

დათო ფირყულაშვილი

ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სეისმომდეგობა

საიმედოობის თეორიის გათვალისწინებით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2013

საავტორო უფლება © 2013 წ. დათო ფირყულაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით დათო ფირყულაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სეისმომედეგობა საიმედოობის თეორიის გათვალისწინებით,„ და რეკომენდაციას ვაძლევთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თარიღი:

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფ. ბ. სურგულაძე

რეცენზენტები: ასოც. პროფ. შ. ბაქანიძე

ტმკ ა. ბერძენიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: დათო ფირყულაშვილი

დასახელება: „ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების
სეისმომდეგობა საიმედოობის თეორიის
გათვალისწინებით“

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემოთმოყვანილი 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 დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ
მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო
ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

თანამედროვე პროექტირების პრაქტიკაში მობილური ანუ დინამიკური არქიტექტურისადმი ინტერესი სულ უფროდაუფრო იზრდება, რაც ხშირ შემთხვევაში გამოწვეულია მობილური მშენებლობის მომხრეთა თეორიული კონცეფციებით, კინეტიკური არქიტექტურის მეტაბოლიზმით, სივრცის მრავალმხრივი გამოყენების მოთხოვნით და ისეთი ტრადიციული და საკმაოდ კონსერვატორული სფეროები როგორებიცაა არქიტექტურა და მშენებლობა, დგანან ძირეული ცვლილებების ზღვარზე. ამ ცვლილებებიდან ერთ-ერთი უმთავრესია გადასვლა დინამიკურ, ან როგორც უფრო ხშირად მოიხსენიებიან ტრანსფორმირებადი ფორმების მშენებლობაზე. ამ გადასვლის მიზანია არქიტექტურის მრავალი აქტუალური პრობლემის გადაწყვეტა, ადამიანების დაახლოება გარემომცველ ბუნებასთან, კომფორტულობის ამაღლება და რაც მთავარია შესაძლებლობა იმისა, რომ შეიცვალოს შენობის ცალკეულ ელემენტებს შორის (ან მთლიანად შენობაში) მორალურად ძველი ფუნქციონალური დამოკიდებულებები.

ცხადია, რომ მობილურ არქიტექტურაში მიზნის მისაღწევად მნიშვნელოვანი საშუალებაა კონსტრუქციები. დღევანდელი კონსტრუქციული აზრი მიმართულია ზემსუბუქი, მრავალფუნქციური ელემენტების მიებაში, რომელთა როლი არა მხოლოდ მზიდი კონსტრუქციების, არამედ შიდა მოწყობილობებისა და კომუნიკაციების არსებობაცაა - ტენტური, პნევმოკარკასული და ჰაერზიდული, მოცულობით გარსული, ტრანსფორმირებადი სისტემები (დეროვანი, ვანტურ-დეროვანი, პანელური), თვითამძრავი კონსტრუქციები - ეს არასრული ჩამონათვალია იმ კონსტრუქციებისა, რომლებიც დინამიკურ არქიტექტურაში გამოიყენება.

თუმცა ტრანსფორმირებადი სისტემების მშენებლობის თანამედროვე დონე, რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო კონსტრუქციებისა და მექანიზმების სინთეზს, არ აკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, რადგან არ არის ჩამოყალიბებული ერთიანი საერთო თეორია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სისტემური ანალიზის ჩატარება მათი განსაზღვრიდან კლასიფიკაციამდე. არასაკმარისადაა დამუშავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მხრივ; ბოლომდე არ არის განსაზღვრული მათი გამოყენების სფერო და პერსპექტივაში გამოსაყენებელი სფეროები.

თანამედროვე ტენდენციების მიხედვით მშენებლობის პროცესის ეფექტური განხორციელების უმთავრესი ფაქტორებია საშენი მასალების ეკონომიურობა, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლება იაფი მასალების

გამოყენებით, საექსპლუატაციო პირობების გაუმჯობესებას და საიმედოობის გაზრდას.

წინამდებარე ნაშრომი, „ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სეისმომდეგობა საიმედოობის თეორიის გათვალისწინებით“ ეხება ზემოთაღნიშნული პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტის მცდელობას და, შესაბამისად ითვლება რომ მასში დასმული საკითხები აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშების და კონსტრუქციების საკითხების დამუშავება. ნაშრომში შესრულებულ ტექნიკურ გადაწყვეტილებაზე საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრ „საქპატენტის“ მიერ გაცემულია 1 პატენტი # GE P 2010 5097 B, [სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი, #20, 25.10.2010 წ.]

სადოქტორო ნაშრომში წარმოდგენილი ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია განკუთვნილია სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობების გადაწყვეტების შესასრულებლად.

კონსტრუქცია შედგება ორი იდენტური ნაწილისაგან, რომელთა კარკასი აღჭურვილია ხისტი ელემენტებისაგან შედგენილი თაღებით. თაღები განთავსებულნი არიან ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ საგორავიან მიმართველებში, ხოლო შიგა კვანძები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ზედა და ქვედა სიბრტყეში არსებული ბაგირებით. ბაგირები შეერთებულნი არიან მრავალღარიან დოლის მქონე ჯალამბარებზე. ყოველ ორ მომიჯნავე თაღს შორის მოთავსებულია ცალკეული პნევმატიკური ბალიში, რომლის ქვედა ზედაპირის სიგრძე ნაკლებია ზედაზე, რითაც გაშლის შემდეგ უზრუნველყოფილი იქნება ბალიშების თაღოვანი მოხაზულობა. თითოეული ბალიში მოქნილი მილის საშუალებით შეერთებულია კომპრესორთან. კარკასის ხისტი ელემენტების კვანძებში გათვალისწინებულია კონსტრუქციის ტრანსფორმირებისათვის საჭირო მარეგულირებელი ფიქსატორები. კონსტრუქციის თითოეულ ნაწილს ტორეცის მხარეს გააჩნია საბჯენი კრონშტეინები, მათზე განთავსებულია გასაშლელ-დასაკეცი მოწყობილობები.

კონსტრუქციის ტექნიკური შედეგი მიიღწევა შემდეგნაირად: კონსტრუქციის ხისტი ელემენტები და მათზე დამაგრებული პნევმატიკური ბალიშები თავმოყრილია საბჯენ კრონშტეინებთან, ჯალამბრების მრავალღარიან დოლებზე მინიმალურ სიგრძეზე დახვეულია ბაგირები. კონსტრუქციის ორივე ნაწილის კომპრესორიდან მოქნილი მილის საშუალებით მიეწოდება თანაბარი სიდიდის ჰაერის ჭარბი წნევა, რის შედეგადაც ბალიშებში ოთხივე მიმართულებით აღიძვრება საპირისპირო ნიშნის მქონე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური წყვილძალები. ვერტიკალური წყვილძალებით, ბალიშების ზედაპირების ფართობების განსხვავებულობის გამო (ზედა

ფართობი წინასწარ გათვლილი სიდიდით მეტია ქვედაზე), ხდება ბალიშების ფორმირება - მათი ფორმა ემთხვევა კონსტრუქციის ხისტი ელემენტების მოხაზულობას, ხოლო ჰორიზონტალური ძალების წყვილის ერთი მდგენელის მომიჯნავე ხისტი ელემენტებთან და ჯამურად კრონშტეინებთან მიბჯენის შედეგად გამოთავისუფლებული ენერგია საგორავი სისტემების საშუალებით იწვევს კონსტრუქციის გადაადგილებას მიმმართველზე (ჰორიზონტალურ ან დახრილ ზედაპირზე) - ხდება კონსტრუქციის გაშლა.

კონსტრუქციის დაკეცვა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით: კრონშტეინებთან ყველაზე ახლოს მდებარე ბალიშებში იხსნება სარქველები, მათგან გამოიდევნება ჭარბი ჰაერის ჭარბი წნევა, რის შედეგადაც ბალიშები უბრუნდებიან საწყის მდგომარეობას, მათი მოცულობაში შემცირების პარალელურად ჯალამბრების დოლებზე ბაგირების დახვევით თაღები ბრუნდება საბჯენი კრონშტეინებისაკენ. პირველი უახლოესი ბალიშების დაკეცვის და ხისტი ელემენტების საწყის პოზიციაში დაბრუნების შემდეგ პროცესი მეორდება თანმიმდევრობით კონსტრუქციის ყველა ბალიშისათვის.

სადოქტორო დისერტაციაში წარმოდგენილია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშება ელექტრო გამომთვლელ მანქანაზე პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. ანაგრიში ჩატარებულია უკრაინის ქალაქ კიევის შპს „ЛИРА софт“-ის პროგრამული უზრუნველყოფა “ПК ЛИРА версия 9.6 (R9)”-ის საშუალებით.

ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, შემუშავებულია ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, გაანგარიშების მეთოდოლოგია, განსაზღვრულია კონსტრუქციის პრაქტიკული ღირებულება, რაც დადასტურებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებით მიღებული შედეგების ანალიზით.

ჩატარებული თეორიული კვლევების, პრაქტიკული გამოცდილებისა და მომქმედი სამშენებლო ნორმებისა-წესების და რეკომენდაციების საფუძველზე დამუშავებული „ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია“, გაანგარიშების მეთოდოლოგიისა და მიღებული ეკონომიკური შედეგიდან გამომდინარე ეფექტურია. ხოლო მისი კომბინირებულობა და სიახლოვე კინეტიკურ სტრუქტურების მექანიზმებთან საშუალებას იძლევა მის მოძრავ ელემენტებად გამოყენებული იქნას მართვის და კონტროლის პროგრამული მოწყობილობები და ელექტრონული სისტემები. ამდენად მისი გამოყენება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების მშენებლობაში (პატენტი GE P 2010 5097 B) მიზანშეწონილია.

შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის რეალიზაციისას ნაგებობებში უზრუნველყოფილი იქნება გადახურვის ტრანსფორმირება, შემცირდება გადახურვის წონა, მასალის ხარჯი, მშენებლობის ღირებულება, ამაღლება კონსტრუქციის სეისმომედეგობა და საიმედოობა.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა ქ. თბილისში, 2013 წ-ს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე“ და მოიპოვა პირველი ადგილი.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატია, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრის „საქპატენტის“ მიერ გაცემულია 1 პატენტი (GE P 2010 5097 B).

ნაშრომი შედგება შესავლის, 2 თავის, ძირითადი დასკვნების გამოყენებული ლიტერატურის და დანართებისაგან.

Abstract

In modern design practice interest to mobile or dynamic architecture is being increased more, which in frequent cases is caused by theoretical concepts of mobile construction supporters, metabolism of kinetic architecture, requirement of multilateral use of space and such traditional and conservative fields as architecture and construction are standing at the edge of basic changes. Among these changes one of the principals are transition to the construction of dynamic or as often called transformable forms. Aim of this transition is settlement of many actual problems, human approachment to nature, growth of comfortable, and principally, opportunity to change morally old functional dependences among separate elements of building (or inside the building).

It is clear that constructions are important means in mobile architecture in order to achieve a goal. Today`s constructional idea refers to searching of over-light, multifunctional elements, role of which are existence of not only bearing structures, but internal equipments and communications – awning, pneumatic structural and air-bearing, thecal volume, transformable systems (stalked, bracing wire-stalked, panel), self-driving structures – this is an incomplete list of those structures which are used in dynamic architecture.

Though modern level of transformable systems construction, which is a synthesis of engineering constructions and mechanisms, does not meet with the requirements arisen towards it, because united common theory is not formed, by which systemic analysis of transformable constructions will be conducted from determination to classification. Constructional solutions have been processed not quite enough with regard to high technical-economical and exploitation indexes; field of their use and fields to be used in perspective have not been defined completely.

According to modern tendencies the most principal factors for effective performance of construction process are economy of building materials, growth of haulage ability of construction by using cheap materials, improvement of exploitation provisions and growth of reliability.

This paper titled “Seismic Stability of New-Type Transformable Structure in Consideration with Theory of Reliability” refers to attempt of complex settlement of above-mentioned problems and accordingly, it is considered that issues arisen in it are actual.

Aim of the paper is to present processing of calculation of new-type transformable structure and construction issues. 1 patent GE P 2010 5097 B, [official bulletin of industrial property, #20, 25.10.2010] is issued by National Intellectual Property Center of Georgia “Sakpatenti” to technical solutions done in the paper.

New-type transformable structure presented in doctoral thesis is belonged to perform solutions of large-span civil and industrial buildings.

Structure consists of two identical parts, frame of which is equipped with arches comprising hard elements. Arches are placed in horizontal and vertical rolling guides, but internal knots are connected to each other with the ropes being in upper and lower plain. Ropes are connected on winches having multi-chute drums. Separate pneumatic pillow is placed among every two adjoining arches, length of lower surface of which is less than the upper one, by which arched outline of pillows will be provided after opening. Each pillow through flexible pipe is connected with compressor. Regulatory fixators are provided in knots of hard elements of structure required for transformation of structure. Each part of construction, at the side of abut, has bearer brackets, extensible-folding equipments are placed on them.

Technical result of structure is achieved as follows: hard elements of construction and pneumatic pillows fastened on them are gathered with bearer brackets, ropes are wound on multi-chute drums of winches on minimal length. From compressor of both part of construction, surplus pressure of air with equal size is supplied through flexible pipe, as a result of which vertical and horizontal couple of forces having opposite marks are arisen in the pillows in all four directions. By vertical couple of forces, due to differences in areas of pillow surfaces (upper area with previously calculated size is more than the lower), pillows are formed – their form coincides with outline of hard elements of structure, but energy released as a result of resting against brackets and adjoining hard elements of horizontal couple of forces through rolling systems causes relocation of construction to guide (on horizontal or inclined surface) – structure is spreaded.

Structure is shut with the following sequences: valves are opened in the nearest pillows of the brackets; surplus pressure of surplus air is driven out from them, as a result of which pillows return their primary condition. In parallel of their reduction in volume, through winding the ropes on drums of winches, arches are returned to bearer brackets. After shutting the first nearest pillows and returning of the hard elements to the primary position, process is successively repeated for every pillows of structure.

Doctoral thesis includes calculation of new-type transformable structure on computing machine by use of software. Calculation is done through software “ПК ЛИРА version 9.6 (R9)” of Ltd “ЛИРА софт” in Kiev, Ukraine.

Scientific novelty of the paper is a new-type transformable structure. New constructional solutions, methodology of calculation are developed, practical cost of construction is determined, which is confirmed by analysis of results gained from technical-economical calculation.

“New-type transformable structure” processed based on theoretical studies, practical experience and current constructional norms-rules and recommendation, is effective with regard to methodology of calculation and received economical result. But its complexity and proximity with mechanisms of kinetic structures give a chance to use control program devices and electronic systems as movable elements. Herewith,

its use in building of transformable constructions (patent GE P 2010 5097 B) is advisable.

In realization of proposed new type structure, transformation of roofing will be provided in buildings, weight of roofing, cost of material, duration and cost of building will be reduced, seismic stability and reliability of structure will be raised.

Main results of dissertation are reported at the “81st Student Open International Scientific Conference” of Georgian Technical University held in Tbilisi in 2013 and won first place.

3 scientific articles are published on the mentioned paper, 1 patent (GE P 2010 5097 B) is issued by National Intellectual Property Center of Georgia “Sakpatenti”.

This paper includes introduction, 2 chapters, main conclusions, applied literature and annexes.

შინაარსი

შესავალი -----	17
1. ლიტერატურის მიმოხილვა -----	22
1.1 მობილური არქიტექტურა -----	22
1.2 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების ზოგადი მიმოხილვა --	25
1.3 ტრანსფორმაციული ფორმების ტიპები და სახეები -----	28
1.4 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები -----	32
1.5 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების განვითარების ისტორია -----	35
1.6 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია და გამოყენების სფეროები -----	42
1.7 ლითონის კონსტრუქციების განვითარების ისტორია -----	48
1.8 ლითონის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია და მათი გამოყენების სფეროები -----	51
1.9 ლითონის დიდმალიანი კონსტრუქციები -----	54
1.10 საიმედოობის თეორია მშენებლობაში -----	55
2. შედეგები და მათი განსჯა -----	61
2.1 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის აღწერა -----	61
2.2 ლითონის დიდმალიანი თაღოვანი კონსტრუქციისთვის ოპტიმალური გეომეტრული პარამეტრების დადგენა -----	68
2.3 პნევმოკარკასული გარსის გეომეტრიული პარამეტრების დადგენა -----	74
2.4 პნევმოკარკასული გარსის გაანგარიშების საკითხები -----	76
2.5 მასალები პნევმოკარკასული გარსისათვის -----	81
2.6 საიმედოობის თეორიის გამოყენება ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშებაში - ექსპლუატაციის ვადის განსაზღვრა -----	86
2.7 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სეისმომდეგობის საკითხები -----	93

2.8 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებზე მომქმედი საანგარიშო დატვირთვების განსაზღვრა _____	101
2.9 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების შედეგები _____	108
2.10 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებში ელემენტების განივკვეთების შერჩევა _____	117
2.11 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების კონსტრუირების საკითხები _____	120
2.12 შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარება _____	124
3. დასკვნა _____	133
გამოყენებული ლიტერატურა _____	134

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია _____	45
ცხრილი #2. ლითონის თაღის გეომეტრული პარამეტრების მნიშვნელობა _____	45
ცხრილი #3. „შირფილი I“-ის ტექნიკური მახასიათებლები _____	85
ცხრილი #4. ქარის დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობები _____	107
ცხრილი #5. კონსტრუქციის საკუთარი რხევის სიხშირეები _____	109
ცხრილი #6 ხისტი ელემენტების განვკვეთები $L=60.0$ (მ) მაღის კონსტრუქციისათვის _____	117
ცხრილი #7. ხისტი ელემენტების განვკვეთები $L=42.0$ (მ) მაღის კონსტრუქციისათვის _____	117
ცხრილი #8. მასალის ხარჯი ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციებზე _____	126
ცხრილი #9. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების მასალის ხარჯის ნატურალური და ერთეულის ღირებულება _____	127
ცხრილი #10. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების დამზადების, მონტაჟის და სახურავის მოწყობის სამუშაოების დანახარჯები _____	128
ცხრილი #11. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების სატრანსპორტო დანახარჯები (განიხილება კონსტრუქციის ტრანსპორტირება 500 კმ მანძილზე) _____	129
ცხრილი #12. ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციების საერთო (ჯამური) ღირებულება (ლარი/მ ²) _____	131

