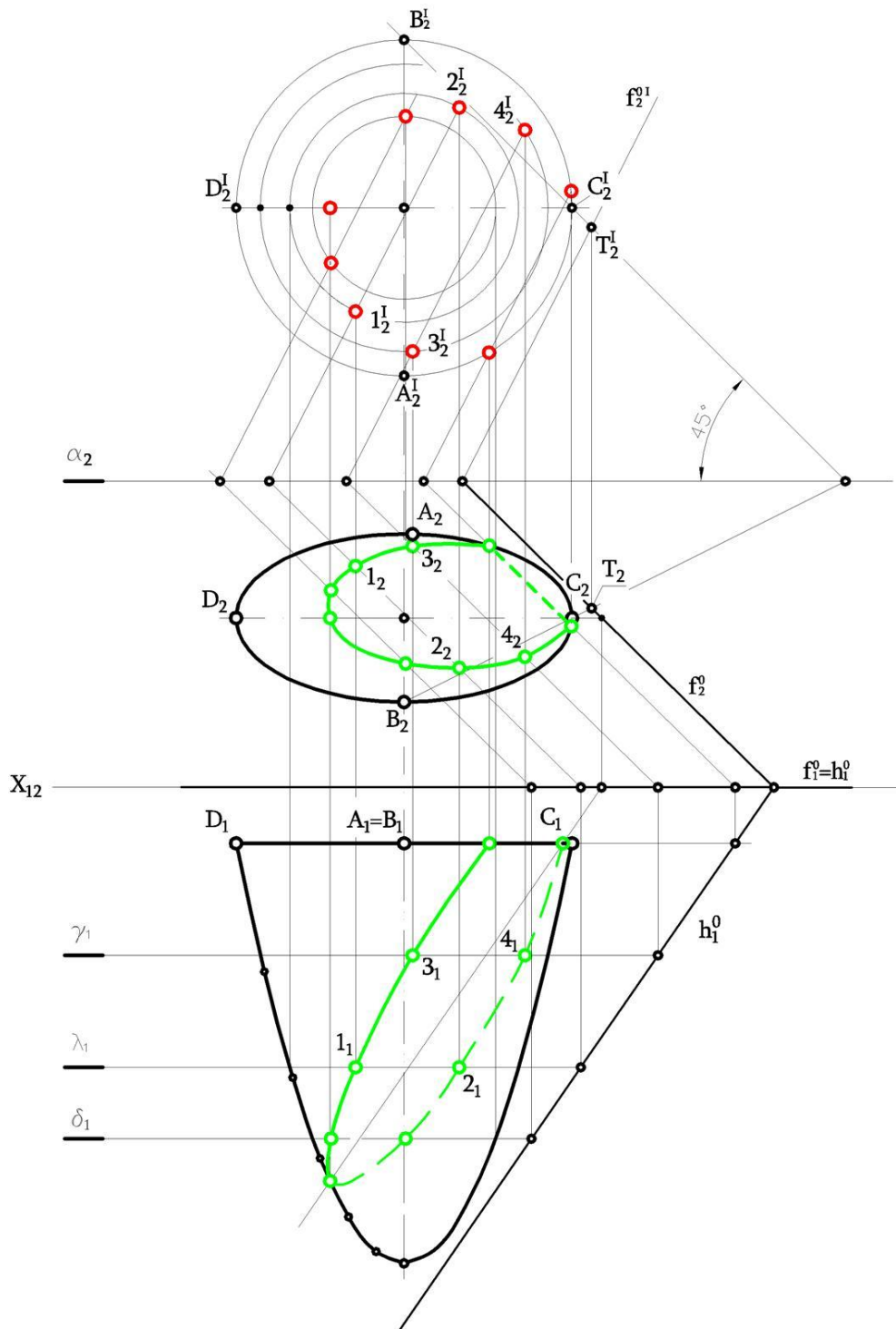
Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:

Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]: Specify opposite corner:

Select object to trim or shift-select to extend or [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]: `*Cancel*`

Command: `_undo` Current settings: Auto = On, Control = All, Combine = Yes,

Layer = Yes
 Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/BEGIN/End/Mark/Back]
 <1>: 1 TRIM GROUP
 Command: `_.undo` Current settings: Auto = On, Control = All, Combine = Yes,
 Layer = Yes
 Enter the number of operations to undo or [Auto/Control/BEGIN/End/Mark/Back]
 <1>: 1 INTELLIZOOM INTELLIPAN INTELLIPAN INTELLIZOOM
 Command: `*Cancel*`
 Command: `*Cancel*` Command: `_trim`
 Current settings: Projection=UCS, Edge=None
 Select cutting edges ...
 Select objects or <select all>:
 Select object to trim or shift-select to extend or
 [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:
 Select object to trim or shift-select to extend or
 [Fence/Crossing/Project/Edge/eRase/Undo]:
 Command: `'_Layer`
 Command:
 Command: `_mtext` Current text style: "Standard" Text height: 2.5 Annotative:
 No
 Specify first corner:
 Specify opposite corner or [Height/Justify/Line
 spacing/Rotation/Style/Width/Columns]:
 Command: `_spline`
 Specify first point or [Object]:
 Specify next point:
 Specify next point or [Close/Fit tolerance] <start tangent>:
 Specify next point or [Close/Fit tolerance] <start tangent>:
 Specify start tangent:
 Specify end tangent:
 Command: `_spline`
 Specify first point or [Object]:
 Specify next point:
 Specify next point or [Close/Fit tolerance] <start tangent>:
 Command: `_ucs`
 Current ucs name: `*NO NAME*`
 Specify origin of UCS or [Face/Named/OBJECT/Previous/View/World/X/Y/Z/ZAxis]
 <World>: `_w`
 Command: `_saveas`
 Command: `_qsave`



ნახ. 62

ნახ.63-ზე მოცემულია ზემსუბუქი რვა ადგილიანი ბიზნეს კლასის თვითმფრინავი Elite, რომელიც წარმოადგენს აშშ-სა და თბილისის ავიამშენებელი ქარხნის ერთობლივ პროექტს. ამ თვითმფრინავის პირველი პროტოტიპი 2008 წლის 1 ივლისს დაფრინდა თბილისის საერთაშორისო აეროპორტში.

საჰაერო ხომალდი სრულად კომპოზიციური მასალებისგან არის აწყობილი(ნახ.64). წინასწარ ხდება ურთულესი ზედაპირების გეომეტრიული ანალიზი. ამ ანალიზის საფუძველზე მუშავდება ზედაპირის წარმოქმნისა და ასახვის კარკასული მეთოდი და მიღებულ ფორმაზე გადაიჭიმება კომპოზიციური მასალები. განხილული მეთოდის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ თვითმფრინავი პრაქტიკულად არ შეიცავს ლითონის დეტალებს და ამით არის განპირობებული მისი სიმსუბუქე.