ნახაზების და სურათების ნუსხა

ნახ. 1 სპირალური ტრანსფორმაცია _____	29
ნახ. 2 დაკეცვის ტრანსფორმაცია _____	30
ნახ. 3 შრეობრივ-ხრახნული ტრანსფორმაცია - ტიპი 1 _____	30
ნახ. 4 შრეობრივ-ხრახნული ტრანსფორმაცია - ტიპი 2 _____	31
ნახ. 5 შედგენილი სახის ტრანსფორმაცია - ტიპი 1 _____	31
ნახ. 6 შედგენილი სახის ტრანსფორმაცია - ტიპი 2 _____	32
ნახ. 7 შედგენილი სახის ტრანსფორმაცია - ტიპი 3 _____	32
ნახ. 8 ფოლადის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია _____	52
ნახ. 9 ალუმინის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია _____	53
ნახ. 10 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის საერთო ხედი _____	62
ნახ. 11 კონსტრუქციის ტრანსფორმაციის პროცესი _____	64
ნახ. 12 კონსტრუქციის ერთი ნაწილი ტრანსფორმაციამდე (დაკეცილ) მდგომარეობაში _____	65
ნახ. 13 კვანძი I _____	65
ნახ. 14 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები _____	66
ნახ. 15 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები (ჭრილი A-A) _____	67
ნახ. 16 თაღების განივკვეთის შესრულების ვარიანტები _____	70
ნახ. 17 მტყუნების დროში ცვლილების გრაფიკული გამოსახულება _____	88
ნახ. 18 მტყუნების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი _____	90
ნახ. 19 ექსპლუატაციის ვადის საიმედოობაა $x = 90$ წელს საშუალო კვადრატული გადახრის 95%-ით არსებობის შემთხვევაში _____	92
ნახ. 12 ექსპლუატაციის ვადის საიმედოობაა $x = 90$ წელს საშუალო კვადრატული გადახრის 84%-ით არსებობის შემთხვევაში _____	92
ნახ. 13 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის კონსტრუქციის საერთო სქემატური ხედი _____	121
ნახ. 14 კვანძი I _____	121
ნახ. 15 კვანძი II _____	122
ნახ. 16 კვეთი ა-ა _____	122
ნახ. 17 კვანძი III _____	123

ნახ. 18 კვანძი IV	123
ნახ. 19 კონსტრუქციის ორი ნაწილის შეპირაპირების კვანძი	124
სურ. 1 ბრძოლის სცენა, რელიეფი, ძვ. წ. VIII საუკუნე	36
სურ. 2 პირველი რეალურად განხორციელებული პნევმატიკური გარსი	39
სურ. 3 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელი	108
სურ. 4 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Z ღერძის მიმართულებით	110
სურ. 5 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები X ღერძის მიმართულებით	111
სურ. 6 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Y ღერძის მიმართულებით	111
სურ. 7 დაბვათა მოზაიკა N_x	112
სურ. 8 დაბვათა მოზაიკა N_y	112
სურ. 9 დაბვათა მოზაიკა τ_{xy}	113
სურ. 10 დაბვათა მოზაიკა M_x	113
სურ. 11 დაბვათა მოზაიკა M_y	114
სურ. 12 დაბვათა მოზაიკა M_{xy}	114
სურ. 13 დაბვათა მოზაიკა Q_x	115
სურ. 14 დაბვათა მოზაიკა Q_y	115
სურ. 15 N_x დაბვათა მოზაიკა კონსტრუქციის ხისტ ელემენტებში	116
სურ. 16 კონსტრუქციის ხისტი ელემენტების დამაბულ- დეფორმირებული მდგომარეობა	116

მადლიერება

მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ჩემი დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, პროფესორ ბიჭიკო სურგულაძეს, რომელიც თავის მრავალმხრივ ცოდნას და გამოცდილებას მიზიარებდა სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების ყველა ეტაპზე - მეხმარებოდა ნაშრომის სტრუქტურულ, მეთოდურ და სხვა საკითხების გადაწყვეტაში.

მადლიერება მინდა გამოვხატო სამშენებლო ფაკულტეტის ყველა პროფესორ-მასწავლებლისადმი, რომელმაც დიდი წვლილი მიუძღვით ჩემს, როგორც სპეციალისტად, ჩამოყალიბებაში.

ინჟინერ-კონსტრუქტორი დათო ფირყულაშვილი

შესავალი

მობილური ანუ დინამიკური არქიტექტურა ახალი მოვლენაა არქიტექტურული შემოქმედების, რის გამოც სპეციალურ და ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებში ხშირად მობილური არქიტექტურის ფორმებს მთავარი როლი ენიჭებათ, ხოლო არქიტექტურულ-სამშენებლო პრაქტიკაში ეს მიმართულება მხოლოდ ეხლა იწყებს არსებობის უფლების მოპოვებას.

ათასწლეულების მანძილზე არქიტექტურული ფორმები უძრავნი იყვნენ, თუმცა დროთა განმავლობაში მათში მწიფდებოდა ის კონსტრუქციული ელემენტები, რომლებსაც უნდა ეტვირთათ არქიტექტურული ფორმირების ახალი – დინამიურობის პრინციპი. მას შემდეგ რაც ცხადი გახდა, რომ არქიტექტურის საგანს წარმოადგენს არა ქვის გარსი, არამედ სივრცე მის შიგნით, დინამიკური კონსტრუქციების როლი შესამჩნევად გაიზარდა.

უკვე გამოკვეთილია მობილური ფორმების გამოყენების სფეროები, რომლებშიც შედიან: მსხვილი საცხოვრებლებისა და ჰიდრონაგებობების მშენებლობა (დამხმარე შენობები); სამრეწველო მშენებლობა (გადასატანი ქარხნები და დანადგარები სამშენებლო მასალების საწარმოებლად, სარემონტო სახელოსნოები, გარაჟები და სხვ.); მშენებლობა ექსტრემალურ პირობებში (არქტიკული რეგიონი, წყალქვეშა და კოსმოსური მშენებლობა); კულტურულ-მასობრივი და საზოგადოებრივი ნაგებობების მშენებლობა; ტურიზმი; მექანიზირებული უზრუნველყოფა ნავთობისა და გაზის მოპოვების დროს და სხვ.

თანამდროვე პროექტირების პრაქტიკაში მობილური ანუ დინამიკური არქიტექტურისადმი ინტერესი ხშირ შემთხვევაში გამოწვეულია მობილური

მშენებლობის მომხრეთა თეორიული კონცეფციებით, კინეტიკური არქიტექტურის მეტაბოლიზმით, სივრცის მრავალმხრივი გამოყენების მოთხოვნით და ისეთი ტრადიციული და საკმაოდ კონსერვატორული სფეროები როგორებიცაა არქიტექტურა და მშენებლობა, დგანან ძირეული ცვლილებების ზღვარზე. ამ ცვლილებებიდან ერთ-ერთი უმთავრესია გადასვლა დინამიკურ, ან როგორც უფრო ხშირად მოიხსენიებიან ტრანსფორმირებადი ფორმების მშენებლობაზე. გადასვლის მიზანია არქიტექტურის მრავალი აქტუალური პრობლემის გადაწყვეტა, ადამიანების დაახლოება გარემომცველ ბუნებასთან, კომფორტულობის ამაღლება და რაც მთავარია შესაძლებლობა იმისა, რომ შეიცვალოს შენობის ცალკეულ ელემენტებს შორის (ან მთლიანად შენობაში) მორალურად ძველი ფუნქციონალური დამოკიდებულებები.

ცხადია, რომ მობილურ არქიტექტურაში მიზნის მისაღწევად მნიშვნელოვანი საშუალებაა კონსტრუქციები. დღევანდელი კონსტრუქციული აზრი მიმართულია ზემსუბუქი, მრავალფუნქციური ელემენტების ძიებაში, რომელთა როლი არა მხოლოდ მზიდი კონსტრუქციების, არამედ შიდა მოწყობილობებისა და კომუნიკაციების არსებობაცაა - ტენტური, პნევმოკარკასული და ჰაერზიდული, მოცულობით გარსული, ტრანსფორმირებადი სისტემები (დეროვანი, ვანტურ-დეროვანი, პანელური), თვითამძრავი კონსტრუქციები - ეს არასრული ჩამონათვალია იმ კონსტრუქციებისა, რომლებიც დინამიკურ არქიტექტურაში გამოიყენება.

კინეტიკური სტრუქტურების მექანიზმებთან სიახლოვემ შესაძლებელი გახდა ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების მართვა და კონტროლი. დღეისათვის მიმდინარეობს ძიებები მისი ელემენტების ნახევრად- ან სრულად მექანიზირებულ მოძრაობის საშუალებებზე, რათა შენობებსა და ნაგებობებში მთლიანად იქნას გამოყენებული ავტონომიური და ცენტრალიზებული მექანიკური სისტემები. თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებით

უკვე მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ტარდება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევები და არის გარკვეული წარმატებებიც: არსებობს მრავალი საავტორო მოწმობები ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციებზე, რეალურად ხორციელდება არაერთი ახალი პროექტი და ა.შ.

თუმცა ტრანსფორმირებადი სისტემების მშენებლობის თანამედროვე დონე, რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო კონსტრუქციებისა და მექანიზმების სინთეზს, არ აკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, რადგან არ არის ჩამოყალიბებული ერთიანი საერთო თეორია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სისტემური ანალიზის ჩატარება მათი განსაზღვრიდან კლასიფიკაციამდე. არასაკმარისადაა დამუშავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მხრივ; ბოლომდე არ არის განსაზღვრული მათი გამოყენების სფერო და პერსპექტივაში გამოსაყენებელი სფეროები.

ზემოთ აღწერილი მდგომარეობა ზოგადად ართულებს ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების დაპროექტებასა და მშენებლობას, ამიტომ მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელითაც შესაძლებელი იქნება ასეთი კონსტრუქციების განხორციელება საქართველოს სპეციფიკური პირობების - სეისმურად აქტიური ზონის გათვალისწინებით.

წინამდებარე ნაშრომი, „ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის სეისმომდეგობა საიმედოობის თეორიის გათვალისწინებით“ ეხება ზემოთაღნიშნული პრობლემების კომპლექსური გადაწყვეტის მცდელობას და, შესაბამისად ითვლება რომ მასში დასმული საკითხები აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშების და კონსტრუქციების საკითხების დამუშავება. ნაშრომში შესრულებულ ტექნიკურ გადაწყვეტილებაზე საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრ „საქპატენტის“ მიერ გაცემულია 1 პატენტი # GE P 2010 5097 B.

სადოქტორო ნაშრომში წარმოდგენილი ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები განკუთვნილია სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობების გადახურვების გადაწყვეტების შესასრულებლად.

ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, შემუშავებულია ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, გაანგარიშების მეთოდოლოგია, განსაზღვრულია კონსტრუქციის პრაქტიკული ღირებულება, რაც დადასტურებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებით მიღებული შედეგების ანალიზით.

ჩატარებული თეორიული კვლევების, პრაქტიკული გამოცდილებისა და მომქმედი სამშენებლო ნორმებისა-წესების და რეკომენდაციების საფუძველზე დამუშავებული „ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია“, გაანგარიშების მეთოდოლოგიისა და მიღებული ეკონომიკური შედეგიდან გამომდინარე ეფექტურია, ხოლო მისი კომბინირებულობა და სიახლოვე კინეტიკურ სტრუქტურების მექანიზმებთან საშუალებას იძლევა მის მოძრავ ელემენტებად გამოყენებული იქნას მართვის და კონტროლის პროგრამული მოწყობილობები და ელექტრონული სისტემები. ამდენად, მისი გამოყენება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების მშენებლობაში მიზანშეწონილია.

შემოთავაზებული ახალი ტიპის კონსტრუქციის რეალიზაციისას ნაგებობებში უზრუნველყოფილი იქნება გადახურვის ტრანსფორმირება,

შემცირდება გადახურვის წონა, მასალის ხარჯი, მშენებლობის ხანგრძლივობა და ღირებულება, ამაღლება კონსტრუქციის სეისმომდეგობა და საიმედოობა.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1 მობილური არქიტექტურა

მობილური ანუ დინამიკური არქიტექტურა ახალი მოვლენაა არქიტექტურული შემოქმედების, რის გამოც სპეციალურ და ექსპერიმენტალურ გამოკვლევებში ხშირად მობილური არქიტექტურის ფორმებს მთავარი როლი ენიჭებათ, ხოლო არქიტექტურულ-სამშენებლო პრაქტიკაში ეს მიმართულება მხოლოდ ეხლა იწყებს არსებობის უფლების მოპოვებას.

ათასწლეულების მანძილზე არქიტექტურული ფორმები უძრავნი იყვნენ, თუმცა დროთა განმავლობაში მათში მწიფდებოდა ის კონსტრუქციული ელემენტები, რომლებსაც უნდა ეტვირთათ არქიტექტურული ფორმირების ახალი – დინამიურობის პრინციპი.

ისეთი მოძრავი კონსტრუქციები, როგორებიცაა კარი, დარაბა, ფანჯარა – ყოველთვის იყვნენ მიღწევადნი, თუმცა ერთი შეხედვით, არქიტექტურის მეორეხარისხოვანი წევრები. მხოლოდ 1924 წელს ფრანგმა არქიტექტურის თეორეტიკოსმა და არქიტექტორმა ლე კორბიუზიემ სორბონის უნივერსიტეტში ლექციის კითხვისას განაცხადა: “კარი და ფანჯარა არის განმსაზღვრელი არქიტექტურაში; ეს არ არის პარადოქსი და ამაში ფანჯრის განვითარების ისტორიის შესწავლისას დავრწმუნდებით”.

მას შემდეგ რაც ცხადი გახდა, რომ არქიტექტურის საგანს წარმოადგენს არა ქვის გარსი, არამედ სივრცე მის შიგნით, დინამიკური კონსტრუქციების როლი შესამჩნევად გაიზარდა.

დღეს დინამიკური არქიტექტურისადმი ინტერესი სულ უფროდაუფრო იზრდება, რაც გამოწვეულია მობილური მშენებლობის მომხრეთა თეორიული კონცეფციებით, კინეტიკური არქიტექტურის

მეტაბოლიზმით, არქიტექტურული სივრცის მრავალმხრივი გამოყენების მოთხოვნით და ისეთი ტრადიციული და საკმაოდ კონსერვატორული სფეროები როგორებიც მშენებლობა და არქიტექტურაა, დგანან ძირეული ცვლილებების ზღვარზე.

ამ ცვლილებებიდან ერთ-ერთი უმთავრესია გადასვლა დინამიკურ, ან როგორც უფრო ხშირად მოიხსენიებიან ტრანსფორმირებადი ფორმების მშენებლობაზე. გადასვლის მიზანია არქიტექტურის მრავალი აქტუალური პრობლემის გადაწყვეტა, ადამიანების დაახლოება გარემომცველ ბუნებასთან, კომფორტულობის ამაღლება და რაც მთავარია შესაძლებლობა იმისა, რომ შეიცვალოს შენობის ცალკეულ ელემენტებს შორის (ან მთლიანად შენობაში) მორალურად ძველი ფუნქციონალური დამოკიდებულებები.

უკვე გამოკვეთილია მობილური ფორმების გამოყენების სფეროები, რომლებშიც შედიან: მსხვილი საცხოვრებლებისა და ჰიდრონაგებობების მშენებლობა (დამხმარე შენობები); სამრეწველო მშენებლობა (გადასატანი ქარხნები და დანადგარები სამშენებლო მასალების საწარმოებლად, სარემონტო სახელოსნოები, გარაჟები და სხვ.); მშენებლობა ექსტრემალურ პირობებში (არქტიკული რეგიონი, წყალქვეშა და კოსმოსური მშენებლობა); კულტურულ-მასობრივი და საზოგადოებრივი ნაგებობების მშენებლობა; ტურიზმი; მექანიზირებული უზრუნველყოფა ნავთობისა და გაზის მოპოვების დროს და სხვ.

ისტორიულად, დინამიკური კონსტრუქციები განვითარდნენ როგორც რთული, მაგრამ ორგანული კავშირის საშუალებები შიდა არქიტექტურულ სივრცისა და გარე სივრცეს შორის. ისინი თითქოსდა დაიბადნენ გარსისა და სივრცის საზღვარზე, წარმოადგენენ რა ერთდროულად ერთსაც და მეორესაც, ამიტომ ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები არის არქიტექტურის ის მხარე, სადაც გამქრალია ზღვარი კონსტრუქციასა და სივრცეს შორის და სადაც უფრო მძაფრად იგრძნობა არქიტექტურული სივრცის ბუნებასთან ერთიანობა.

ცხადია, რომ მობილურ არქიტექტურაში მიზნის მისაღწევად მნიშვნელოვანი საშუალებაა კონსტრუქციები. დღევანდელი კონსტრუქციული აზრი მიმართულია ზემსუბუქი, მრავალფუნქციური ელემენტების ძიებაში, რომელთა როლი არა მხოლოდ მზიდი კონსტრუქციების, არამედ შიდა მოწყობილობებისა და კომუნიკაციების არსებობაცაა (რისი მაგალითია შემოსაზღვრული საცხოვრებელი ბლოკი). ტენტური, პნევმოკარკასული და ჰაერზიდული, მოცულობით გარსული, ტრანსფორმირებადი სისტემები (ღეროვანი, ვანტურ-ღეროვანი, პანელური), თვითამძრავი კონსტრუქციები – ეს არასრული ჩამონათვალია იმ კონსტრუქციებისა, რომლებიც დინამიკურ არქიტექტურაში გამოიყენება.