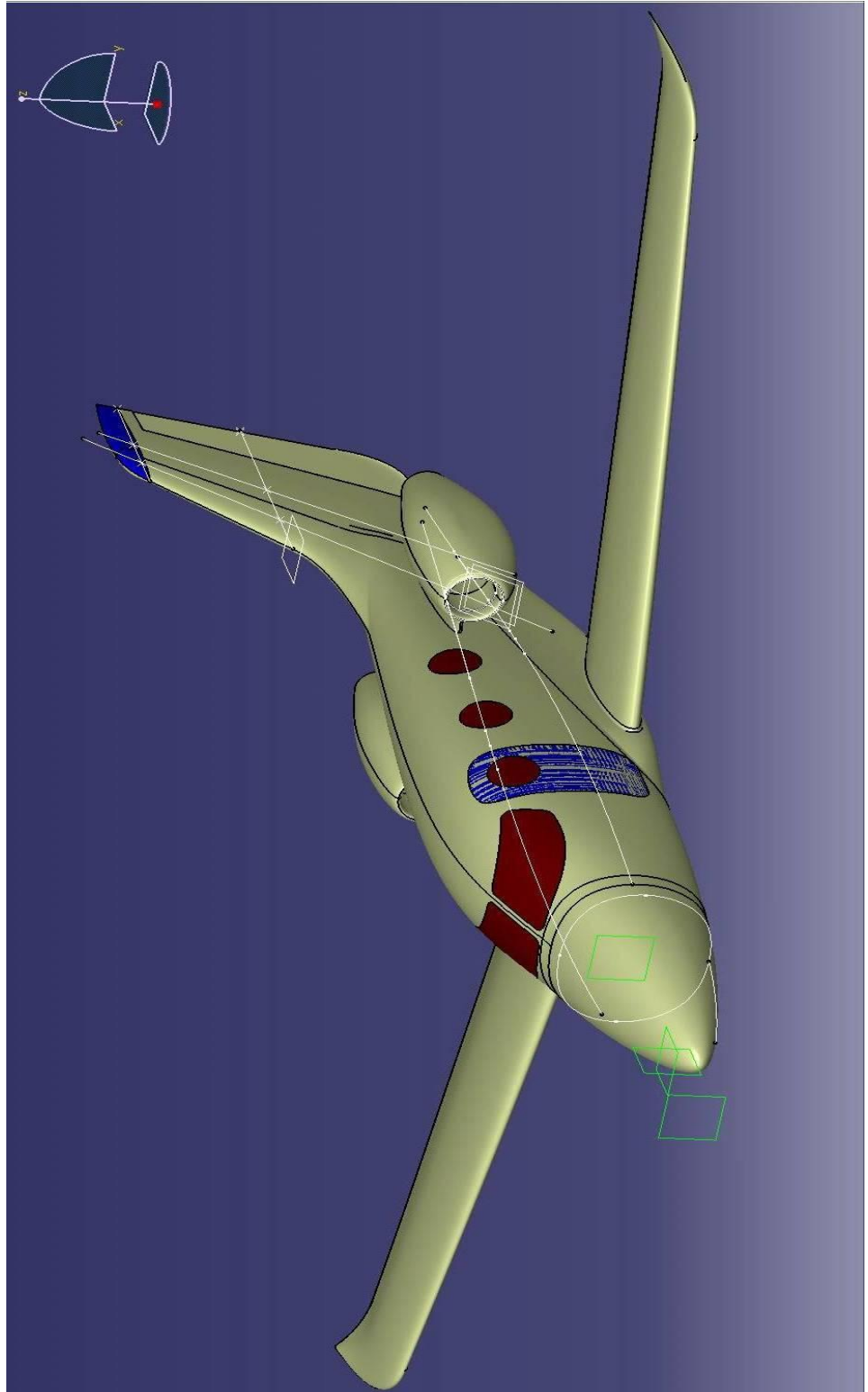
ახალი ბიზნეს get-ის Elite-ს მასა $m=1814$ კგ. საწვავის ავზის მოცულობა-850ლ. საფრენი მანძილი $s=2590$ კმ. ფრენის სიმაღლე $h=12000$ მ. ფრენის მაქსიმალური სიჩქარე $v=760$ კმ/სთ. ეკიპაჟი 1-2 ადამიანისგან შედგება. თვითმფრინავის სიგრძე 12,60 მ-ია, ხოლო სიგანე-13,41 მ. აფრენისთვის $s=450$ მ. დასაფრენი მანძილი $s=490$ მ.

2010 წლის ზაფხულში შეეძლოთ, თვალი მიგვედევნებინა თბილისის ავიამშენებელ ქარხანაში ზემოთაღნიშნული თვითმფრინავის შემადგენელი გარკვეული კვანძების დახვეწისა და დამუშავების პროცესისთვის(ნახ.65). ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა გრაფიკული პროგრამა CATIA, რომლითაც თბილავიამშენის საპროექტო განყოფილებაში Elitget -ის დაპროექტება მიმდინარეობს უმარტივესი დეტალებიდან დაწყებული, თვითმფრინავის ექსპლოატაციის პირობების დადგენითა და ერგონომიკით დამთავრებული.

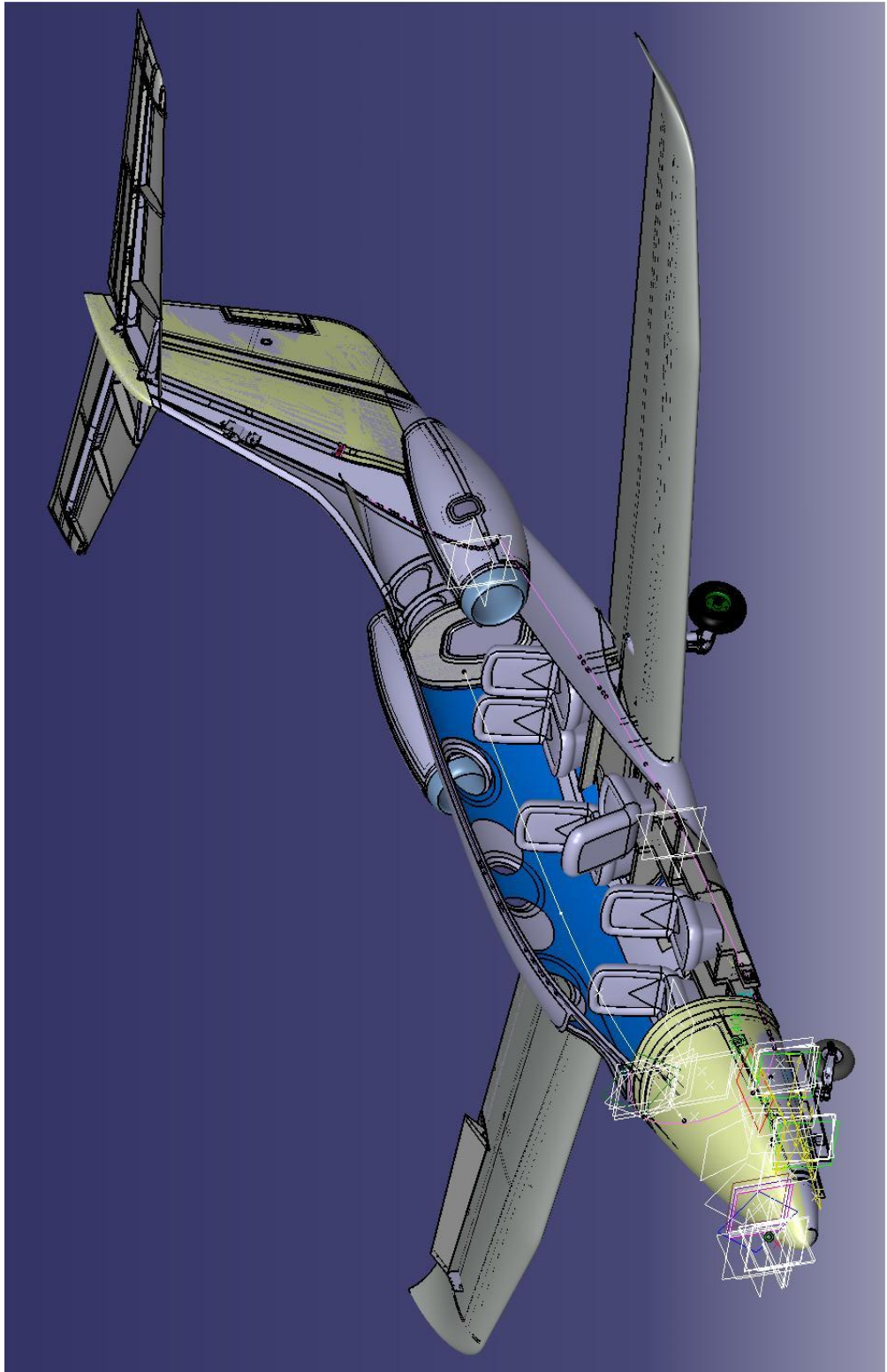
ნახ.66-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ შესრულებული, ამ თვითმფრინავის ძრავის გარსაცმის, ე.წ. „მოტოგანდოლას“ ნახაზი. ეს ზედაპირი რამდენიმე ზედაპირის კომბინაციითაა მიღებული. ნახ.67-ზე კი მისი თვალსაჩინო გამოსახულებაა მოცემული. ნახ.68-ზე აგებულია Elitget -ის ცხვირი. ნახაზები შესრულებულია გრაფიკულ პროგრამა CATIA-ში.