კინეტიკური სტრუქტურების მექანიზმებთან სიახლოვე მათი მართვისა და კონტროლის საშუალებას იძლევა. მიმდინარეობს ძიებები ელემენტების ნახევრად მექანიზირებულ და სრულად მექანიზირებულ მოძრაობის საშუალებებზე, რათა შენობებსა და ნაგებობებში სრულად იქნას გამოყენებული ავტონომიური და ცენტრალიზებული მექანიკური სისტემები, დღეისათვის უკვე ბევრ კომბინირებული სისტემების მოძრავი ელემენტებში გამოიყენებულია პროგრამული მოწყობილობები.

მობილური მშენებლობის პრაქტიკის გაშლა შეუძლებელია ახალი ტექნოლოგიის სამშენებლო ინდუსტრიის გარეშე, რადგან მობილურ მშენებლობაში გამოყენებული მასალები უფრო მსუბუქი და მტკიცეა (მაგალითად, დურალუმინი, ბერილიუმისანი სხმულები, პლასტმასი, დაწებებული მერქანი, მუყაო). ამ მოთხოვნების შესასრულებლად საჭირო ხდება ინდუსტრიული სამშენებლო ბაზის ახალ, უფრო მაღალხარისხიან დონეზე აყვანა.

თუმცა ტრანსფორმირებადი სისტემების მშენებლობის თანამედროვე დონე, რომელიც წარმოადგენს საინჟინრო კონსტრუქციებისა და მექანიზმების სინთეზს, არ აკმაყოფილებს მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, რადგან არ

არის ჩამოყალიბებული ერთიანი საერთო თეორია, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სისტემური ანალიზის ჩატარება მათი განსაზღვრიდან კლასიფიკაციამდე. არასაკმარისადაა დამუშავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მხრივ; ბოლომდე არ არის განსაზღვრული მათი გამოყენების სფერო და პერსპექტივაში გამოსაყენებელი სფეროები.

თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის კომპლექსურად გამოყენება მეცნიერების სხვადასხვა დარგის მიღწევებთან საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევები. ასეთი გამოკვლევები უკვე ტარდება მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში და არის გარკვეული წარმატებებიც: არსებობს მრავალი საავტორო მოწმობები ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციებზე, რეალურად ხორციელდება არაერთი ახალი პროექტი და ა.შ. [1; 2; 3; 4]

1.2 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების ზოგადი მიმოხილვა

სიტყვა ”ტრანსფორმაცია” წარმოდგება ძველი ლათინური სიტყვა “Trasformativo”-დან და ნიშნავს გარდაქმნას, გარდასახვას, ფორმის შეცვლას. ამ სიტყვის მნიშვნელობის დიაპაზონი საკმაოდ დიდია და იგი მეცნიერების თითქმის ყველა სფეროში, ტექნიკასა და ხელოვნებაში გვხვდება.

საინჟინრო ნაგებობებში ტრანსფორმირება განისაზღვრება შემდეგი ტერმინებით: ტრანსფორმირებადი სისტემები; ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები; ტრანსფორმირებადი გადახურვა და ა.შ. თუმცა გამოიყენება სხვა ტერმინებიც – გასახსნელი, გასაწევი, მოძრავი, საყრდენმოძრავი და სხვ. საბოლოო ჯამში ყველა მათგანი წარმოადგენს ერთიდაიგივეს –

ტრანსფორმირებად სისტემას, რადგან მათთვის საერთო და პრინციპიალურია მათი ტრანსფორმირებადობა.

ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები გამოიყენებოდა ჯერ კიდევ უძველეს პერიოდიდან: მსუბუქი გასაშლელი კიბეები, ხომალდის ასაწევი აფრები, საყრდენკიდული კარებები, ინგლისური ფანჯრები, ეტლის ჩარდახები და მრავალი სხვა.

კონსტრუქციის ფორმის ცვალებადობა ნიშნავს მისი ელემენტების ფარდობით ურთიერთ წანაცვლებას, მაგრამ კონსტრუქციის საერთო ფორმის ყველა ცვლილება ვერ უზრუნველყოფს სისტემის ტრანსფორმირებას, მაგალითად, საათის მექანიზმებს ერთმანეთის მიმართ დროის სხვადასხვა მომენტში სხვადასხვა მდებარეობა უკავიათ, მაგრამ მათი გადაადგილებები საათის ტრანსფორმაციას არ ემსახურება. ამიტომაც ისეთი სისტემები, რომელთა შემადგენელი ელემენტები დაკავშირებულნი არიან ერთმანეთთან და შეუძლიათ გადაადგილება შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად:

I ჯგუფის სისტემა თავისი ფუნქციონირების პროცესის დროს განიცდის ტრანსფორმაციას, დროის თითოეულ მონაკვეთში სისტემის ყველა ელემენტის მდებარეობა სხვადასხვაა. ასეთი სისტემა წარმოადგენს მექანიზმს, რომლის დანიშნულებაცაა: "ერთი ან რამდენიმე სხეულის მოძრაობის გარდაქმნა სხვა სხეულების საჭირო მოძრაობაში".

II ჯგუფის სისტემები ფუნქციონირებენ ტრანსფორმაციის შედეგად ფიქსირებულ გეომეტრიული ფორმის სტადიაში. მაგალითად, ობსერვატორიის გასაშლელი გუმბათი ტრანსფორმირების შემდეგ ასრულებს თავის ფუნქციას, ტელესკოპს იცავს ატმოსფერული ზემოქმედებისაგან.

ტრანსფორმირებადი სისტემა ეს არის ელემენტთა ერთობლიობა, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან განსაზღვრული მეთოდით და ქმნიან მთლიანობას და ახასიათებთ მრავალი ფიქსირებული და

გარდამავალი ფორმა, ინარჩუნებენ კავშირების მთლიანობას, ხოლო ელემენტთა ურთიერთგანლაგება იცვლება სივრცესა და დროში.

ტრანსფორმირებული სისტემის ფიქსირებული ფორმების ფიზიკური აზრის განსაზღვრისას შეიძლება ითქვას, რომ ის შეესაბამება მექანიკური სისტემების წონასწორობას.

ტრანსფორმირებად სისტემებს გააჩნით ფიქსირებული და გარდაქმნადი ფორმები. ეს უკანასკნელნი წარმოიშვებიან ტრანსფორმაციის პროცესში და ყალიბდებიან ხაზობრივ, სიბრტყულ და მოცულობით ფორმებად.

გარდაქმნის შედეგად მიიღება ერთ, ორ და სამგანზომილებიანი ფიქსირებული ფორმების სხვადასხვა კომბინაციები. ასეთი კომბინაციების განხილვის შემდეგ შეიძლება ითქვას, რომ საერთო გეომეტრიული ფორმა შეიძლება მიღებულ იქნას, როგორც ზომების სახესხვაობით, ასევე ტიპთა სახესხვაობით.

თუ ტრანსფორმირებად სისტემას ფორმის შეცვლა მხოლოდ ერთი მიმართულებით შეუძლია (ანუ მაგალითად, ხაზობრივი ფორმის ტრანსფორმაციის შედეგად მიღებული მოცულობითი ფორმა ვეღარ უბრუნდება საწყის ფორმას), მაშინ ასეთ სისტემას ერთმხრივ ტრანსფორმირებადი ეწოდება, სხვა შემთხვევაში კი ის ორმხრივად ტრანსფორმირებადია.

სისტემა, რომელიც ტრანსფორმაციას განიცდის ერთ მიმართულებაში ერთხელ, არის ერთეუტაპიანი სისტემა, ხოლო ის რომლის ფორმის ცვლილება კვლავ გრძელდება, არის მრავალეუტაპიანი სისტემა.

თუ ტრანსფორმირებადი სისტემა არის ერთმხრივი და ერთეუტაპიანი, მაშინ ის არის ერთჯერ ტრანსფორმირებადი, სხვა დანარჩენ შემთხვევაში კი – მრავალჯერ ტრანსფორმირებადი.

თუ მრავალჯერადი სისტემის გარდაქმნა მიმდინარეობს ორ ფორმას შორის და თითოეულისათვის ტრანსფორმაცია ხდება მორიგეობით, მაშინ ასეთი სისტემა არის ერთეტაპიანი, ხოლო თუ გარდაქმნა მიდის სხვადასხვა ფორმებით, მაშინ სისტემა არის მრავალეტაპად ტრანსფორმირებადი.

1.3 ტრანსფორმაციული ფორმების ტიპები და სახეები

ტრანსფორმაციული პროცესებისა და ფორმათა ჩამოყალიბების ნაირსახეობების მიუხედავად, მათი კლასიფიკაციის საერთო პრინციპი ტიპებისა და სახეობების მიხედვით ერთნაირია [5].

არსებობს ორგანული და არაორგანული ტრანსფორმაციის ფორმები. პირველ შემთხვევაში ტრანსფორმაცია ნაწარმოებია ელემენტების შემადგენელი მასალის ხარჯზე. მაგალითად, რეზინის გაჭიმვა, ჭიმვადი და უჭიმვადი აფსკისგან დამზადებული ბალიშების დაბერვა, დრეკადი ფილის ჩალუნვა და ა. შ.

მეორე შემთხვევაში ტრანსფორმაცია მიმდინარეობს იმ ელემენტების ურთიერთ გადაადგილებით, რომლებიც თვითონ არიან კონსტრუქციული სისტემის დეტალები. მათი საკუთარი დეფორმაციები მხედველობაში არ მიიღება, ასეთი ფორმირების მაგალითია სხვადასხვა სახსრული მექანიზმები.

რეალურ პირობებში ორგანული და არაორგანული ტრანსფორმაციის ფორმების ტიპებთან ერთად არსებობს აგრეთვე შერეული ფორმებიც - ამ შემთხვევაში ფორმირების პროცესი ორივე ტიპს ერთდროულად შეიცავს.

ტრანსფორმაციის პროცესში შეიძლება დაფიქსირდეს ისეთი შემთხვევა, როდესაც კონსტრუქციის ფორმა არ იცვლება და ხდება მხოლოდ

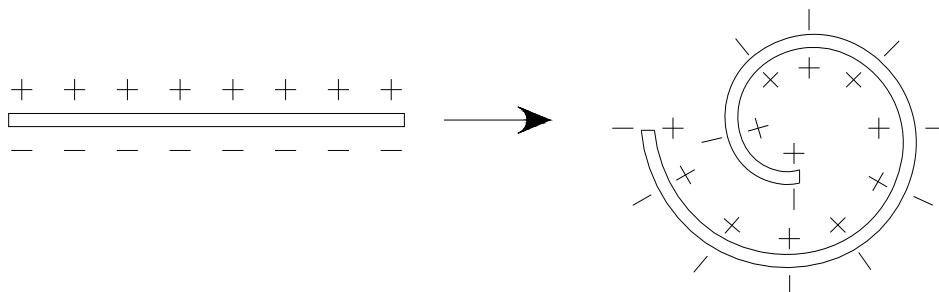
მისი ზომების მასშტაბური, პროპორციული ზრდა ან შემცირება. ასეთი პროცესი შეესაბამება ორგანული ტიპის ტრანსფორმაციას.

ორგანული ტრანსფორმაციით გამოწვეული კონსტრუქციის ფორმის მასშტაბურ-პროპორციული შეცვლა ითვლება მის შინაგან სახედ. ყველა სხვა დანარჩენ შემთხვევაში არის ტრანსფორმაციის გარე სახე – ფორმირების ტიპის დამოუკიდებლად და აგრეთვე იმისა თუ როგორ ვრცელდება ფორმირება მთელ სისტემაზე – მის შიდა თუ პერიფერიულ ნაწილზე.

ტრანსფორმაციის ყველა სახეს აქვს თავისი ფორმა: შიდა ტრანსფორმაციის დროს შეიძლება მასშტაბურად იცვლებოდეს ხაზობრივი, სიბრტყული, ზედაპირული და მოცულობითი სისტემები. შესაბამისად, ტრანსფორმაციის შიდა სახეები შეიძლება იყოს: 1) ხაზობრივი; 2) სიბრტყით-ზედაპირული; 3) მოცულობითი.

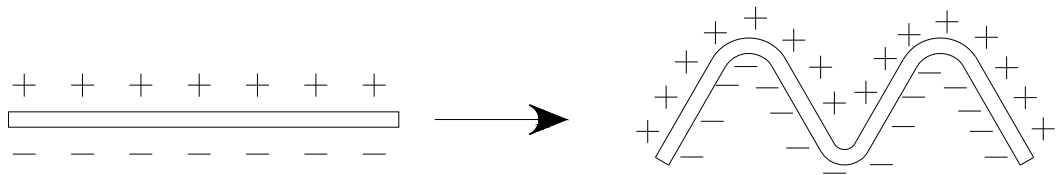
ტრანსფორმაციის გარე სახეების ფორმების ძირითად ფაქტორებს წარმოადგენენ ელემენტთა სიმრავლის ქცევა სიბრტყეში, რომლებიც სისტემის მოხაზულობას ქმნიან. გარე ტრანსფორმირებული ფორმები იყოფა სამ ძირითად ფორმად: 1) სპირალური; 2) ნაოჭისებრი; 3) შრეობრივ-ხრახნული.

1) სპირალური (გრძივად განშლადი) ფორმა განისაზღვრება ელემენტთა სიმრავლის ერთმანეთთან მიახლოებით ან დაშორებით სისტემის მთლიანი სიგრძის ურთიერთსაწინააღმდეგო ზედაპირებზე (ნახ. 1);



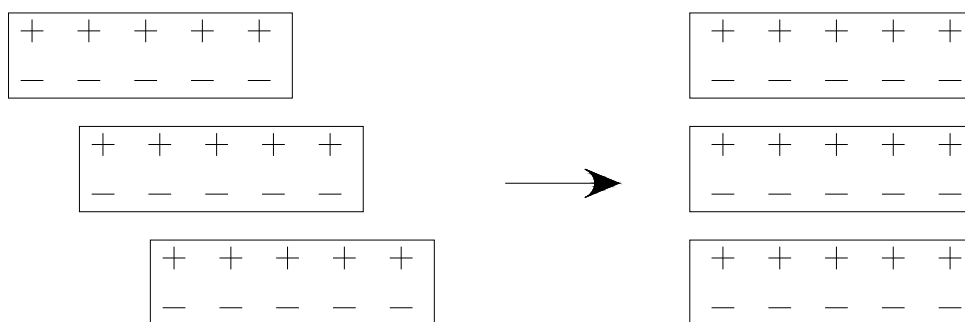
ნახ. 1 სპირალური ტრანსფორმაცია

2) დასაკეცი (განივად განშლადი) ფორმა განისაზღვრება ისეთი ელემენტთა სიმრავლით, სადაც ერთი დასახელების (ნიშნის) ზედაპირები უახლოვდება ან ცილდება ერთმანეთს (ნახ. 2);



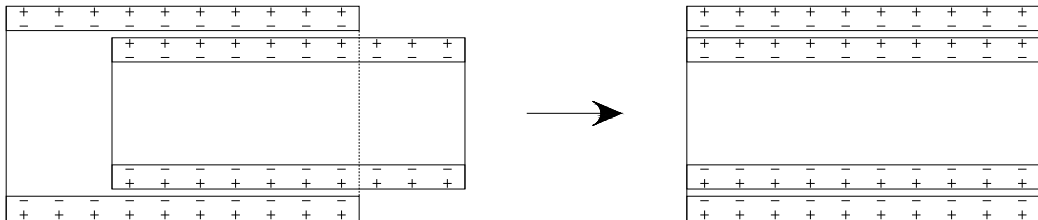
ნახ. 2 დაკეცვის ტრანსფორმაცია

3) შრეობრივ-ხრახნული (ჯვარედინად განშლადი) ფორმა განისაზღვრება ელემენტთა სიმრავლის წყვეტილად მიახლოებით (ან დაცილებით) შიგა და გარე ან მოპირდაპირედ მდებარე ზედაპირებზე. ამ შემთხვევისათვის განიხილება სისტემის ორი ტიპი. პირველი ტიპისათვის შრეობრივ-ხრახნული ტრანსფორმაციის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე.



ნახ. 3 შრეობრივ-ხრახნული ტრანსფორმაცია - ტიპი 1

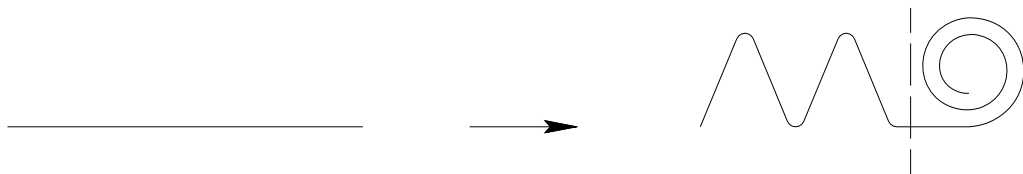
მეორე ტიპისათვის ანალოგიურ სქემას აქვს შემდეგი სახე (ნახ. 4):



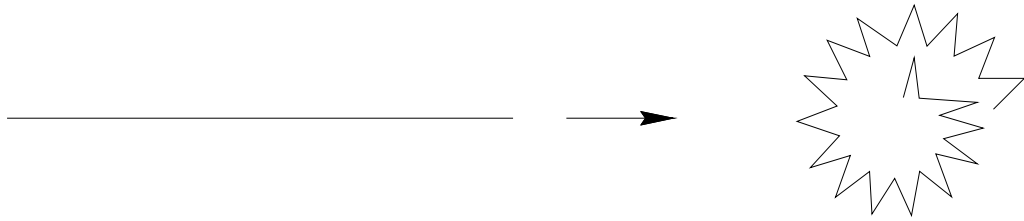
ნახ. 4 შრეობრივ-ხრახნული ტრანსფორმაცია - ტიპი 2

მიუხედავად განსხვავებული ტრანსფორმაციის სქემებისა, ძირითადი პრინციპი ორივე ტიპისათვის ერთნაირია.