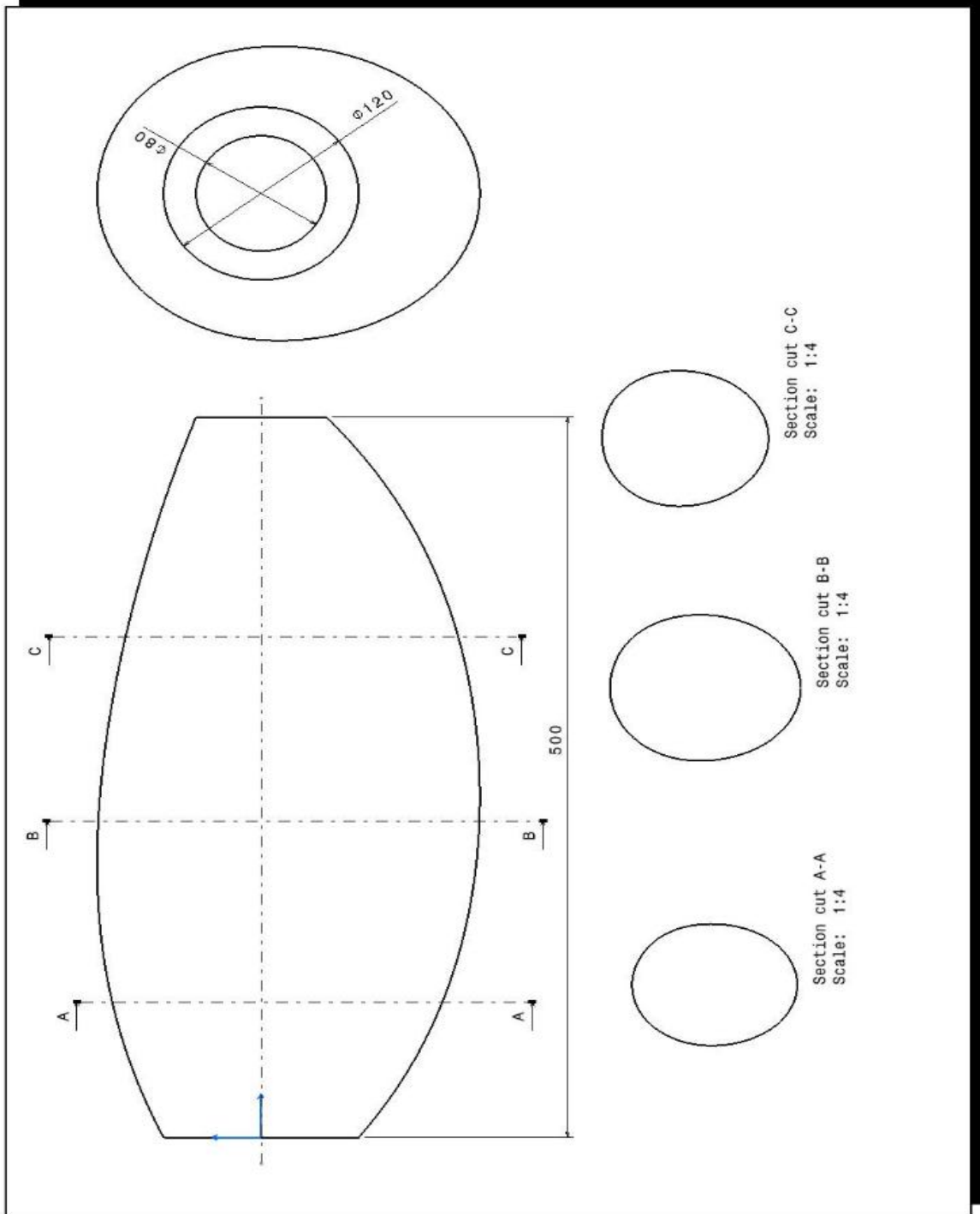
бсб. 63



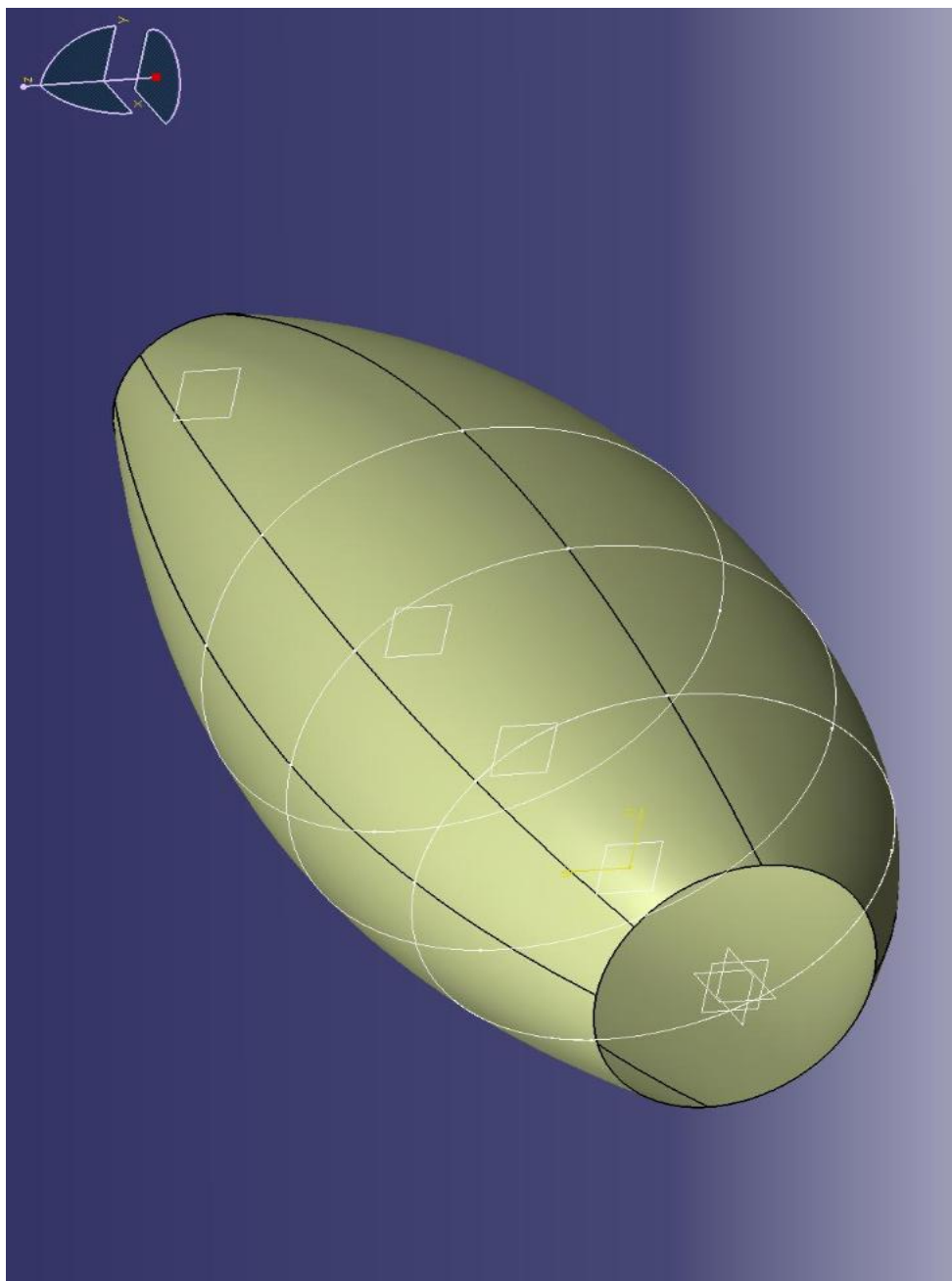
б.б. 64



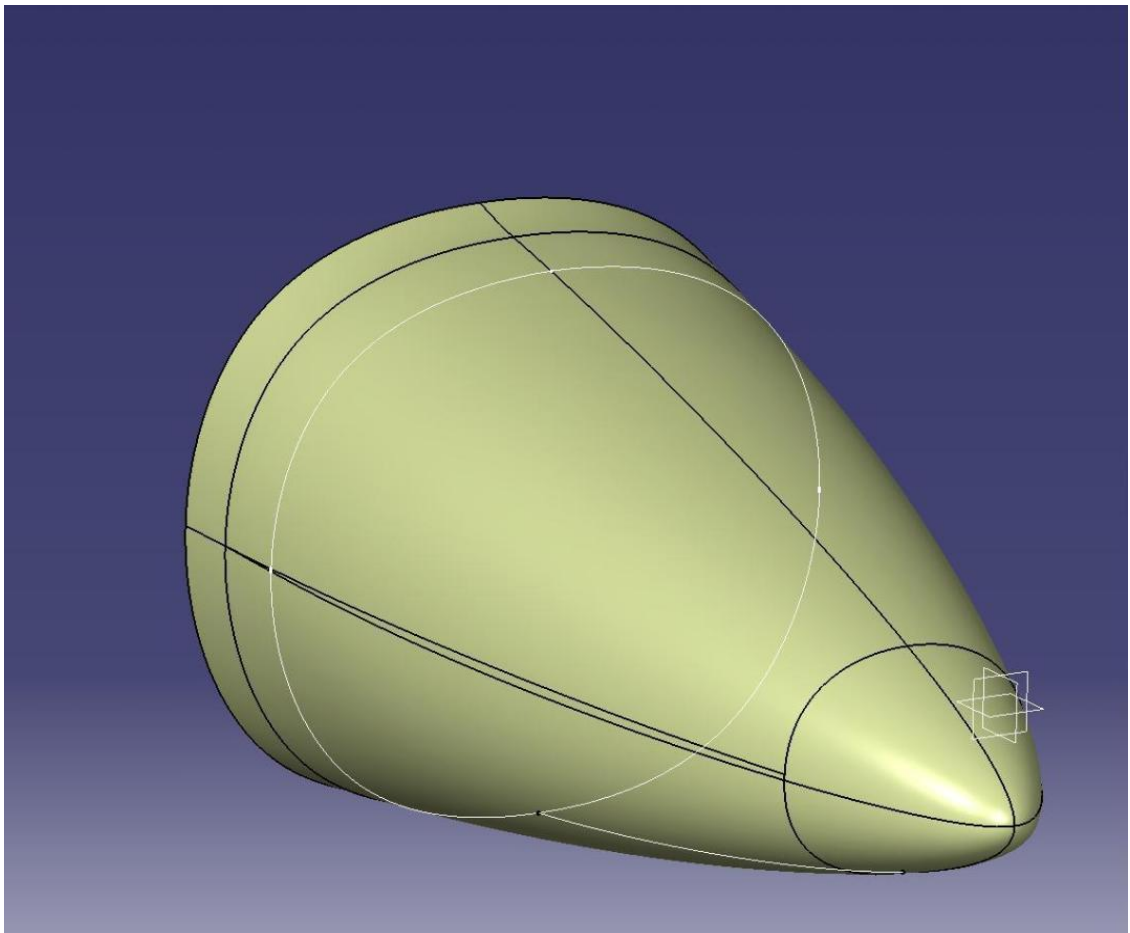
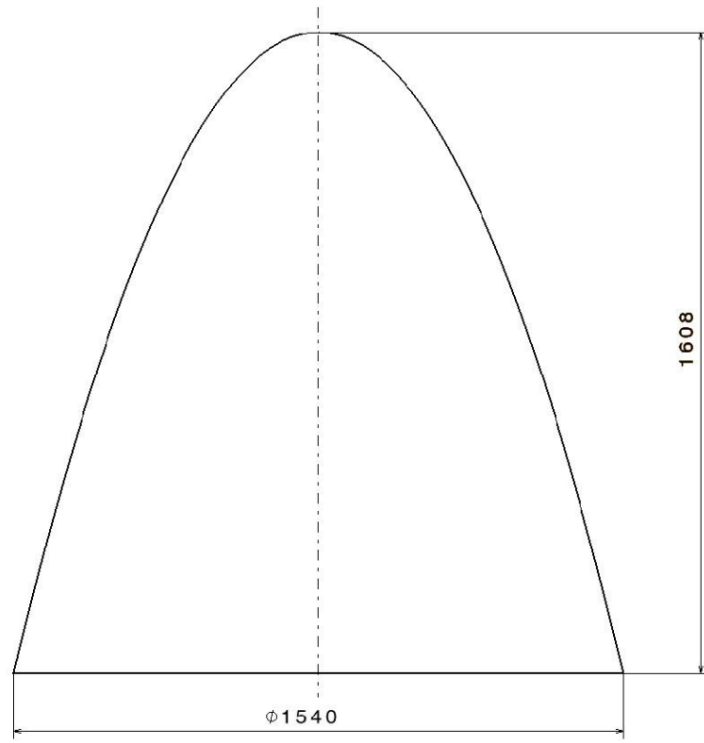
бсб. 65



б.сб. 66



бсб. 67



бсб. 68

2007 წლიდან თბილისის ელმავალმშენებელმა ქარხანამ დაიწყო BL11M/5 ელმავლის გამოშვება, რომელიც BL11 ელმავლის მოდიფიკაციას წარმოადგენს.