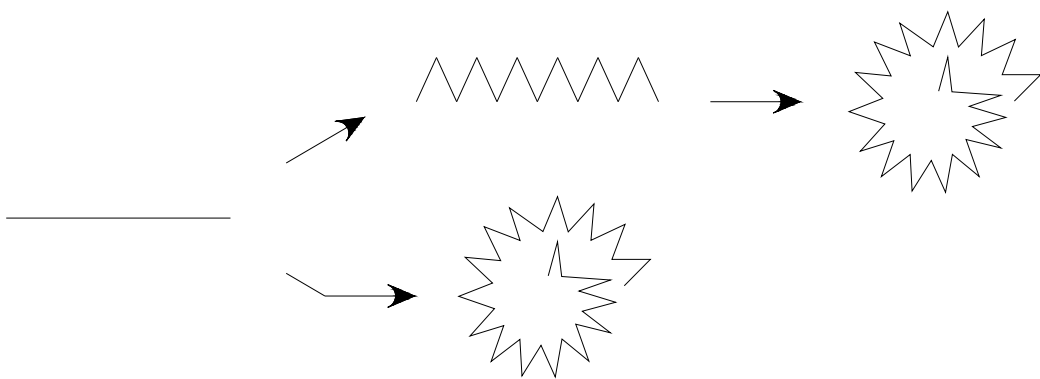
თუ ტრანსფორმაცია შეიცავს რამოდენიმე ფორმას, ის წარმოადგენს შედგენილს (ნახ. 5 და ნახ. 6). ამ დროს ტრანსფორმაციის ფორმები სისტემის ცალკეული ნაწილებისათვის სხვადასხვაა, მაგრამ რეალურ პირობებში გვხვდება უფრო რთული ფორმებიც. ესენია იარუსისებური ტრანსფორმაციის ფორმები, როდესაც ერთი ფორმა უკვე შეიცავს სხვა ფორმას (ნახ. 7). ამრიგად, შეიძლება ითქვას, რომ ტრანსფორმაციის ფორმები შეიძლება იყოს ერთ და მრავალიარუსიანი, რის გამოც პროცესი შეიძლება წარმოებდეს თითოეულ იარუსზე ცალკე ან ერთდროულად ყველა იარუსში.



ნახ. 5 შედგენილი სახის ტრანსფორმაცია - ტიპი 1



ნახ. 6 შედგენილი სახის ტრასფორმაცია - ტიპი 2



ნახ. 7 შედგენილი სახის ტრასფორმაცია - ტიპი 3

1.4 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები წარმოადგენენ ჩაკეტილ, პნევმატიკურად დამაბულ მსუბუქ გარსებს, რომელთა დანიშნულებაა გადახურვა ან მზიდი ელემენტების არსებობა მსუბუქ შემომზღუდავ კონსტრუქციებში.

კონსტრუქციის არსებობა დაფუძნებულია შემდეგ პრინციპზე: გარსის შიდა ჩაკეტილი სივრცე ივსება ჩვეულებრივი ატმოსფერული ჰაერით, გარსი

იღებს წინასწარ დამაბულ მდგომარეობას, რის ხარჯზეც მიიღწევა კონსტრუქციის მდგრადობა და ამტანუნარიანობა. წინასწარი დამაბვით კონსტრუქციას გარე დატვირთვისაგან შეუძლია მიიღოს როგორც ნორმალური, ასევე მხები ძალები. გარსების მასალა იმდენად ჰაერგაუმტარი უნდა იყოს, რომ ჰაერის წნევა მათში უცვლელად დარჩეს დიდი ხნის განმავლობაში. წნევის უმნიშვნელო დანაკარგები შეიძლება კომპენსირებულ იქნას ჰაერის პერიოდული დამატებით.

გარსები ძირითად მსუბუქი მასლებისაგან მზადდება – ჰაერგაუმტარი ქსოვილისაგან პოლიმერული დაფარვით ან სინთეტიკური პოლიმერული აფსკისაგან და მათში ტუმბავენ ჰაერს, აქედანაა ტერმინი ”პნევმატიკური” (ბერძნული სიტყვა - საჰაერო). თუმცა, შესაძლებელია მასალად გამოყენებულ იქნას ხისტი მასალებიც – არმირებული პლასტმასი ან ფურცლოვანი ფოლადი, ჰაერი კი შეიძლება შეიცვალოს აირით, სითხით და ფხვიერი მასალითაც კი.

კონსტრუქციის იდეა იმდენად მარტივია, რომ ერთი შეხედვით უცნურად ჩანს მის მიმართ ასეთი დაგვიანებული ყურადღება, თუმცა გასაკვირი ამაში არაფერია, რადგან პნევმატიკური კონსტრუქცია არის XX საუკუნის მეორე ნახევრის უმაღლესი ტექნიკის თანადროული და თანამედროვე პროდუქტი.

მიუხედავად კონსტრუქციის სიმარტივისა, პნევმატიკური ნაგებობების მასიური წარმოება შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ, რაც სინთეტიკური ბოჭკო და ფირი გახდა პოლიმერული ქიმიის მასიური პროდუქტი. აფსკური მასალების მრეწველობაში ასათვისებელი იყო ისეთი შეუთავსებელი თვისებების შერწყმა როგორებიცაა: მაღალი სიმტკიცე გაგლეჯაზე და ცვეთაზე, სიმსუბუქე, ხანგამძლეობა, ჰაერ- და წყალგაუმტარობა, შუქ- და რადიოგამტარობა, უწყადობა, სიიაფე... მხოლოდ გასული საუკუნის ქიმიური მრეწველობის განვითარებამ შეძლო ამ პრობლემების სწრაფად და ეფექტურად გადაწყვეტა.

შეიძლება ითქვას, რომ სამშენებლო კონსტრუქციების სახეობებიდან არცერთს არ განუცდია დროის ძალიან მოკლე პერიოდში ისეთი მზარდი და სწრაფი განვითარება, როგორც ეს პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების შემთხვევაში მოხდა.

პნევმატიკურ სამშენებლო კონსტრუქციებს არ ჰყავდათ არც წინაპრები და არც ტრადიციები გააჩნიათ. მათში ყველაფერი ახალია – როგორც მასალები და ფუნქციონირების პრინციპები, ასევე ექსპლუატაციის პირობებიც. ისინი, როგორც სამშენებლო ობიექტები, არ ითავსებენ იმ ჩვეულებრივ წარმოდგენებს რომლებიც სხვა სამშენებლო ნაგებობებს გააჩნიათ. ტრადიციული მასალები – ხე, ქვა, ლითონი, ბეტონი გამოირჩევიან სიხისტით, სიმძიმით, ყველა დაძაბული მდგომარეობისადმი (გაჭიმვა, ღუნვა, კუმშვა, გრეხა, ძვრა) მაღალი წინააღმდეგობის უნარით. მსუბუქი გარსების მასალებს კი მხოლოდ გაჭიმავი ძალისათვის შეუძლიათ წინააღმდეგობის გაწევა. ტრადიციულ კონსტრუქციებში წინასწარდაძაბვის პრინციპი ყოველთვის განიხილება, როგორც დაბრუნება ხელოვნური გადანაწილების საშუალება ხისტ ელემენტებში მათი მექანიკური თვისებების ოპტიმალურად გამოყენებისათვის. პნევმატიკურ კონსტრუქციებში კი წინასწარდაძაბვა მათი ფუნქციონირების აუცილებელი პირობაა.

პნევმატიკური ნაგებობა სრულად აკმაყოფილებს დღევანდელი სამშენებლო ტექნიკის თანამედროვე ტენდენციებს – ის არის მაქსიმალურად შემსუბუქებული კონსტრუქცია, რომელიც შექმნილია “მსუბუქი” არქიტექტურით. პნევმატიკური კონსტრუქცია არის ყველაზე მსუბუქი კონსტრუქცია, რაც კი ადამიანს შეუქმნია თავისი ისტორიის მანძილზე. ცალკეული მეცნიერ-ენტოზიასტები პნევმატიკურ ნაგებობას განიხილავენ როგორც შეკუმშული ჰაერის საუკეთესო გამოყენებას და ისეთივე წარმატებას უწინასწარმეტყველებენ მას, როგორც წილად ხვდა პნევმატიკურ საბურავს.

მართლაც, პნევმატიკური ნაგებობის გამოყენების არე მეტად ფართოა. მისი გამოყენება შეიძლება როგორც დროებით, ასევე მუდმივ ნაშენად: სამქროებად და საწყობებად მრეწველობაში; სოფლის მეურნეობის პროდუქციის საწყობებად; წყლისა და საწვავის საცავებად; სავაჭრო, სამედიცინო, სპორტული სახის ნაგებობებად. არსებობს ქალაქებისა და რაიონების პნევმატიკური კონსტრუქციებით გადახურვის პროექტები, წყალქვეშ და აგრეთვე სხვა პლანეტებზე დასახლებების მოწყობის იდეები.

1.5 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების განვითარების ისტორია

პნევმატიკური, უფრო ზუსტად დასაბერი კონსტრუქციების ისტორია საუკუნეებს მიღმა იკარგება. ყოველ შემთხვევაში, კამათგარეშეა ის ფაქტი, რომ ერთ-ერთი პირველსახე ამ კონსტრუქციისა იყო დასაბერი რუმბი, რომელიც მზადდებოდა ცხოველის ტყავისა და შიგნეულობისაგან. ასეთი მოცულობა თავიდაპირველად წყლის ზედაპირზე გადასაადგილებლად გამოიყენებოდა. მაგალითად, შემონახულია ძვ. წ. VIII საუკუნის გრავიურა, რომელზეც გამოსახულია ასურეთის მეფის ამურნაცირაპალის მეომრები, რომლებიც მდინარეზე სწორედ ასეთი რუმბების საშუალებით ცურავენ.

პნევმატიკური გარსების არასამშენებლო სფეროში გამოყენების შემთხვევები ძალიან მრავალია - საკმარისია გავიხსენოთ დასაბერი ნავები და აეროსტატები. საინტერესოა, რომ ჩაკეტილი კონტურის ჰაერით ავსების იდეით თვით ლეონარდო და ვინჩიცი დაინტერესებულა.



სურ. 1 ბრძოლის სცენა, რელიეფი, ძვ. წ. VIII საუკუნე

ჰაერსაყრდენი და ჰაერზიდული კონსტრუქციები ვითარდებოდა სხვადასხვა გზით და შესაბამისად მათი ისტორიაც განსხვავებულია.

პირველი დოკუმენტური წინადადება, რომელიც ეხება ჰაერზიდული კონსტრუქციების გამოყენებას მშენებლობაში, ეკუთვნის რუს ინჟინერ ი. ა. სუმოვსკის. 1896 წლის ჟურნალი "უახლესი გამოგონებები და აღმოჩენები" წერდა: "განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ბ-ნ. სუმოვსკის მიერ შექმნილი აეროკოჭები. ახალი ქმნილების არსი შემდეგშია: სხვადასხვა დიამეტრის ჰაერგაუმტარი ტომრები ორი ან მეტი საყენის სიგრძით ივსება ჰაერის ჭავლით. ამ ტომრებით შესაძლებელია უზარმაზარი შენობების სწრაფად და მარტივად აშენება". სუმოვსკის თავის გამოგონებაზე მიღებული ჰქონდა აშშ-ის პატენტი #511472 ჯერ კიდევ 1893 წლის დეკემბერში.

აეროკოჭების იდეა შემდეგშიც არაერთხელ წარმოშობილა, არსებობს მათი განხორციელების შემთხვევებიც. მაგალითად, იაპონელი ინჟინრის კანემიგე ნომურას კარავი ოთხი პნევმოლეროთი – "ტენტი მოდერნი" (იაპონური პატენტი #65170 1929 წ.). მსგავსი, "იგლუს" ტიპის კარვები 1936 წლიდან სერიულად იწარმოება ინგლისში.

ჰაერზიდულ პნევმატიკურ კონსტრუქციებზე საუბრისას აღსანიშნავია პროფ. გ. პოკროვსკის პროექტები პნევმოლეროვანი და პნევმოლინზური ელემენტებით, რომელთაც 1936 წლიდან აქტიურად აქვეყნებდა. დღეს ეს

პროექტები უკვე მოძველებულია, თუმცა ავტორი მაშინ მათ ფანტასტიკურად მიიჩნევდა. საყურადღებოა ის ფაქტიც, რომ გ. პოკროვსკის მიერ წარმოდგენილი დარბაზის პნევმოლინზური გადახურვა არის პირველი პუბლიკაცია იმ იდეისა, რომელიც შემდეგ წარმატებით განხორციელდა ფირმა "ბერდერის" მიერ 1959 წელს ქ. ბოსტონში საზაფხულო თეატრის გადახურვის სახით. ბოსტონის თეატრის შემდეგ პნევმოლინზები წარმატებით გამოიყენეს მსოფლიო სამშენებლო პრაქტიკაში. მაგალითად, ქ. მარლში (გერმანია) 29.4 მ სიგანის სავაჭრო ქუჩის გადახურვა სიგრძით 185.0 მ. თუმცა, ბოსტონის თეატრის გადახურვის სიდიდე - დიამეტრი 44.0 მ პნევმოლინზებში დღემდე რეკორდულია.

ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციის განვითარება კი სულ სხვა გზით წავიდა. მის შემქმნელად ყველანი, გამონაკლისის გარეშე (როგორც საზღვარგარეთული, ასევე საბჭოთა ლიტერატურის წყაროები), ერთხმად მიიჩნევენ ინგლისელ ინჟინერს ფრედერიკ უილიამ ლანჩესტერს, რომელმაც პირველმა დააპატენტა ჰაერდაყრდნობილი გუმბათი 1917 წელს, მხოლოდ ცნობილი გერმანელი სპეციალისტი მსუბუქ კონსტრუქციებში, პროფ. ოტტო ფრეი აღიარებს რა ლანჩესტერის პირველობას, აღნიშნავს: "სრულიად სარწმუნოა, რომ მას უსწრებდნენ ადრეული, თუმცა უცნობი პროექტები."

უილიამ ლანჩესტერის პროექტი (ინგლისური პატენტი #119339) იყო ცილინდრული კამარა სფერული ბოლოებით, რომელიც შეიცავდა თანამედროვე პნევმატიკური ნაგებობისათვის დამახასიათებელ ყველა ელემენტს – გარსს, საანკერო მოწყობილობას გრუნტში ჩასამაგრებლად, შესასვლელ შლუზებს, დანადგარს ჰაერის მისაწოდებლად, აგრეთვე გამაძლიერებელ სისტემას წრიული ბაგირებით, ეს სისტემა დღესაც სიახლეს წარმოადგენს.

1938 წელს უ. ლანჩესტერმა წარმოადგინა თავისი ახალი პროექტი ჰაერზიდული გუმბათისა დიამეტრით 330.0 მ, მასში გათვალისწინებული იყო

ჰორიზონტალური წრიული გამაძლიერებელი ბაგირები, როგორც შემდგომმა პრაქტიკამ აჩვენა, ასეთი სახის გაძლიერება ნაკლებად არის საჭირო.

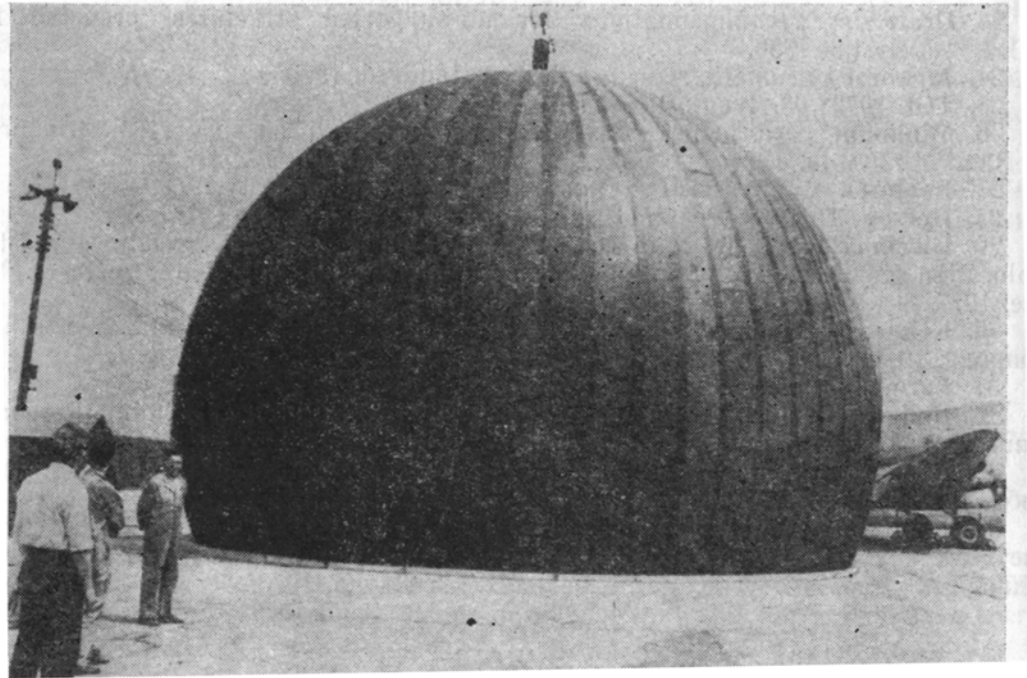
ჰაერზიდული კონსტრუქციების შემდეგი პროექტი დამუშავებულ იქნა 1941 წელს ამერიკელი ჰერბერტ სტივენსის მიერ. ეს იყო ძალიან დამრეცი სეგმენტური სფერო ფუძესთან 366.0 მ დიამეტრით. საინტერესოა ის ფაქტი, რომ გარსის მასალად ჩაფიქრებული იყო ფურცლოვანი ფოლადი სისქით 1.27 მმ.

არ არის შემთხვევითი, რომ ლანჩესტერის პირველი და სტივენსის პროექტის შექმნის თარიღი ემთხვევა პირველი და მეორე მსოფლიო ომის პერიოდებს. პირველი გათვალისწინებული იყო როგორც საველე ჰოსპიტალი, ხოლო მეორე - როგორც ავია ასაწყობი ქარხანა. ორივე პროექტი ხაზს უსვამდა ერთის მხრივ ინჟინრების მისწრაფებას დახმარებოდნენ თავიანთ ქვეყნებს ომის სირთულეების დაძლევაში, მეორეს მხრივ - საომარი მდგომარეობისათვის ძალიან ფასეულ და მხოლოდ პნევმატიკური კონსტრუქციებისათვის დამახასიათებელ შესაძლებლობას - მონტაჟს დროის მოკლე პერიოდში.

არც ერთი ზემოთნახსენები პროექტი არ განხორციელებულა, ისინი უბრალოდ მიივიწყეს და როდესაც 1946 წელს ამერიკელმა საავიაციო ინჟინერმა უოლტერ ბერდმა, ისე რომ არც კი იცნობდა ლანჩესტერის პროექტებს, შეასრულა რა ისევ სამხედრო ხასიათის დავალება, დაემზადებინა რადიოგამჭვირვალე საფარი მოძრავი რადიოლოკაციური ანტენისათვის, დაიძრა აზრი პნევმატიკური გარსების მშენებლობაში გამოყენების შესახებ.

მსოფლიოში პირველი რეალური ჰაერდაყრდნობილი ნაგებობა, დამზადებული უ. ბერდის მიერ 1946 წელს, წარმოადგენდა სფერულ გუმბათს დიამეტრით 15.25 და სიმაღლით 12.2 მ-ს. ბერდი, ალპინისტების მსგავსად, მასზე როგორც მწვერვალზე ისე ავიდა და ფოტოც გადაიღო. ეს ფოტოსურათი

ისტორიულია და მას შემდეგ მრავალი წიგნისა თუ ჟურნალის ფურცლებზეც მოხვდა.



სურ. 2 პირველი რეალურად განხორციელებული პნევმატიკური გარსი

რამოდენიმე წლის განმავლობაში ბერდის გამოგონება საიდუმლოდ ინახებოდა, მაგრამ 50-იანი წლების დასაწყისში უკვე ასობით ასეთი გუმბათი იყო წამოჭიმული აშშ-ს ჩრდილოეთ სანაპიროს გასწვრივ და მისი დამალვა უაზრობად იქცა.

1956 წელს ბერდმა ჩამოაყალიბა საკუთარი ფირმა "ბერდერი" ("Birdair Company of Buffalo"), ბიზნესი მომგებიანი აღმოჩნდა, თუმცა მალევე გამოჩნდნენ კონკურენტები. ერთ-ერთმა მათგანმა "სიდერიმა" ისიც კი მოახერხა, რომ "ბერდერზე" წინ, პირველმა გამოიტანა თავისი ნიმუშები ბაზარზე. უკვე 1957 წელს აშშ-ში 50-მდე მსგავსი ფირმა მოღვაწეობდა. მრავალმა მათგანმა ვერ გაუძლო კონკურენციას და არსებობა მალევე შეწყვიტა.

მათი მარცხის მიზეზი აგრეთვე იყო ის, რომ მათ არ გააჩნდათ უ. ბერდისნაირი გამოცდილება, დაუშვეს ტექნიკური შეცდომები, რის შედეგადაც დაინახეს რომ პნევმატიკური კონსტრუქცია არც ისე მარტივია, როგორც ის ერთი შეხედვით ჩანდა.

ევროპაში პნევმატიკური კონსტრუქციის შექმნა უფრო მოგვიანებით მოხდა, კერძოდ 1958 წელს, როდესაც ამერიკულმა ფირმამ "ირვინმა" ავიაკომპანია "პანამის" შეკვეთით დაამზადა საგამოფენო პავილიონი ბრიუსელის საერთაშორისო გამოფენაზე. ამის შემდეგ მრავალ ევროპულ ქვეყანასა და აგრეთვე იაპონიაშიც დაიწყო პნევმატიკური კონსტრუქციების ინტენსიური განვითარება. "პნევმატიკურმა ბუმმა" მოიცვა ყველა ტექნიკურად განვითარებული ქვეყანა, გაჩნდა უამრავი სპეციალიზირებული ფირმა.

ყოფილ სსრკ-ში, მიუხედავად ადრეული პროექტებისა, ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციის იდეის პრაქტიკული რეალიზება მოგვიანებით მოხდა. პირველი პნევმატიკური ნაგებობა – სფერული გუმბათი დიამეტრით 36.0 მ, შეიქმნა 1959 წელს. მეორე, შლემური სახის გუმბათი დიამეტრით 22.0 მ – 1960 წელს, მესამე, ნახევარცილინდრული კამარა სფერული გვერდებითა და ჰაერის მიწოდების ავტომატური რეგულირებით დამონტაჟდა 1960 წელს. 1961 წლის მოსკოვის გამოფენის შემდეგ მრავალი ნაგებობა აშენდა.

მიუხედავად განსხვავებისა ჰაერზიდულ და ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციების ისტორიებს შორის, არ შეიძლება ითქვას, რომ ისინი ერთმანეთისაგან სრულიად დამოუკიდებლად განვითარდნენ. მათი განვითარება მოხდა ერთდროულად და ერთმანეთის პარალელურად. ხშირად ერთიდაიგივე მეცნიერული დაწესებულება, საკონსტრუქტორო ბიურო, სპეციალიზირებული ფირმა თუ ორგანიზაცია ორივე სახის კონსტრუქციის კვლევითა და წარმოებით იყო დაკავებული. არსებობს უამრავი ისეთი

პროექტი, სადაც ჰაერზიდული და ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციები ერთ ნაგებობაში კომბინირებულ ტიპად არის გაერთიანებული [6; 7].

60 წელი (და თუ ათვლა მათი მასიური წარმოებიდან დაიწყება - 40) ძალიან მცირე დროა იმ გამოცდილების მისაღებად, რომელიც საჭიროა პროექტირების, დამზადების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციისათვის. ცნობილია, რომ პნევმატიკური კონსტრუქციების ერთი შეხედვით სიმარტივემ მრავალ დაწესებულებას გადააწყვეტინა მათი წარმოება. 60-იან წლებში დაწყებულმა "პნევმატიკურმა ბუმმა" და ფირმებს შორის კონკურენციამ მოიტანა ის, რომ ზოგიერთმა ფირმამ ვერ შეძლო სრულიად ახალი და უცნობი ნაგებობისათვის მთელი რიგი კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტა და ვერ უზრუნველყო თავისი პროდუქციის საჭირო ხარისხი და ექსპლუატაცია.

დადგა დრო ფხიზელი დაფიქრებისა პნევმატიკური კონსტრუქციების გამოყენების საქმეში – საჭირო გახდა დასკვნების გამოტანა, შეცდომების აღიარება და სწორი გზების მოძებნა.

მთავარი დასკვნა შემდეგშია, რომ პნევმატიკური კონსტრუქციას აღმოაჩნდა მოულოდნელი თვისებები, რომელთაც გახსნეს ის შესაძლებლობები, რომლებზეც ადრე არც ვარაუდობდნენ ანდა მხოლოდ ეჭვობდნენ. ყველაფერმა ამაღ შესაძლებლობა მისცა ფირმებს და ინჟინრებს სხვამხრივ დაენახათ ის ინჟინრული, ტექნოლოგიური და არქიტექტურული პრობლემები, რომლებიც წარმოიშვნენ პნევმატიკური კონსტრუქციების განვითარებით მთელ მსოფლიოში.

მსოფლიოს მრავალ ქალაქში ჩატარდა არაერთი საერთაშორისო გამოფენა და ფორუმი, რომელიც მხოლოდ პნევმატიკურ კონსტრუქციებს მიეძღვნა: შტუდგარტში (1967 წ), ჩიკაგოში (1971 წ), დელფში (1972 წ),

კოლუმბიაში (მერილენდის შტატი 1973 წ), ლას-ვეგასში (1974 წ), ვენეციაში (1977 წ), ლონდონში (1980 წ) და ა.შ.

დღეს მრავალი ფირმა აწარმოებს პნევმატიკურ სამშენებლო კონსტრუქციებს მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, მათ შორის წამყვანი ადგილი უკავიათ: “Ko – U.S. Rubber”; “Du-Pont”; “Wellington Cars”; “Stromeyer”; “Texair” და სხვ.

1.6 პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია და გამოყენების სფეროები

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები ჩვეულებრივ იყოფიან ორ სრულიად ცალკემდგომ ჯგუფად: ჰაერდაყრდნობილ (ერთშრიანი) და ჰაერზიდულ (ორშრიანი) კონსტრუქციებად, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან როგორც სტატიკური მუშაობის პრინციპით, ასევე კონსტრუქციითა და ექსპლუატაციის პირობებით.

ჰაერზიდული კონსტრუქციები – ესენი დეროები ან ფილებია, რომელთა შიდა თვისებები (წინაღობა კუმშვაზე, ღუნვაზე და გრეხაზე) მიიღწევა ჰაერის წნევის მუდმივი დონით მათ ჩაკეტილ მოცულობაში. როგორც წესი, ისინი წარმოადგენენ ცალკეულ კონსტრუქციულ ელემენტებს ჰაერის მაღალი შიდა წნევით, შესაბამისად საჭირო მაღალი ხარისხის ჰერმეტიკულობით. თუ დაძლეულ იქნა წარმოუდგენელი სიძნელის - აბსოლუტური ჰერმეტიკულობის მიღება, მაშინ ჰაერზიდული კონსტრუქციები იქნებიან იდეალური სამშენებლო კონსტრუქციები მაღალი ამტანუნარიანობით

და არაჩვეულებრივად მსუბუქი წონით. დღეს ეს კონსტრუქციები ძალიან შორს არიან ამ სრულყოფისაგან.

ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციები სრულიად სხვაგვარად მუშაობენ. მათთვის დამახასიათებელია განსაზღვრული ფორმისა და მოცულობის შენარჩუნება, იმ სასარგებლო დატვირთვის ხარჯზე, რომელსაც შეკუმშული ჰაერი იძლევა, როდესაც ის არის წნევის ქვეშ ჩაკეტილ სივრცეში, ანუ უფრო ზუსტად - იმ სხვაობის ხარჯზე, რომელიც შიდა და გარე წნევებს შორის არსებობს. გარე დატვირთვისადმი წინაღმდეგობის გასაწევად ჰაერის წნევა რამდენჯერმე იზრდება ატმოსფერულ წნევასთან შედარებით. საანგარიშო ჭარბი წნევის მისაღებად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპისა და მწარმოებლურობის ჰაერსაბერები, განსაკუთრებულ მოთხოვნას არ წარმოადგენს გარსის ჰერმეტიულობის დასაცავად ვენტილატორით ჰაერის უწყვეტად მიწოდება დაბალი წნევის გამო (100-400 მპა). ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციები მაგრდებიან საყრდენ კონტურზე - გრუნტზე ან ჩამაგრებულ ხისტ ელემენტებზე.

სამშენებლო თვალსაზრისით ფუნქციონალური განსხვავება ჰაერზიდულ და ჰაერდაყრდნობილ კონსტრუქციას შორის იმაშია, რომ პირველი წარმოადგენს შედარებით მცირე კონსტრუქციულ ელემენტს (კოჭი, საყრდენი, თალი, ფილა და ა.შ.), მაშინ როდესაც ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქცია იმდენად დიდია, რომ ის წარმოადგენს მთლიან შენობას, რომელშიც შესაძლებელია მუშობა და ცხოვრება. აქედან საექსპლუატაციო განსხვავება - წნევა ჰაერზიდული კონსტრუქციების საჭირო სივრცეში ტოლია ატმოსფერული წნევისა, ხოლო ჰაერდაყრდნობილ კონსტრუქციებში აჭარბებს მას.

ასეთი კლასიფიკაციიდან ვარდება ორშრიანი გადახურვის გასაკუთრებული სახე, რომელსაც "პნევმოლინზა" ეწოდება თუ ის გეგმაში წრიულ, ოვალურ ან მრავალკუთხა შენობას გადახურავს და "პნევმობალიში" -

თუ შენობის გეგმა სწორკუთხაა. პნევმოლინზა სტატიკური მუშაობის პრინციპის მიხედვით მიეკუთვნება ჰაერდაყრდნობილ ტიპს, ხოლო საექსპლუატაციო სივრცეში ჭარბი წნევის მიხედვით, ის ჰაერზიდულ ჯგუფთან უფრო ახლოსაა, წარმოადგენს რა არა შენობას მთლიანად, როგორც ეს ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციების შემთხვევაშია, არამედ მხოლოდ გადახურვის კონსტრუქციულ ელემენტს.

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია მოცემულია ცხრილ #1-ში.

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციის ფორმა დამოკიდებულია მთელ რიგ ეკონომიკურ, კონსტრუქციულ და ტექნოლოგიურ პირობებზე, მათ შორის - ნაგებობის დანიშნულებაზე, ზომებზე, აკუსტიკურ პირობებზე, გასხვავებული სახის ინტერიერზე, განათებულობის მოთხოვნებზე და ა.შ.

თავიდაპირველ გარსებს ჰქონდათ წრიული ფორმა და გამოიყენებოდნენ აშშ-ის თავდაცვის სამინისტროს მიერ სარადრო დანადგარების დასაცავად ქვეყნის ჩრდილოეთ საზღვრებში. გარსები ჭიმავდნენ ლითონის გამაძლიერებელ კარკასზე, თუმცა მალევე გახდა ცნობილი, რომ გარსი თვითონ, დეფორმაციის გარეშე, თავისუფლად უძლებდა ქარის დატვირთვას, მაშინ როდესაც ქარის სიჩქარე 360 კმ/სთ, ხოლო გარსის შიგნით წნევა მხოლოდ 4,4 კპა იყო.

შ ა ე რ დ რ ა მ ა რ დ ნ რ ბ ი ლ ი		გეომეტრიული ფორმები		გარბივი	
		რთული		შეღებულნი	
შ ა ე რ დ რ ა მ ა რ დ ნ რ ბ ი ლ ი		ლაიფები (ბალკონები)		პროექტი	
		გაბიერებით ან გადახვევით გაკეთებული	პროექტი		
შ ა ე რ დ რ ა მ ა რ დ ნ რ ბ ი ლ ი		ლაიფები		ლაიფები	
		ფილები	ორთოქრო-კული		
		იზოქროკული			

ცხრილი #1. პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების კლასიფიკაცია

დღეს მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში წარმატებით გამოიყენება პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების დიდი რაოდენობა სხვადასხვა საექსპლუატაციო დანიშნულებით.

უმეტესად კი გავრცელებულია შემდეგი სახის კონსტრუქციები:

1) დამცავი საფარი (ხუფი) - საინჟინრო მოწყობილობებისა და ნაგებობების, აგრეთვე რადიოტექნიკური დანადგარების მავნე ატმოსფერული გავლენისაგან დასაცავად. დამცავი ხუფის ფორმა დამოკიდებულია მოწყობილობის ან დანადგარის გაბარიტებზე და აქვს წაკვეთილი სფეროს, ცილინდრის, კონუსის ან პარაბოლოიდის მოხაზულობა;

2) საწყობები სამრეწველო საქონლის, სურსათის, მანქანა-დანადგარების და აგრეთვე სამხედრო აღჭურვილობის შესანახად. იგი, როგორც წესი, ჰაერდაყრდნობილი კონსტრუქციის გარსია, რომელსაც აქვს ნახევრად ცილინდრული ფორმა სფერული გვერდებით;

3) გადასატანი ტიპის კულტურულ-საყოფაცხოვრებო დროებითი ნაგებობები: საგამოფენო პავილიონები, თეატრები, მაღაზიები, საცხოვრებელი კარვები, ყინულის სასრიალო მოედნები და სხვ.;

4) დროებითი ნაგებობები სამშენებლო მოედანზე, სადაც ხდება კონსტრუქციების მონტაჟი, თბოკარვის სახით სამუშაო ადგილის დასაცავად. აგრეთვე ყალიბებად – რკინაბეტონის გუმბათების დამზადების დროს და ა.შ.

ბოლო პერიოდში არის მცდელობა პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქცია გამოყენებულ იქნას სამრეწველო ნაგებობის სახით.

უფრო გავრცელებულია ჰაერზიდული პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციის ერთეული ან ურთიერთ დაკავშირებული გუმბათები და კამარები. დროებითი დეჰერმეტიზაცია (კარების ან შლუზის გახსნა, გარსის ქსოვილის დაზიანება), ჩვეულებრივ, შენობისთვის არ წარმოადგენს

საშიშროებას (განსაკუთრებით, გარსის დიდი მოცულობის შემთხვევაში) და კონსტრუქციას გარკვეული დროის განმავლობაში შეუძლია საპროექტო მდგომარეობის შენარჩუნება.

პნევმოკარკასული კონსტრუქციები კამარების ან გუმბათების სახით ნაკლებად არის გავრცელებული, რაც პირველ რიგში მათი ჰაერზიდულ კონსტრუქციებთან შედარებითი სიმძვირითაა გამოწვეული.

თუ პირველ წლებში პნევმატიკურ სამშენებლო კონსტრუქციებს ჰქონდათ ერთეული სხეულის ბრუნვის შედეგად მიღებული მარტივი ფორმები – ნახევარბირთვი, ფუძესთან წაკვეთილი სფერო, ნახევარცილინდრი სფერული გვერდებით, ელიფსოიდი ან კონუსი, შემდეგ მათი წარმოება უფრო რთული ფორმებითაც სცადეს, თუმცა ფართო გავრცელება მაინც სფერული ზედაპირის პნევმატიკურმა სამშენებლო კონსტრუქციებმა ჰპოვეს.

როგორც გამოცდილებამ აჩვენა სფერული ტიპის გარსის მთავარი ნაკლი მისი დამზადების და გახსნის სირთულეა. ამ მხრივ უპირატესობა აქვს ნახევრადცილინდრებს – მათი დამზადება შესაძლებელია ქსოვილის სწორი ნაჭრისაგან უმნიშვნელო დანაკარგებით. სხვა შემთხვევაში მომგებიანი აღმოჩნდა პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციები კონუსისებრი ფორმით, განსაკუთრებით – ნაყარი მასალების შესანახი ნაგებობების შემთხვევაში.

მხედველობაშია მისაღები ის ფაქტი, რომ ყველა სხეულის ბრუნვის შედეგად მიღებული ფორმა არ გამოდგება პნევმატიკურ სამშენებლო კონსტრუქციებში. მაგალითად, მეორე რიგის წირის – ელიფსის მცირე ღერძის მიმართ ბრუნვით მიღებული ზედაპირი დაჭირხნილი ჰაერის მოქმედების შედეგად, იღებს რა დეფორმაციას, მისწრაფვის სფეროს ფორმისაკენ და იკეთებს ნაოჭებს მერიდიანული მიმართულებით. ამ შემთხვევაში პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციის ზედაპირად შეიძლება

გამოყენებულ იქნას მხოლოდ ელიფსის დიდი ღერძის მიმართ მრუდის ბრუნვით მიღებული სხეულის ზედაპირი.