ელმავალზე არსებითად შემცირდა მეტალის შემცველობა, გაზრდილია მემანქანის ჯიხურის მოცულობა, დაყენებულია მემანქანისა და მისი თანაშემწის გაუმჯობესებული მართვის პულტები, დაყენებულია MORS SMITT (გერმანია) წარმოების ავტომატური ამომრთველები და რელეები.

რადგან კვანძებისა და ლოკომოტივების აპარატების მნიშვნელოვანი ნაწილი ფიზიკურად და მორალურად უფრო მალე ძველდება, ვიდრე მთლიანად მანქანა, ამიტომ ამ ნაწილების კაპიტალურ რემონტსა და მოდერნიზაციაზე გაცილებით ნაკლები დრო და თანხები იხარჯება. ამასთან 15-17 წლით იზრდება მანქანის ექსპლუატაციისათვის განსაზღვრული დრო.

სს “ელმავალმშენებელი” წარმატებით ახორციელებს მაგისტრალური და სამრეწველო ელმავლების კაპიტალურ რემონტსა და მოდერნიზაციას. შედეგად გაუმჯობესებულ ტექნიკურ მახასიათებლებსა და საიმედოობის მაღალ ხარისხს იღებენ. ლოკომოტივის ტექნიკური აღჭურვის პარალელურად პროექტირდება მემანქანის სამუშაო ადგილიც.

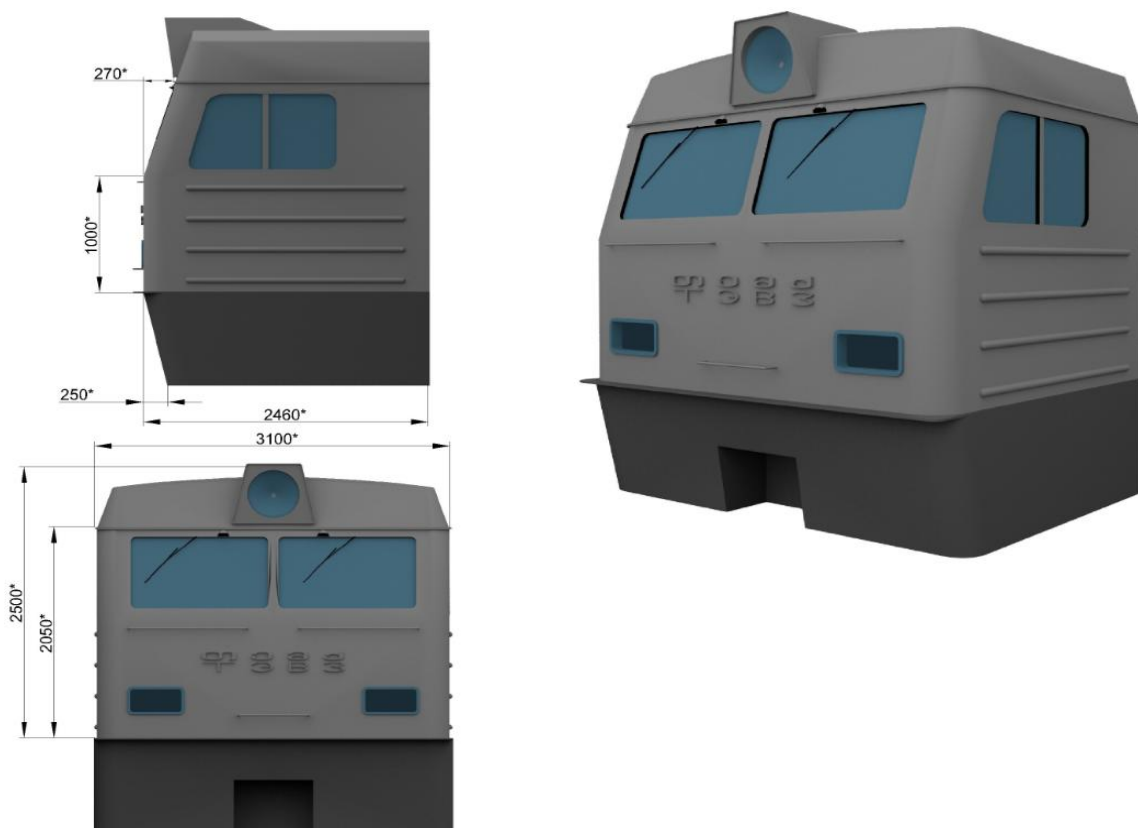
2009 წელს შევისწავლე მემანქანის ჯიხურის მოდერნიზაციის პროცესი.

ნახ.70-ზე მემანქანის ჯიხურის წინა ნაწილის სამი ხედია გამოსახული (საამწეობო ნახაზი). ნახ.69-ზე კი თვალსაჩინო გამოსახულებაა AutoCad-ში -ში შესრულებული. ნახაზის მიხედვით შეიკვრება ჯიხურის კარკასი და შემდეგ ამ კარკასზე შემოიფინება ფურცლოვანი მასალა. ხდება მდებელი ფორმის გადაღუნვა და ზუმფარის საშუალებით, ხელით მისი ზედაპირის დამუშავება-გაპრიალება უფრო გლუვი ზედაპირის მისაღებად.

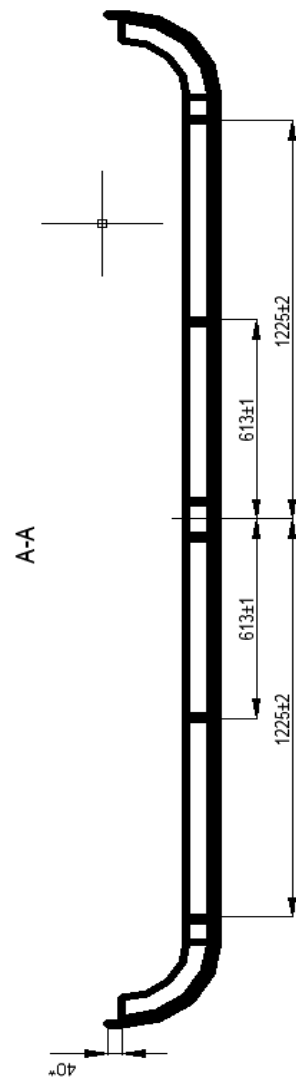
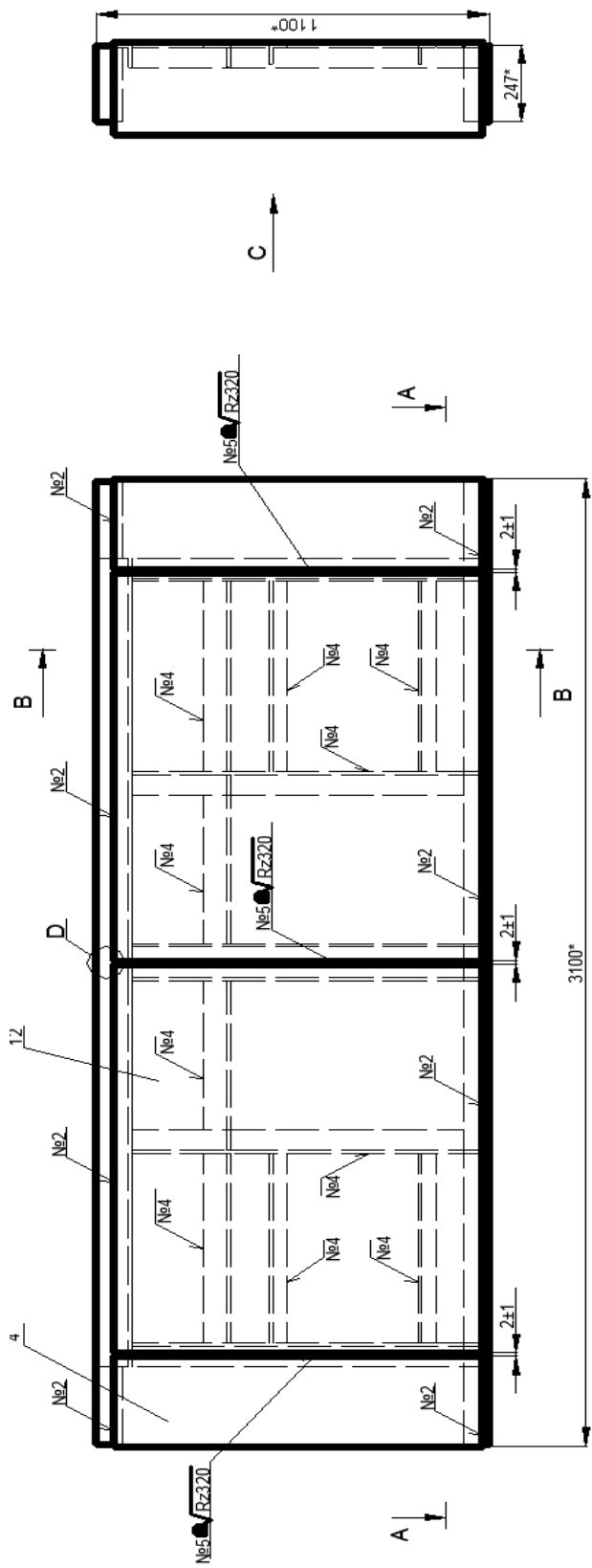
როგორც ნახ.71-დან ჩანს t მსახველითა და m მიმმართველით განსაზღვრული φ ზედაპირი წრფოვანი და არხისებური ზედაპირების ერთობლიობას წარმოადგენს.

მსახველობით გეომეტრიაში ზედაპირი გრაფიკულად განისაზღვრება. ამიტომ მიზანშეწონილია φ ზედაპირი განვიხილოთ, როგორც სივრცეში მოძრავი t წირის (მსახველის) თანმიმდევრულ მდებარეობათა ერთობლიობა. ამ მდებარეობებს m მიმართველის კუთვნილი წერტილები განსაზღვრავს.

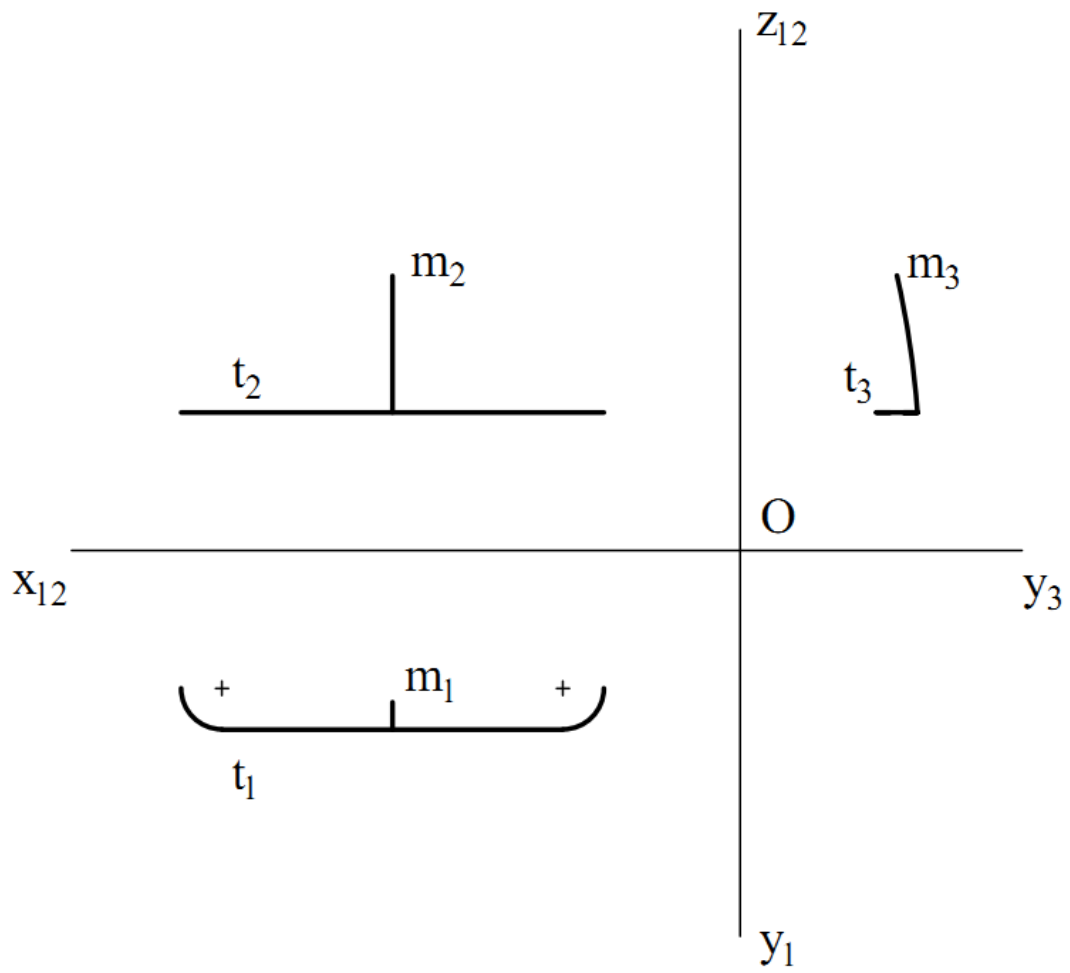
ამ მსჯელობის გათვალისწინებით ნახ.72-ზე AutoCad -ში შესრულებულია აღნიშნული ზედაპირის თვალსაჩინო გამოსახულება LOFT ბრძანების გამოყენებით. ასეთი თვალსაზრისით თუ მიუდგებით, მემანქანის ჯიხურის დამზადების პროცესი საგრძნობლად გამარტივდება. კერძოდ, ფურცლოვანი მასალის შემოფენამდე მივიღებთ სასურველი ფორმის (ნახ.73) კარკასს. რასაკვირველია, შემცირდება ტექნოლოგიური პროცესისთვის განსაზღვრული დრო და სახსრები (ნახ.74).