1.7 ლითონის კონსტრუქციების განვითარების ისტორია

ლითონის კონსტრუქციებმა არსებობის პერიოდში გაიარა მთელი რიგი საფეხურებისა, რომლებიც ძირითადად დაკავშირებულია მეტალურგიის განვითარებასთან, კონსტრუქციების ცალკეული ელემენტების შეერთებათა საშუალებების სრულყოფასა და კონსტრუქციებისა და მათი ელემენტების რაციონალურ ფორმათა ძიების და სრულყოფის პროცესებთან.

პირველი კონსტრუქციული ელემენტი რკინის კოჭების სახით ჯერ კიდევ ძვ. წ. 432 წელს გამოიყენა ბერძენმა არქიტექტორმა მნესიკლემ პროპელეას მშენებლობაში. ძვ. წ. 280 წელს კუნძულ ფაროსზე იქმნება ერთ-ერთი “მსოფლიოს შვიდი საოცრებათაგანი” - შუქურა-კოშკი სიმაღლით 150.0 მ. რომში, ძვ. წ. 125 წელს, შენდება პანთეონი, რომლის გუმბათის დიამეტრი 43.0 მეტრს შეადგენს და მასში გამოყენებულია რკინა.

ლითონის გამოყენებით სრულყოფილი კონსტრუქციული გადაწყვეტის მაგალითს წარმოადგენს ნეტარი ვასილის ტაძრის დერეფნის ქვის გადახურვის დამჭერი ლითონის კონსტრუქცია (1560 წ.). ეს არის დღემდე ცნობილი ლითონის კონსტრუქციებიდან პირველად შექმნილი მზიდი სამშენებლო კონსტრუქცია, რომლის ლითონის ღეროები მუშაობენ გაჭიმვაზე, ღუნვაზე და კუმშვაზე.

მშენებლობაში ლითონის კონსტრუქციები დამოუკიდებელი კონსტრუქციების სახით უფრო აქტურად XVII საუკუნიდან გამოიყენება, რაც

დაკავშირებულია თუჯის მასიურად გამოდნობა-ჩამოსხმასთან. თუჯის სამშენებლო კონსტრუქციების გამოყენება პირველად რუსეთში დაიწყო. 1686-1697 წწ. ქ. ზაგორსკში განხორციელდა ტროიციკო სეერგეევის მონასტრის სატრაპეზოს 18.0 მ-იანი მალის გადახურვა. 1725 წელს, ურალის ქალაქ ნევიანსკში მოეწყო გადახურვა 12.0 მ-იანი მალით და სხვ.

თუჯის თაღოვანი ხიდები აშენდა ინგლისში (1779 წ.), საფრანგეთში (1782 წ.) და რუსეთში – ცარსკოე სელოში 1784 წელს.

მსოფლიოში კაპიტალიზმის განვითარებამ განაპირობა რკინიგზების, ხიდების, სამრეწველო დანიშნულების შენობებისა და ნაგებობების მასიური მშენებლობა. ამან, თავის მხრივ, ბიძგი მისცა ლითონის კონსტრუქციების საგრძნობ გაუმჯობესებასა და მათ ფართოდ გამოყენებას მშენებლობაში.

დიდი მასშტაბის ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების განხორციელებას და განვითარებას დიდად შეუწყო ხელი ფოლადის გამოდნობის ათვისებამ და გაგლინული პროფილების შექმნამ. რუსეთში მაღალხარისხოვანი ფოლადების შექმნაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით გამოჩენილ პრაქტიკოს ინჟინერებს და მეცნიერებს: ანოსოვს, ოზუხოვს, ჩერნოვს და სხვ. ფოლადის გაგლინული პროფილების რაციონალური ფორმები მეცნიერულად დაამუშავა პოფ. ნ. ბელოლიბუსკიმ.

პროფ. ლ. პროსკურიაკოვმა ხიდის ფერმებში შემოიღო სამკუთხა და შპრენგელოვანი გისოსის ელემენტები და დაამუშავა ასეთი ფერმების გაანგარიშების თეორია. აკადემიკოსმა ვ. შუხოვმა ააშენა ჰიპრბოლოიდური კოშკები, შექმნა სწორხაზოვანი ელემენტებისაგან ორმაგი სიმრუდის გარსები და სხვა მრავალი ორიგინალური კონსტრუქცია.

ფოლადის კონსტრუქციებისაგან განხორციელებულ ორიგინალურ ნაგებობას წარმოადგენს (1889-92 წწ. მსოფლიო სამრეწველო გამოფენაზე) პარიზში აშენებული 312.0 მ სიმაღლის ეიფელის კოშკი.

ლითონის ელემენტთა შეერთების ძირითად საშუალებას ამ პერიოდში მოქლონებით შეერთება წარმოადგენდა, რაც დიდ შრომატევადობასთან იყო დაკავშირებული და ზღუდავდა ფოლადის კონსტრუქციების გავრცელებასა და განვითარების ტემპს.

1882 წელს ნ. ბერნადოსმა დაამუშავა ფოლადის ელემენტების ელექტრორკალური შედუღება ნახშირის ელექტროდის გამოყენებით. 1888 წელს კი ნ. სლავიანოვმა პატენტი აიღო ლითონის ელექტროდებით შედუღებაზე ფოლადის ელემენტების შესაერთებლად, მაგრამ ლითონის ელემენტების შეერთების ამ სახემ იმ პერიოდში გავრცელება ვერ ჰპოვა. აკადემიკოსმა ე. პატონმა XX საუკუნის 30-იან წლებში ჩამოაყალიბა შედუღების საქმის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, რომელმაც მეცნიერულად დაამუშავა ელექტრორკალით შედუღების ტექნოლოგია და შექმნა ნახევრად ავტომატური და ავტომატური შედუღების ხერხები. ყოველივე ამან ხელი შეუწყო ლითონის კონსტრუქციების განვითარებას, მშენებლობაში მათ გამოყენებასა და გავრცელებას.

ამჟამად, მაღალი სიმტკიცის ფოლადების შექმნასთან დაკავშირებით, შესაძლებელია განხორციელდეს მაღლივი შენობების კარკასების, დიდმალიანი გადახურვების, ხიდების, კოშკებისა და სხვა დიდი მასშტაბის საინტერესო საინჟინრო კონსტრუქციების და ნაგებობების მშენებლობა.

ზემტკიცე ფოლადების გამოყენებით შეიქმნა წინასწარ დამაბული ლითონის კონსტრუქციების ფართოდ გავრცელების შესაძლებლობა, რაც ეკონომიკურ მაჩვენებლებთან ერთად, საგრძნობლად აუმჯობესებს სამშენებლო კონსტრუქციების ამტანუნარიანობასა და სიხისტის მაჩვენებლებს.

გავრცელებულია აგრეთვე ალუმინის შენადნობებისაგან განხორციელებული სამშენებლო კონსტრუქციები, რაც საშუალებას იძლევა მკვეთრად შემცირდეს მზიდი კონსტრუქციების საკუთარი წონა და გაზრდილ

იქნას როგორც მათი ამტანუნარიანობა, აგრეთვე ექსპლუატაციის ხანგრძლივობაც.

ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიის განვითარებაში დიდი დამსახურება მიუძღვით ლითონის კონსტრუქციების და გეგმარების საბჭოთა სკოლის ფუძემდებელს პროფ. ნ. სტრელეცკის, რომელიც გაანგარიშებას საფუძვლად უდებს ლითონის ეკონომიის, კონსტრუქციის დამზადების შრომატევადობის შემცირებასა და სწრაფი მონტაჟის პრინციპებს. ნ. სტრელეცკი არის ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობათა თეორიის და მრავალი საინტერესო საინჟინრო ნაგებობის პროექტის ავტორი.

ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების განვითარების საქმეში დიდი დამსახურება მიუძღვით მეცნიერებს: ე. ბელენიას, ვ. გორეევს, ვ. კუზნეცოვს, ნ. მელნიკოვს და სხვ. [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

1.8 ლითონის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია და მათი გამოყენების სფეროები

ლითონის კონსტრუქციებს დღეს ყველა სახის შენობასა და საინჟინრო ნაგებობაში იყენებენ. მოთხოვნილება მათ მიმართ მეტად დიდია და გამუდმებით იზრდება.

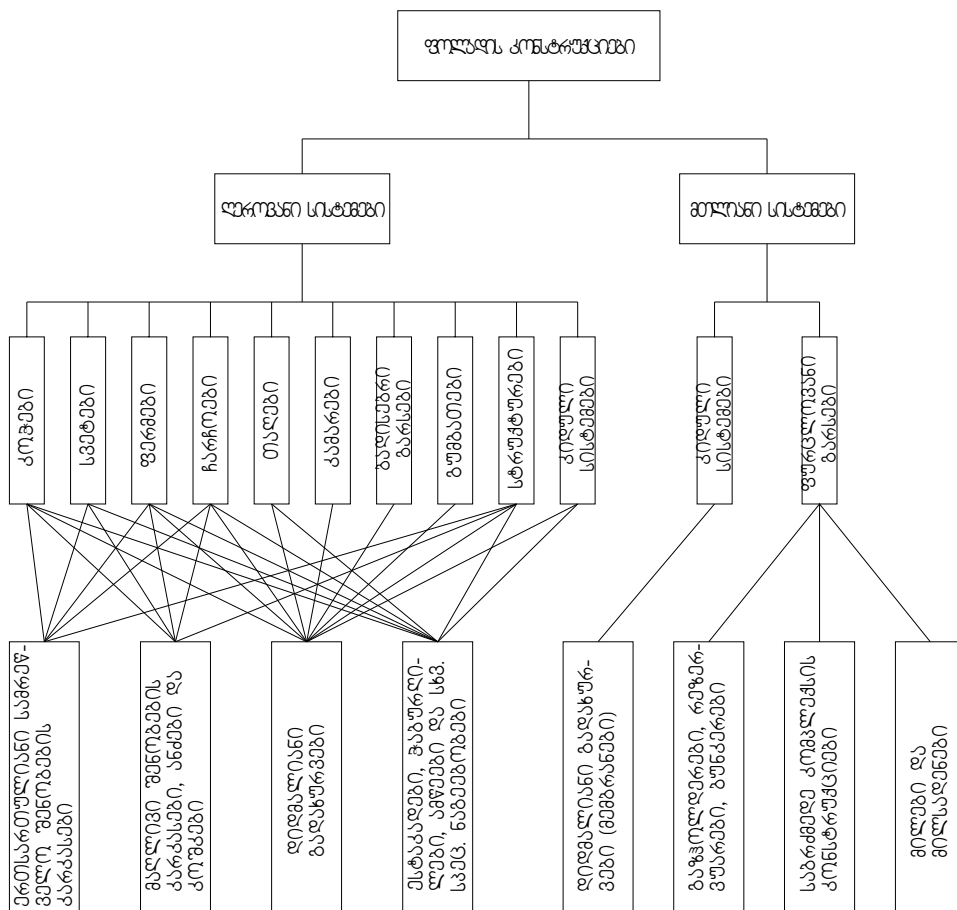
ლითონის კონსტრუქციები ნაგებობებში ღეროვანი ან მთლიანი სისტემების სახით გამოიყენება.

ღეროვანი სისტემების მაგალითებია: სამრეწველო შენობათა და ნაგებობათა კარკასები ამწქვეშა კოჭებითა და სამუშაო მოედნებით; რკინიგზის, გზატკეცილის და სამოქალაქო დანიშნულების დიდმალიანი ხიდები;

სამოქალაქო დანიშნულების მაღლივი შენობები; სხვადასხვა დანიშნულების დიდმალიანი გადახურვები; რადიომაუწყებლობისა და სატელევიზიო ანძები და კომპები; მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენები; ნავთობის ქაბურღილები; აძწეები და სხვ.

მთლიანი სისტემები – გარსები, ანუ როგორც ხშირად უწოდებენ ფურცლოვანი კონსტრუქციები გამოიყენებიან როგორც რეზერვუარები; გაზჰოდდერები; ბუნკერები; ბრძმედის გარსაცმები; დიდი დიამეტრის მილები და სხვ.

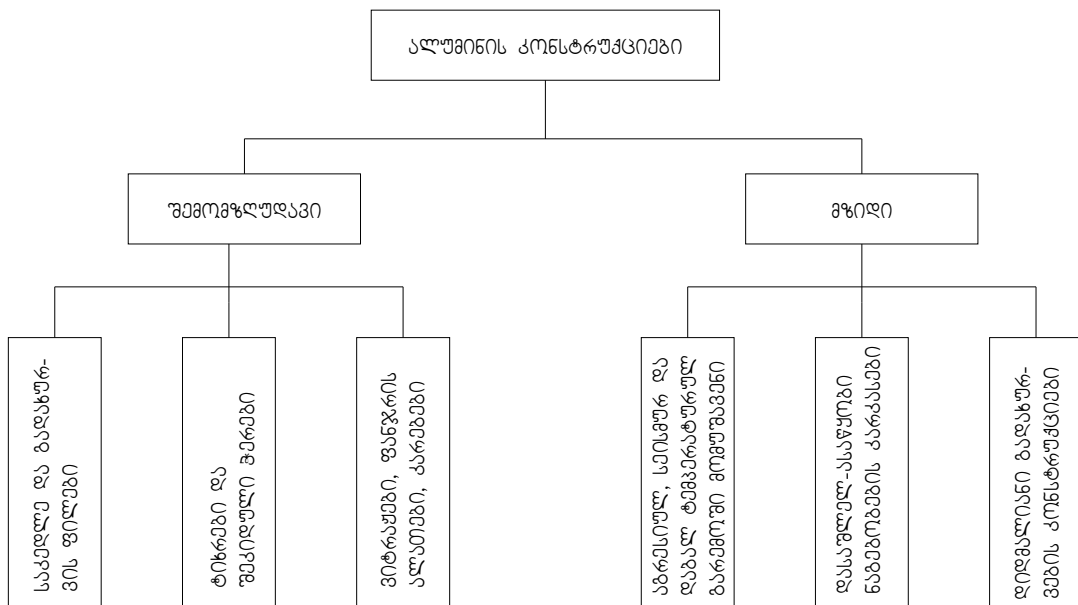
ფოლადის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია მოცემულია ნახ. 8 -ზე.



ნახ. 8 ფოლადის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია

ალუმინის კონსტრუქციებმა, მცირე ხვედრითი წონისა და მაღალი კოროზიამდედგობის წყალობით, პირველ რიგში გამოყენება ჰპოვეს სამრეწველო და სამოქალაქო შენობათა შემომზღუდავ კონსტრუქციებში სახურავის ფენილის, საკედლე პანელების, ფანჯრის ალათებისა და სხვათა სახით. ალუმინის კონსტრუქციები გამოიყენება ქიმიურ და ნავთობის მრეწველობაში, ისეთ ნაგებობებში სადაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ხვედრითი წონის სიმცირეს: გადამტვირთავი ამწეები, გასახსნელი ხიდები, პავილიონების დიდმალიანი გადახურვები, ძნელად მისადგომ და სეისმურად აქტიურ რაიონებში გამოსაყენებელი კონსტრუქციები და სხვ.

ალუმინის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია მოცემულია ნახ. 9 -ზე.



ნახ. 9 ალუმინის კონსტრუქციების კლასიფიკაცია

1.9 ლითონის დიდმალიანი კონსტრუქციები

ლითონის დიდმალიანი კონსტრუქციებით ხორციელდება საზოგადოებრივი, საწარმოო და სპეციალური დანიშნულების ნაგებობების გადახურვები.

დიდმალიანი გადახურვის სისტემა წარმოადგენს ერთმალიან კონსტრუქციას და გადაწყვეტის ნაირსახეობით ხასიათდება. ნაგებობების ლითონის დიდმალიანი კონსტრუქციებით გადახურვის აუცილებლობა (თეატრები, საგამოფენო პავილიონები, საკონცერტო და სპორტული დარბაზები, სტადიონები და სხვ.) გამოწვეულია როგორც დიდი მალეების საჭიროებითი, ისე საექსპლუატაციო და არქიტექტურული მოთხოვნებით.

კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიხედვით დიდმალიანი გადახურვები შემდეგ სისტემებად იყოფიან:

1. კოჭოვანი სისტემა – დიდმალიანი ფერმების სახით;
2. ჩარჩოვანი სისტემა – ერთმალიანი (მთლიანკედლიანი ან გამჭოლკედლიანი) ჩარჩოების სახით;
3. თაღოვანი სისტემა – მთლიანკედლიანი ან გამჭოლი (სახსრებიანი ან უსახსრო) თაღების სახით;
4. სივრცითი სისტემა – ბადისებრი (სტრუქტურული) გადახურვების, გარსებისა და გუმბათების სახით;
5. დაკიდული სისტემა – ვანტური (ბაგროვანი) გადახურვების სახით.

კოჭოვანი და ჩარჩოვანი სისტემები უმთავრესად გეგმაში მართკუთხა ფორმის მქონე ნაგებობების დიდმალიან გადახურვებში გამოიყენება. დანარჩენი სისტემების გამოყენებას კი განაპირობებს მალის სიდიდე, არქიტექტურული და ტექნოლოგიური მოთხოვნები, ეკონომიური მოსაზრებანი და სხვა ფაქტორები.

დიდმალიანი გადახურვების ძირითადი თავისებურება იმაშია, რომ მათ ძირითად დატვირთვას საკუთარი წონა წარმოადგენს. ამიტომ, რომ მათი დაგეგმარების დროს, სისტემების შერჩევისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტისას, მნიშვნელოვანია მაღალი სიმტკიცის ფოლადების, წინასწარდაძაბული კონსტრუქციებისა და მსუბუქი ფენილის გამოყენების საკითხები.

გადახურვის თაღოვანი სისტემები როგორც მასალის ხარჯის, ისე დამზადებისა და მონტაჟის შრომატევადობის მხრივ ეკონომიური არიან კოჭოვან და ჩარჩოვან სისტემებთან შედარებით, ამიტომ პროექტირების ხშირ შემთხვევებში მათი გამოყენება ყველაზე უფრო ოპტიმალურ ვარიანტად რჩება.