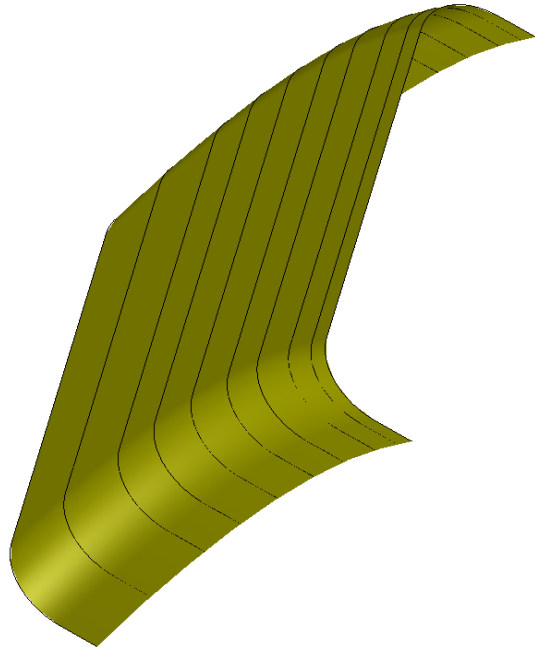
ნახ. 69



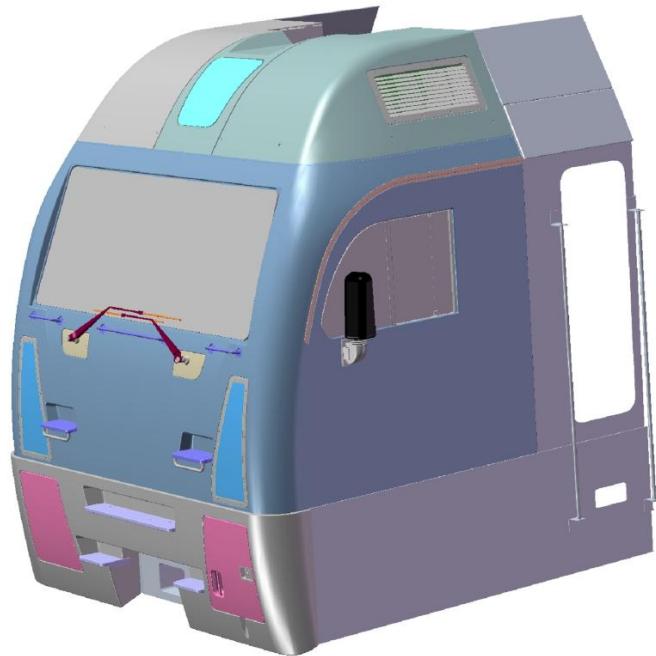
бсб. 70



6sb. 71



б.сб. 72



б.сб. 73



б.сб. 74

3. დასკვნა

წინამდებარე ნაშრომში, რომლის კვლევის ობიექტია საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ერთობლივი ამოცანების მოძიება და მათი გადაწყვეტის მაგალითების ჩვენება, სამნაწილიანი კონსტრუქციული სქემა ავირჩიეთ და სქემის მიხედვით მივალწიეთ დასახული მიზნის მიღწევას. სახელდობრ, პირველ ნაწილში (იხ., 2.1), საინჟინრო გეომეტრიის ზღვა მასალიდან შეგვრიბეთ და შევისწავლეთ სადისერტაციო თემისთვის საინტერესო საკითხები: გეომეტრიული გარდაქმნები (იხ., 2.1.1), გეომეტრიული ასახვები (იხ., 2.1.2), ეკლიდეს სივრცე და მისი შევსება არასაკუთრივი ელემენტებით (იხ., 2.1.3), დეზარგის თეორემა და მისი შედეგები (იხ., 2.1.4), ზოგადაფინური შესაბამისობა (იხ., 2.1.5), აფინურად შესაბამისი ველების მთავარი მიმართულებები (იხ., 2.1.6), სივრცის პერსპექტიულ-აფინური (ნათესაური) გარდაქმნა (იხ., 2.1.7), დაგეგმილების მიმართულებების არჩევა ნათესაურ სივრცეებში (იხ., 2.1.8), ნათესაური სივრცეების ასახვა ორთოგონალურ გეგმილებში (იხ., 2.1.9), ზოგადი სახის მეორე რიგის ზედაპირები და მათი გარდაქმნა ბრუნვის ზედაპირებში (იხ., 2.1.10), მეორე რიგის ზედაპირების კვეთა (იხ., 2.1.11), მეორე რიგის ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგება (იხ., 2.1.12), ელიფსური ზედაპირები (იხ., 2.1.13) და სივრცის ზოგადი პროექციული ჰომოლოგია (იხ., 2.1.14)

სამრეწველო დიზაინის გრაფიკული ამოცანების შესრულებისათვის საჭირო გახდა მხაზველობითი გეომეტრიის ზოგიერთი სპეციალური საკითხის კვლევა. ამასთან დაკავშირებულ ყველა საკითხს ჩვენ თავი მოგუყარეთ ნაშრომის მეორე ნაწილში (იხ., 2.2). სახელდობრ, ეს საკითხებია ჩრდილები ორთოგონალურ გეგმილებში (იხ., 2.2.1 და 2.2.2) და გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები (იხ., 2.2.3).

ნაშრომის მესამე ნაწილი (იხ., 2.3) მთლიანად დავუთმეთ საკვლევი ობიექტის უმთავრეს საკითხებს. სახელდობრ, შევისწავლეთ და ჩვენი ინტერპრეტაციით გამოვიყენეთ ისეთი თემები, როგორცაა მხატვრული შემოქმედება მატერიალურ წარმოებაში (იხ., 2.3.1), ნაკეთობის ესთეტიკური ღირებულება (იხ., 2.3.2), საგნობრივი გარემოს გარდაქმნა და სამრეწველო დიზაინი (იხ., 2.3.3), ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები

ფართო მოხმარების საგნების დაპროექტებაში (იხ., 2.3.4), დაპროექტების სტადიები (იხ., 2.3.5), საპროექტო ამოცანების ძირითადი ტიპები (იხ., 2.3.6), საპროექტო გრაფიკა (იხ., 2.3.7), მოდელირება (იხ., 2.3.8) და საინჟინრო გეომეტრიის გამოყენება სამრეწველო დიზაინის ამოცანებში კომპიუტერული მხარდაჭერით (იხ., 2.3.9).

საკვალიფიკაციო ნაშრომის ზემოაღნიშნული სქემით მივედით ქვემოთმოყვანილ სამეცნიერო სიახლემდე:

საინჟინრო გრაფიკის საუნივერსიტეტო კურსი ჩვეულებრივად გულისხმობს გრაფიკულ გამოსახულებათა მიღების მხოლოდ ზოგადი საფუძვლების შესწავლას. სპეციალობათა სიმრავლის გამო, მოქმედ სილაბუსებში არ არის და არც შეიძლება იყოს გათვალისწინებული ცალკეული ვიწრო დარგების სპეციფიკა. ეს გარემოება გრაფიკული მეთოდების ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობებს ზღუდავს. გამოვეყთ ერთი კონკრეტული შემთხვევა. მაგალითად, საუნივერსიტეტო კურსი არ შეიცავს საინჟინრო გეომეტრიის იმ სპეციალურ საკითხებს, რომელთა ცოდნაც საჭიროა სამრეწველო დიზაინის კონკრეტული ამოცანების წარმატებული ანუ ოპტიმალური გზებითა და მეთოდებით ამოსახსნელად. სწორედ ამ ხარვეზის აღმოფხვრას ეძღვნება ჩვენი ნაშრომი და აი, რატომ: საინჟინრო გეომეტრიის თეორიისა და პრაქტიკის ზღვა მასალაში გაბნეული სპეციალური, ერთი დარგისთვის საჭირო საკითხების მოძიება და მოძიებულის საინჟინრო პრაქტიკის ამოცანებისადმი მისადაგება მივიჩნიეთ სამეცნიერო – კვლევითი სამუშაოს ერთ-ერთ ფორმად და ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მიზნად დავისახეთ საინჟინრო გეომეტრიის იმ მეთოდების შეკრება, რომლებიც სამრეწველო დიზაინის გრაფიკული ამოცანების ამოხსნის გამარტივებაში დაგვეხმარებოდა. ჩვენ ვცადეთ ამგვარი სამუშაოს შესრულება და მოპოვებული შედეგების დემონსტრირება ნიშანდობლივ ამოცანებში.

იმის გამო, რომ ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების და შედეგების ანალოგი ჩვენთვის ცნობილ სამეცნიერო და სასწავლო ლიტერატურაში არ მოიპოვება, საინჟინრო გეომეტრიისა და სამრეწველო დიზაინის ურთიერთდაკავშირების ჩვენეული ვარიანტი მეცნიერებისთვის

გარკვეულ სიახლედ მიგვაჩნია და ვთვლით, რომ მიღებული შედეგების პრაქტიკაში დანერგვა წარმატების მომტანი იქნება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Атанасян А. С., Базылев В. Т. Геометрия. М., МГУ, 1986. Ч. I. ст. 77-101.
2. Атанасян А. С., Базылев В. Т. Геометрия. М., МГУ, 1987. Ч. II. ст. 50-75.
3. Адамар В. Д. Элементарная геометрия. М., „Просвещение“, 1954. Ч. I. ст. 106-151.
4. Адамар В. Д. Элементарная геометрия. М., „Просвещение“, 1956. Ч. II. ст. 87-131.
5. Вольберг Д. А. Лекции по начертательной геометрии. М-Л., „Учпедгиз“, 1977. ст. 37-93.
6. Вольберг Д. А. Основные идеи проективной геометрии. М-Л., „Учпедгиз“, 1949. ст. 31-57.
7. Глаголев Н. А. Проективная геометрия. М., „Высшая школа“, 1966. ст. 153-192.
8. Глаголев Н. А. Начертательная геометрия. М., „Высшая школа“, 1963. ст. 89-151.
9. Кокстер Х. С. М. Действительная проективная плоскость. М., Гос. изд. Физико-математической литературы. 1959. ст. 23-67.
10. Королевич В. Д. Геометрия графических отображений. М., МГУ, 1961. ст. 72-159.
11. Методы начертательной геометрии и ее приложение. М., МГУ, 1965. ст. 42.
12. Современные вопросы начертательной геометрии. М., Изд-во технико-теоретической литературы. 1955. ст. 71-149.

13. Моденов П. С., Пархоменко А. С. Геометрические преобразования. М., МГУ, 1961.
14. Четверухин Н. Ф. Проективная геометрия. М., „Просвещение“, 1956.
15. Четверухин Н. Ф. Изображение фигур в курсе геометрии. М., „Просвещение“, 1955.
16. Хартсхорн К. Основы проективной геометрии. М., МГУ, 1968. ст. 41-68.
17. გ. ვაჩნაძე. მხაზველობითი გეომეტრიის კურსი. თბილისი „განათლება“, 1979.
18. Юнг Дж. В. Проективная геометрия. М., Гос. изд. Физико-математической литературы. 1961. ст. 21-63.
19. Яглом И. М. Геометрические преобразования. Изд-во технико-теоретической литературы. 1955. I Ч. ст. 53-96.
20. Яглом И. М. Геометрические преобразования. Изд-во технико-теоретической литературы. 1956. I I Ч. ст. 103-119.
21. შავგულიძე ა., ხატისკაცი ი., კვინიკაძე ზ., ჩიტაიშვილი გ., ნიკვაშვილი ნ. საინჟინრო გრაფიკა მათემატიკოსებისათვის. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2001. I I I ნაწილი. გვ. 16.
22. С. А. Фролов. Методы преобразования ортогональных проекций. Изд-во „Машиностроение“, М., 1970. ст. 187.
23. ა. შავგულიძე. მხაზველობითი გეომეტრია ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ბაზაზე. გამ-ბა „განათლება, თბილისი, 1988. სამუშაო პროგრამა და მეთოდური მითითებები.
24. ა. შავგულიძე, გ. გარიშვილი. შესავალი კომპიუტერულ საინჟინრო გრაფიკაში. გამ-ბა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 1996.
25. ა. შავგულიძე, გ. გარიშვილი. კომპიუტერული საინჟინრო გრაფიკა. გამ-ბა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 1997.
26. ა. შავგულიძე, გ. გარიშვილი. საინჟინრო გრაფიკის ამოცანების გადაწყვეტა ავტომატიზირებული დაპროექტების სისტემის უტო-

- ჩ -ის საშუალებით. გამ-ბა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 1997.
27. Энциклопедия элементарной математики Т. 1 Геометрия. М., Гос. изд. Физико-математической литературы. 1961.
 28. Энциклопедия элементарной математики Т. 5 Геометрия. М., Гос. изд. Физико-математической литературы. 1966.
 29. Рынин Р. А. Линейная перспектива. Петроград. 1918.
 30. გ. ვაჩნაძე. გამოყენებითი პერსპექტივის საფუძვლები. თბილისი, „განათლება“, 1966.
 31. Финкельштейн Э. Auto CAD 2007 и Auto CAD LT 2007. Библия пользователя. „диалектика“, М., 2007.
 32. Вернер Зоммер. Auto CAD 2008. Руководство конструктора. Изд-во „Бином“, М., 2008.
 33. ხატისკაცი ი. ზედაპირების თანაკვეთის წირის აგების თეორია და პრაქტიკული გამოყენება. თბილისი, „განათლება“, 1989.
 34. ა. შავგულიძე. ავინური თვალსაჩინო გამოსახულებები. თბილისი, სპი-ს გამომცემლობა. 1971.
 35. Е.С.Тимрот Начертательная геометрия, Государственное изд. Литераури по строительству, архитектуре и строиматериалам. М. 1962.
 36. Б.Е. Кочегаров, Промышленный дизайн, Владивасток, изд. ДВГТУ, 2006.
 37. Н.А.Ковешников, Дизайн. История и теория, М. Изд.Омега-л,2009.
 38. Ю.С. Сомов, Композиция в технике, М. Машиностроение, 1987.
 39. К.Ульрих, С.Эппингер, Промышленный дизайн, М. Вершина, 2007.
 40. Д. Панеро, М. Зелник, Основы эргономики, человек, пространство, интерьер. М. изд. АСТ.