1.10 საიმედოობის თეორია მშენებლობაში

საიმედოობის თეორია სამშენებლო კონსტრუქციებში წარმოადგენს არსებულ ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდის ლოგიკურ გაგრძელებასა და განვითარებას. ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით სამშენებლო კონსტრუქციების ანგარიში წარმოადგენს ნახევრადალბათურს, რადგან მასალების ნორმატიული წინაღობა, დატვირთვები და საიმედოობის კოეფიციენტები მასში განისაზღვრება ალბათური მეთოდებით, ხოლო მათი საანგარიშო მნიშვნელობები და პირობითი მუშაობის კოეფიციენტები აიღება დეტერმინირებულად. მიღებულია, რომ ამ მეთოდით მიღებულ შედეგებს აქვს ერთადერთი მნიშვნელობა.

სამშენებლო კონსტრუქციების საიმედოობის თეორიით ანგარიშისას მიღებული ანგარიშის შედეგი ინტერპრეტირდება რამდენიმე მნიშვნელობით და აიღება მათგან საშუალო მნიშვნელობა საშუალო კვადრატული გადახრით, ანდა მაღალი რიგის სხვადასხვა შემთხვევებით. ასეთ მიდგომა საშუალებას

იძლევა ანგარიშის შედეგში გათვალისწინებული იქნას დამკვეთის ნებისმიერი მოთხოვნა. ამ დროს იზომება ანგარიშის მიღებული შედეგების რეალიზაციის ალბათობა.

სამშენებლო კონსტრუქციების ანგარიშის მეთოდები მუდმივად განიცდის სრულყოფას. ბოლო პერიოდში სამშენებლო კონსტრუქციების ანგარიშის მეთოდების განვითარება ხასითდება მუდმივი დაზუსტებით ცალკეული საანგარიშო მდგომარეობების და ემპირიული კოეფიციენტებისა კონსტრუქციის ხარისხის შეფასების ძირითადი კრიტერიუმების (სიმტკიცე, სიხისტე, ბზარმედეგობა) ცვლილებების გარეშე. ყველა შესაძლო მდგომარეობის და კოეფიციენტის დაზუსტება ბუნებრივია დადის გარკვეულ ზღვრამდე, რომლის შემდეგაც მათი დაზუსტება არაეფექტური და გარკვეულწილად სახიფათოცაა.

ბოლო წლებში სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიაში შემოიჭრა ალბათური მეთოდები. არსებული მეთოდების კორექტირების პარალელურად, ისინი გვთავაზობენ ხარისხის კრიტერიუმების ახალ შემადგენლობებს, როგორებიცაა კონსტრუქციის მტყუნების გარეშე მუშაობის ალბათობა და საიმედოობა.

საიმედოობის თეორია ისეთი სახით როგორც ის დღესაა, წარმოიშვა ბოლო პერიოდში, მისი ფორმირება როგორც მათემატიკური და ტექნიკური დისციპლინისა, პირველ რიგში მიმდინარეობდა ელექტრონიკის, გამოთვლითი ტექნიკის, რაკეტმშენებლობის და ელექტრონული მოწყობილობების განვითარების გავლენით. მშენებლობაში საიმედოობის თეორიის განვითარება განპირობებულია რამდენიმე მიზეზით:

1. საიმედოობის თეორია საშუალებას იძლევა დაპროექტდეს ისეთი კონსტრუქციები, რომლებსაც ექნებათ მინიმალური მასა და გაზრდილი საანგარიშო წინაღობა. მასალის მარაგის კოეფიციენტი მოუხერხებელ

კრიტერიუმს წარმოადგენს ნაკეთობის გამოყენების შესაფასებლად, რადგან ის მიისწრაფის ერთისკენ და შეიძლება ერთზე ნაკლებიც აღმოჩნდეს. ასე წარმოიშვა აუცილებლობა სხვა უფრო უნივერსალური კრიტერიუმის შექმნისა, რომელიც განსაზღვრავდა კონსტრუქციის საიმედოობას ან მტყუნების ალბათობას;

2. ტექნიკური განვითარების დაჩქარებული ტემპები იწვევს სხვა დამატებით სირთულეს - დროის დეფიციტს. კონსტრუქციის ოპტიმალური პარამეტრების ძიების ტრადიციული მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულნი არიან მრავალჯერად ცდებსა და პროექტირების პრაქტიკაზე, დღეისათვის უსარგებლონი ხდებიან დროის ხანგრძლივობის გამო, შედეგად დგება აუცილებლობა კონსტრუქციის საიმედოობის განსაზღვრის ისეთი თეორიული მეთოდების ჩამოყალიბებისა, რომელიც გადაჭრის ზემოთ ნახელებ პრობლემას;

3. ზოგიერთი კონსტრუქციისათვის პრაქტიკული ცდებით შემოწმება შეიძლება ძალიან ძვირი ან პრაქტიკულად განუხორციელებელიც კი აღმოჩნდეს. მაგალითად, უნიკალური ატომური ელექტროსადგური, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი და სხვ. ასეთ შემთხვევებში დგება კონსტრუქციის საიმედოობის გასაზღვრის თეორიული მეთოდების დამუშავების საჭიროება;

4. კონსტრუქციებზე, რომლებიც განკუთვნილნი არიან მაღალი სოციალურ-ეკონომიკური დანიშნულების ნაგებობისათვის და რომელთა მტყუნებამაც შეიძლება გამოიწვიოს კატასტროფული ზარალი, ძალიან მნიშვნელოვანია საიმედოობის ხარისხის ცოდნა;

5. საიმედოობის თეორია საშუალებას იძლევა ობიექტურად და ხარისხიანად შეაფასოს კონსტრუქციის მტყუნება და მტყუნების შემთხვევაში განსაზღვროს სავარაუდო ეკონომიკური და არაეკონომიკური დანაკარგები.

ჩამოთვლილი მიზეზებიდან ცხადია, რომ საიმედოობის თეორიის განვითარება პირველ რიგში გამოიწვეულია სამშენებლო პრაქტიკის მოთხოვნებით და არის კანონზომიერი, ობიექტური და ისტორიულად აუცილებელი პროცესი.

სამშენებლო კონსტრუქციებში მასალების მოცულობის შემცირებისკენ მუდმივმა სწრაფვამ გამოიწვია კონსტრუქციის საიმედოობის შემცირება, შესაბამისად საიმედოობის თეორიის უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს განისაზღვროს ამ შემცირების რიცხობრივი მნიშვნელობა, რაც პირდაპირ კავშირშია კონსტრუქციის და ზოგადად ნაგებობის უსაფრთხოებასთან.

მეორე, არანაკლებ მნიშვნელოვანი ამოცანა საიმედოობის თეორიისაა არის ეკონომიკური ასპექტების განსაზღვრა - ტექნიკური პროგრესის პირობებში ძალიან სწრაფად ხდება შენობა-ნაგებობების მორალური დაძველება, რის გამოც საჭირო ხდება ისეთი ობიექტების პროექტირება რომლებსაც მორალურად დაძველების მომენტისთვის ასევე ამოწურული ექნებათ საკუთარი საიმედოობაც.

ამრიგად, უსაფრთხოება და ეკონომიურობა წარმოადგენენ თანამედროვე მშენებლობის უმნიშვნელოვანეს ასპექტებს, რომელთა რიცხვობრივად განსაზღვრის ამოცანა აქტუალური და აუცილებელია.

საიმედოობის თეორიის პირველი, ადრეული შრომები შექმნილია მექანიკური სისტემებისთვის და ეკუთვნის ნ. ხოციალოვს (სსრკ) და ჰ. მაიერს (გერმანია). ეს შრომები გამოჩნდა 1929-1931 წწ და ეძღვნებოდა ობიექტების სიმტკიცეზე ანგარიშისას თეორიულ-ალბათური მეთოდების გამოყენებას. მე-20 საუკუნის 30-40-იან წლებში ნ. სტრელეცკიმ და ა. რჟანიცინმა შეიმუშავა სამშენებლო მექანიკის სტატისტიკური მეთოდები, სადაც ნაჩვენებია იყო, რომ მასალების თვისებებისა და გარე დატვირთვების ალბათური ხასიათის გამო, კონსტრუქციის ელემენტების სიმტკიცეზე ანგარიშს აქვს სტატისტიკური ხასიათი.

თანამედროვე საიმედოობის თეორიის განვითარების ისტორია შეიძლება დაიყოს სამ ძირითად პერიოდად. პირველი პერიოდში საიმედოობის შეფასება ხდებოდა ფიქსირებული მტყუნების რიცხვით - ანგარიში საიმედოობაზე წარმოებდა სისტემის ელემენტების მტყუნების ინტენსივობების მიხედვით, რომელიც სტატისტიკით მიიღებოდა. ეს მიდგომა შემდგომ განვითარდა რადიოელექტრონიკისა და ავტომატიკაში. ამ მიმართულებით პირველი შრომები ეკუთვნით ა. ბერგს, ნ. ბრუევიჩს, ვ. სიფოროვს, ა. პლოვკოს, გ. დრუჟინინს, ნ. შიშონკს და სხვებს. 60-იანი წლების დასაწყისში ინტენსიურად განვითარდა საიმედოობის თეორიის მათემატიკური საკითხები ნ. სტერლევცის, ბ. გნედენკოს, ჯ. ნეიმანის, კ. შენონის, ა. პირსის, ბ. გნედენკოს, ი. ბელიაევის, ა. სოლოევის შრომებში [16, 17, 18, 19, 20, 21].

მეორე პერიოდი (60-იანი წლები) მოიცავს საიმედოობის თეორიის განვითარების სწრაფ განვითარებას. ამ პერიოდდან დაიწყო ობიექტების საიმედოობის შეფასებისას ისეთი ფაქტორების გათვალისწინება როგორებიცაა: სისტემის ელემენტებს შორის ფუნქციონალური კავშირი, მუშაობის რეჟიმი (შიდა ფაქტორი), გარემომცველი სივრცის (გარე) ფაქტორები - ტემპერატურა, ტენიანობა, წნევა, ვიბრაცია, გამოსხივება და სხვ. ამ პერიოდიდან ობიექტების საიმედოობაზე ანგარიშმა და ოპტიმიზაციამ მოიცვა ტექნიკის ყველა სფერო, მოხდა საიმედოობის მრავალ საკითხის სტანდარტიზირება, დიდი ყურადღება დაეთმო მტყუნების ფიზიკას. ნაშრომები აღნიშნულ თემებზე ეკუთვნით ი. ბარლოუს, ს. პროპანს, ვ. ბოლოტინს, ბ. სოტკოვს [22, 23, 24, 25, 26].

საიმედოობის თეორიის განვითარების მესამე პერიოდი (70-იანი წლების მეორე ნახევარი და შემდეგ) ხასითდება მანამდე არსებული კვლევების დაზუსტებით და ანალიზით. იზრდება ობიექტების საიმედოობის პროგნოზირებისა და რთული სისტემების საიმედოობის შეფასების

გადაწყვეტის ამოცანებზე გამოკვლევების რიცხვი. ხდება მტყუნებების ფიზიკურ-ქიმიური და სტატისტიკური კანონზომიერების დადგენა როგორც მარტივი, ასევე რთული სისტემებისთვის. ამ პერიოდის ნაშრომები ეკუთვნით ა. რჟანიცინს, ა. კუძის, ვ. რაიზერს. ა. აგუსტის. ა. ბარატას. ფ. კაშიატს [27, 28, 29, 30, 31].

საიმედოობის თეორიის მათემატიკურ აპარატს წარმოადგენს ალბათობის თეორია, მათემატიკური სტატისტიკა, შემთხვევითი პროცესების თეორია, მასობრივი მომსახურების თეორია, ინფორმაციის თეორია, მათემატიკური ლოგიკა, ექსპერიმენტის დაგეგმვის თეორია და სხვა მათემატიკური დისციპლინები.

დღეისათვის მრავალ ქვეყანაში ჩამოყალიბებულია სამეცნიერო სკოლები და ინსტიტუტები, რომლებიც სხვადასხვა მიმართულებით ამუშავებენ საიმედოობის თეორიისა და პრაქტიკის გამოყენებას. მათგან დიდი ყურადღება ეთმობა საიმედოობის პრობლემას მშენებლობის, მანქანათმშენებლობის, ენერგეტიკისა და ტექნიკის სხვა დარგებში.

2. შედეგები და მათი გასჯა

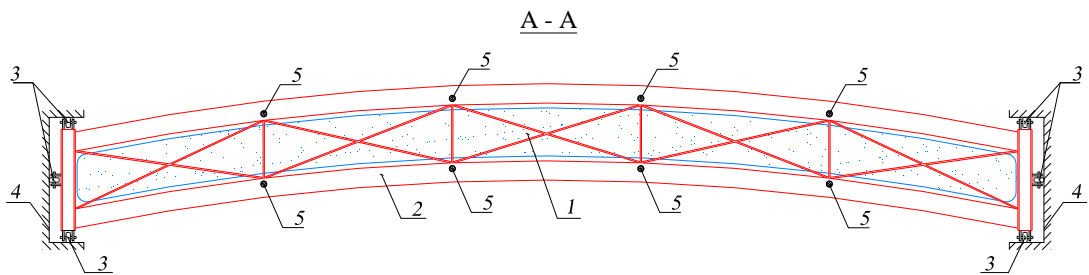
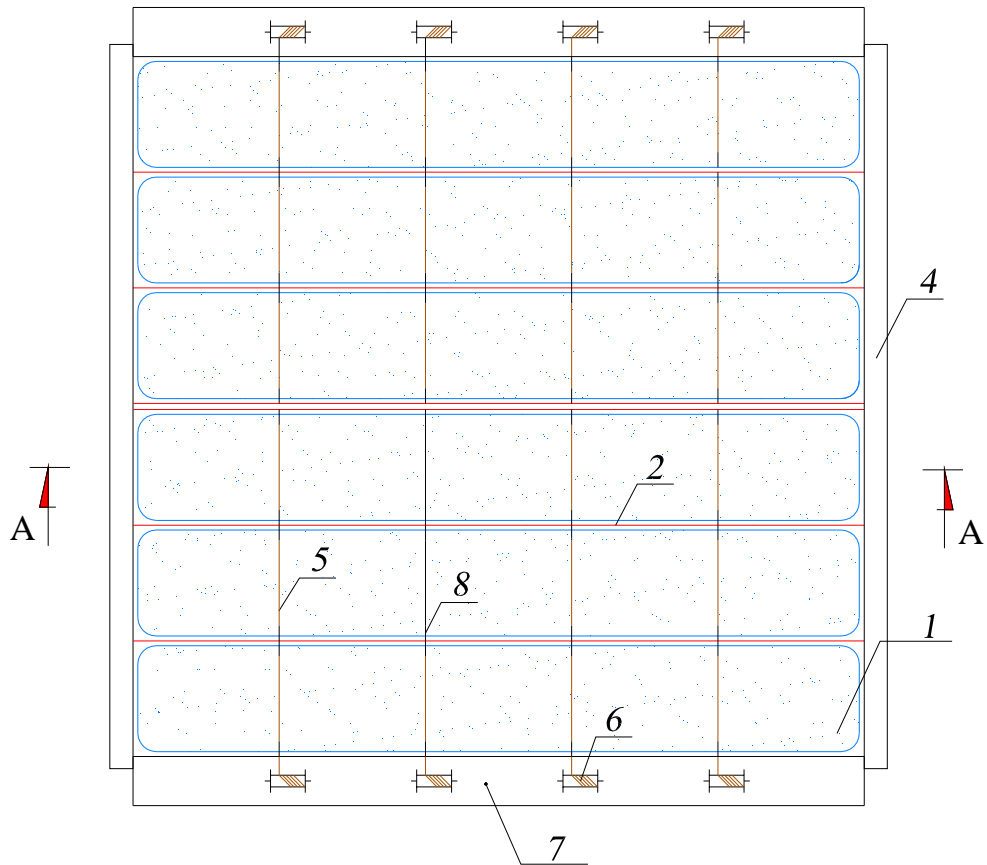
2.1 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის აღწერა

თანამედროვე ტენდენციების მიხედვით მშენებლობის პროცესის ეფექტური განხორციელების უმთავრესი ფაქტორებია საშენი მასალების ეკონომიურობა, კონსტრუქციის ზიდვის უნარის ამაღლება იაფი მასალების გამოყენებით, საექსპლუატაციო პირობების გაუმჯობესებას და საიმედოობის გაზრდა.

სადოქტორო ნაშრომში წარმოდგენილი ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციები განკუთვნილია სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობების გადაწყვეტების შესასრულებლად.

კონსტრუქცია შედგება ორი იდენტური ნაწილისაგან (ნახ. 10), რომელთა კარკასი აღჭურვილია ხისტი ელემენტებისაგან შედგენილი თაღებით 2. თაღები განთავსებულნი არიან ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ საგორავიან 3 მიმართველებში 4, ხოლო შიგა კვანძები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ზედა და ქვედა სიბრტყეში არსებული ბაგირებით 5. ბაგირები შეერთებულნი არიან მრავალღარიან დოლის 6 მქონე ჯალამბარებზე. ყოველ ორ მომიჯნავე თაღს შორის მოთავსებულია ცალკეული პნევმატიკური ბალიში 1, რომლის ქვედა ზედაპირის სიგრძე ნაკლებია ზედაზე, რითაც გაშლის შემდეგ უზრუნველყოფილი იქნება ბალიშების თაღოვანი მოხაზულობა. თითოეული ბალიში მოქნილი მილის 9 საშუალებით შეერთებულია კომპრესორთან 10. კარკასის ხისტი ელემენტების კვანძებში გათვალისწინებულია კონსტრუქციის ტრანსფორმირებისათვის საჭირო მარეგულირებელი ფიქსატორები 8.

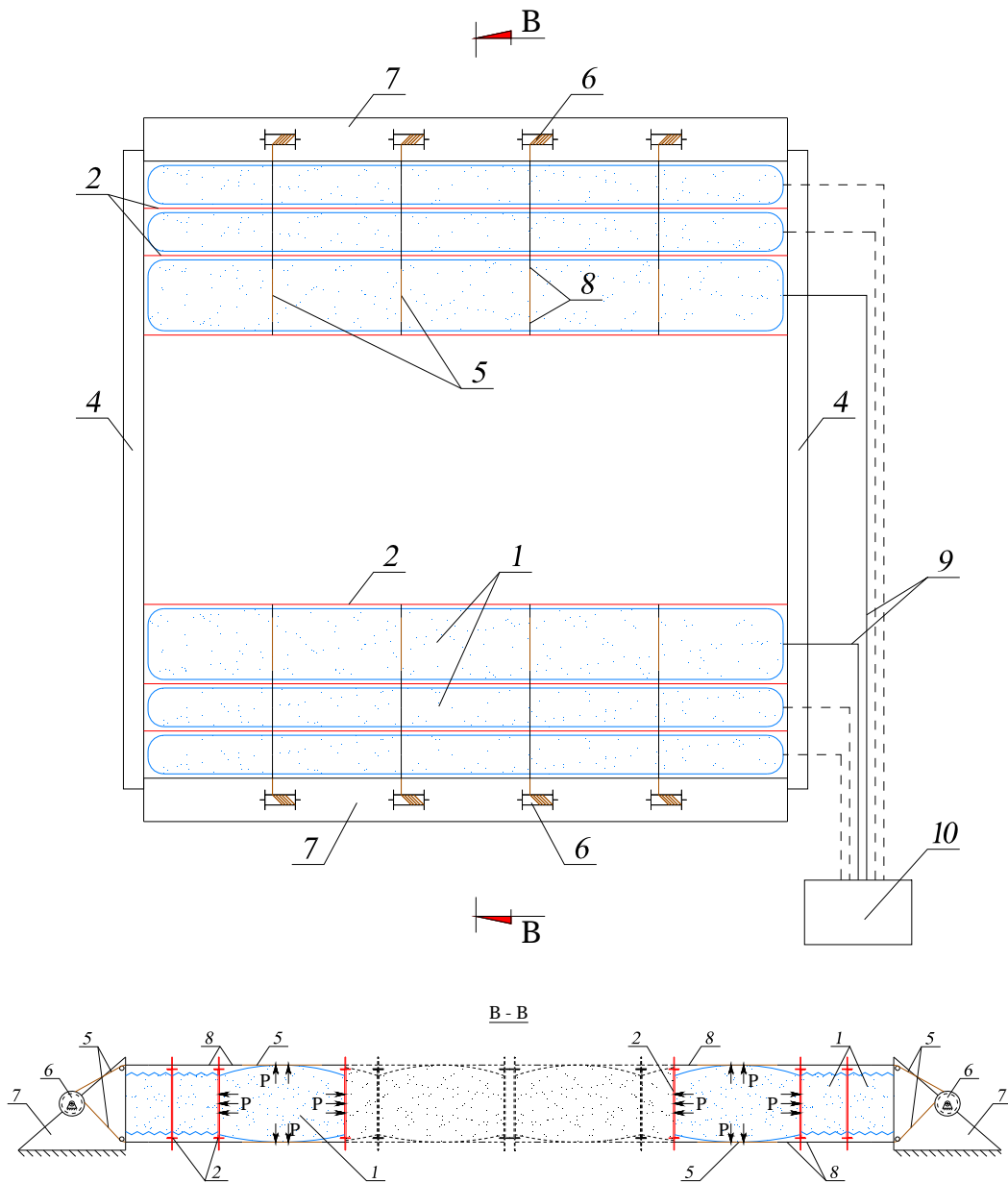
კონსტრუქციის თითოეულ ნაწილს ტორეცის მხარეს გააჩნია საბჯენი კრონშტეინები 7, მათზე განთავსებულია გასაშლელ-დასაკეცი მოწყობილობები 6.



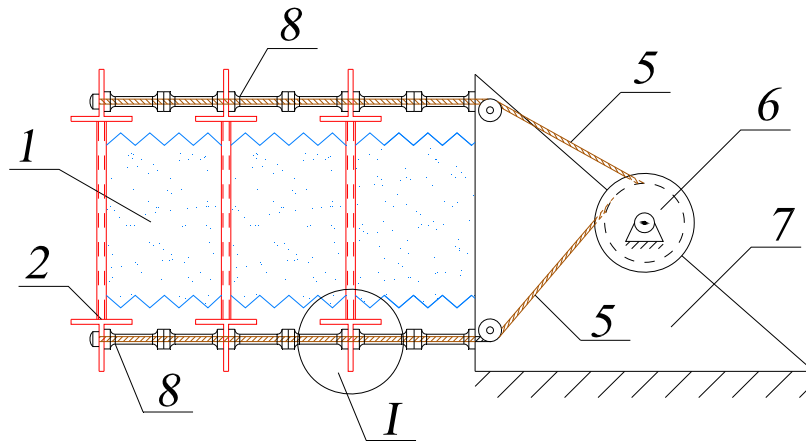
ნახ. 10 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის საერთო ხედი. 1- პნევმატიკური ბალიში, 2 - ხისტი ელემენტებით შედგენილი თალი; 3 - საგორავი; 4- მიმმართველი; 5 - ბაგირი; 6 - მრავალღარიანი დოლის მქონე ჯალამბარი; 7 - საყრდენი კრონშტეინი; 8 - ტრანსფორმირების ფიქსატორი

კონსტრუქციის ტექნიკური შედეგი მიიღწევა შემდეგნაირად (ნახ. 11): კონსტრუქციის ხისტი ელემენტები 2 და მათზე დამაგრებული პნევმატური ბალიშები 1 თავმოყრილია საბჯენ კრონშტეინებთან 7, ჯალამბრების მრავალღარიან დოლებზე 6 მინიმალურ სიგრძეზე დახვეულია ბაგირები 8. კონსტრუქციის ორივე ნაწილის კომპრესორიდან 10 მოქნილი მილის 9 საშუალებით მიეწოდება თანაბარი სიდიდის ჰაერის ჭარბი წნევა, რის შედეგადაც ბალიშებში ოთხივე მიმართულებით აღიმკვრება საპირისპირო ნიშნის მქონე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური წყვილძალები (იხ. ნახ. 10). ვერტიკალური წყვილძალებით, ბალიშების 1 ზედაპირების ფართობების განსხვავებულობის გამო (ზედა ფართობი წინასწარ გათვლილი სიდიდით მეტია ქვედაზე), ხდება ბალიშების ფორმირება - მათი ფორმა ემთხვევა კონსტრუქციის ხისტი ელემენტების 2 მოხაზულობას, ხოლო ჰორიზონტალური ძალების წყვილის ერთი მდგენელის მომიჯნავე ხისტ ელემენტებთან 2 და ჯამურად კრონშტეინებთან 7 მიბჯენის შედეგად გამოთავისუფლებული ენერგია საგორავი სისტემების 3 საშუალებით იწვევს კონსტრუქციის გადაადგილებას მიმმართველზე 4 (ჰორიზონტალურ ან დახრილ ზედაპირზე) - ხდება კონსტრუქციის გაშლა.

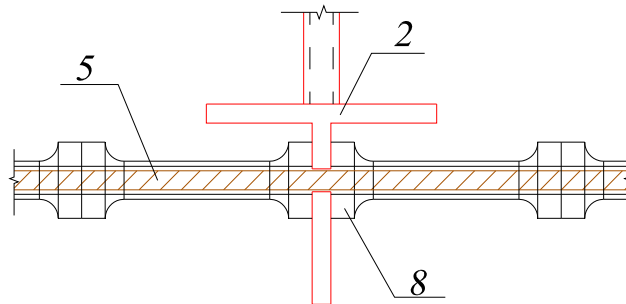
კონსტრუქციის დაკეცვა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით: კრონშტეინებთან 7 ყველაზე ახლოს მდებარე ბალიშებში 2 იხსნება სარქველები, მათგან გამოიღვენება ჭარბი ჰაერის ჭარბი წნევა, რის შედეგადაც ბალიშები უბრუნდებიან საწყის მდგომარეობას, მათი მოცულობაში შემცირების პარალელურად ჯალამბრების 6 დოლებზე ბაგირების 4 დახვევით თალები ბრუნდება საბჯენი კრონშტეინებისაკენ 7. პირველი უახლოესი ბალიშების დაკეცვის და ხისტი ელემენტების საწყის პოზიციაში დაბრუნების შემდეგ პროცესი მეორდება თანმიმდევრობით კონსტრუქციის ყველა ბალიშისათვის (ნახ. 12).



ნახ. 11 კონსტრუქციის ტრანსფორმაციის პროცესი. 1- პნევმატიკური ბალიში, 2 - ხისტი ელემენტებით შედგენილი თალი; 3 - საგორავი; 4- მიმმართველი; 5 - ბაგირი; 6 - მრავალღარიანი დოლის მქონე ჯალამბარი; 7 - საყრდენი კრონშტეინი; 8 - ტრანსფორმირების ფიქსატორი; 9- მოქნილი მილი; 10 - კომპრესორი



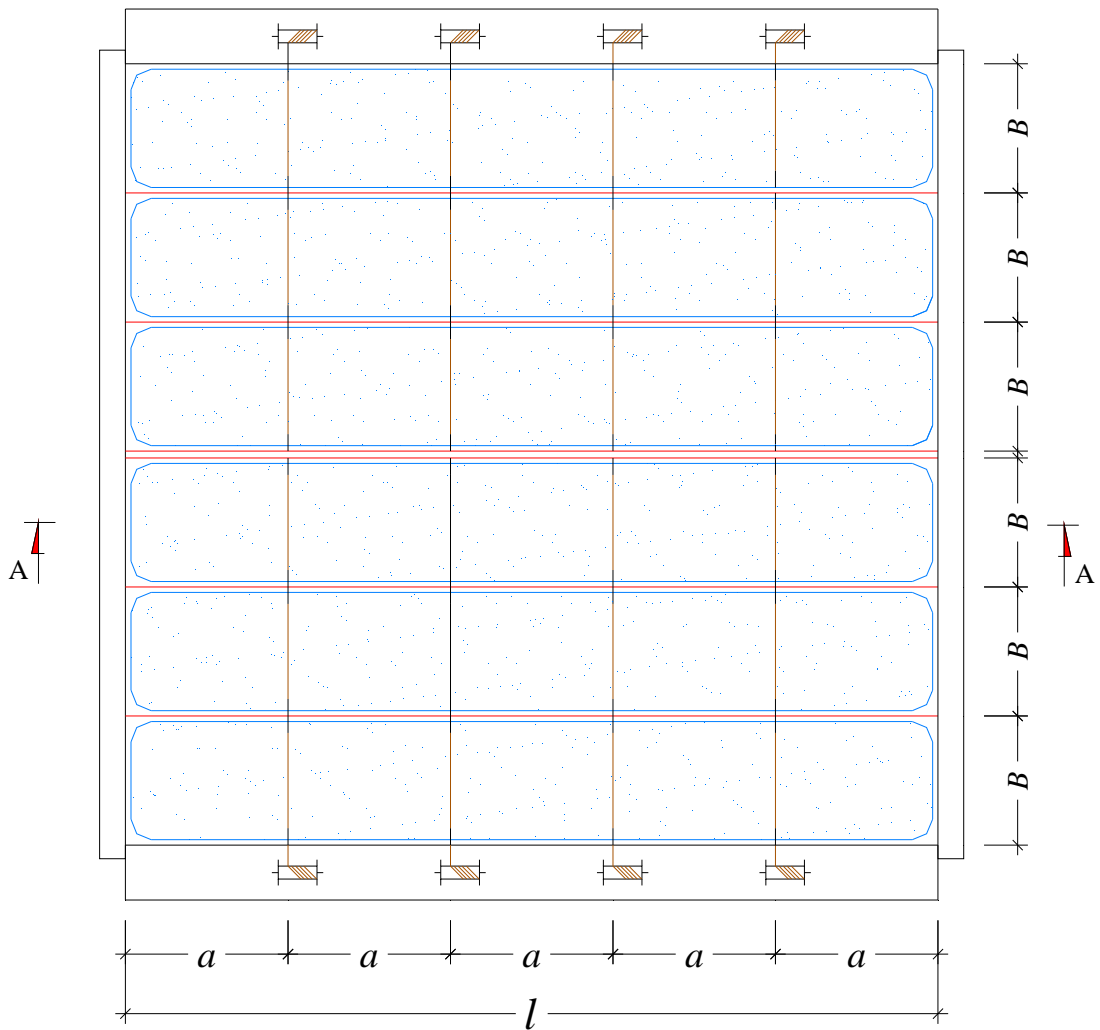
ნახ. 12 კონსტრუქციის ერთი ნაწილი ტრანსფორმაციამდელ (დაკეცილ) მდგომარეობაში. 1- პნევმატიკური ბალიში, 2 - ხისტი ელემენტებით შედგენილი თალი; 5 - ბაგირი; 6 - მრავალღარიანი დოლის მქონე ჯალამბარი; 7 - საყრდენი კრონშტეინი; 8 - ტრანსფორმირების ფიქსატორი



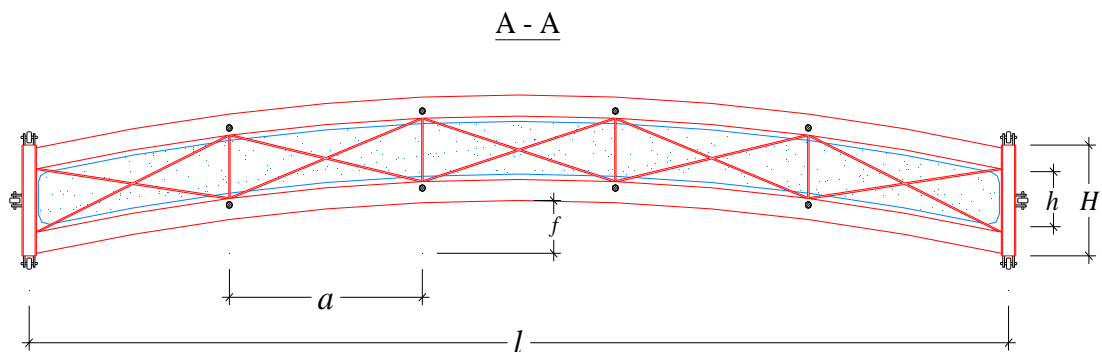
ნახ. 13 კვანძი I. 2 - ხისტი ელემენტებით შედგენილი თალი; 5 - ბაგირი; 8 - ტრანსფორმირების ფიქსატორი

კონსტრუქციის აღწერილობიდან გამომდინარე, გადახურვაზე მოსულ გარკვეული სიდიდის დატვირთვებისა და გადასახური ნაგებობის მოცემული მალის შემთხვევაში, ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის (ლითონის ჩარჩოსა და პნევმატიკური გარსის) ელემენტებში აღძრული ძალოვანი ფაქტორები

დამოკიდებულნი არიან ძირითადი მზიდი ელემენტების გეომეტრიულ პარამეტრებზე.



ნახ. 14 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები



ნახ. 15 ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები (ჭრილი A-A)

ნახ. 14 და ნახ. 15-ზე მოცემულია ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრების ასოითი აღნიშვნები:

l არის კონსტრუქციის მალი;

B - ლითონის ჩარჩოებს შორის მანძილი, ბიჯი;

a - ბაგირებს შორის მანძილები;

f - აწეულობის ისარი;

H - კონსტრუქციის ლითონის ჩარჩოს სიმაღლე;

h - პნევმატიკური გარსის სიმაღლე.

იმის გამო, რომ კონსტრუქცია კომბინირებულია და შეიცავს როგორც ლითონის ხისტი ელემენტებისგან შედგენილ თაღს, ასევე პნევმატიკურ გარსს, ამიტომ გეომეტრიული პარამეტრების დასადგენად საჭირო ხდება ზემოთ ნახსენები ორივე კონსტრუქციული ნაწილის გეომეტრიული პარამეტრების განსაზღვრა.

2.2 ლითონის დიდმალიანი თაღოვანი კონსტრუქციისთვის ოპტიმალური გეომეტრული პარამეტრების დადგენა

ლითონის თაღების გამოყენება გადახურვის მზიდ კონსტრუქციებად დაიწყო 20 საუკუნის 40-50-იანი წლებიდან, მას შემდეგ რაც მიღწეულ იქნა ნაგლინი პროფილების წარმოება.

ძირითად მზიდ კონსტრუქციებად თაღები წარმატებით გამოიყენება სპორტულ-სანახაობრივი და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების დიდმალიან გადახურვებში. გარდა გამორჩეული არქიტექტურული ფორმისა, თაღოვან კონსტრუქციას კოჭოვან და ჩარჩოვანთან შედარებით გააჩნია ისეთი უპირატესობა, როგორცაა დატვირთვის ზემოქმედებისას მასში მნიშვნელოვნად (რამოდენიმეჯერ) ნაკლები მდუნავი მომენტების წარმოშობა, რის გამოც მის დამზადებაზე ლითონის ხარჯი მცირდება.

სტატიკური სქემის მიხედვით თაღები იყოფიან სამ-, ორ- და უსახსრო თაღებად. ფოლადის ხარჯისა და ეკონომიურობის მიხედვით სამივე ტიპის თაღის შორის განსხვავებება უმნიშვნელოა.

სამშენებლო პრაქტიკაში გავრცელებულია ორსახსრიანი თაღები: მათი დამზადება და მონტაჟი მარტივია, არამგრძნობიარენი არიან საყრდენების არათანაბარ ვერტიკალურ გადაადგილებაზე და ტემპერატურული გაფართობით გამოწვეული ძაბვები მათზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს.

არსებობს თაღების დაკავშირება-განლაგების (გაერთმთლიანების) ორი ვარიანტი:

პირველ ვარიანტში კარკასი წარმოადგენს თანაბარი ბიჯით დაშორებულ ცალკეულ თაღებს, რომელთაგან განაპირა და გარკვეულ მანძილზე მდებარე შუალედი თაღები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან

წყვილ-წყვილად, ზედა სარტყელში, კავშირების საშუალებით. მაღალი თაღების შემთხვევაში აგრეთვე საჭიროა ხისტი კავშირების სისტემა გრძივი მიმართულებით, გადახურვის დონეზე.

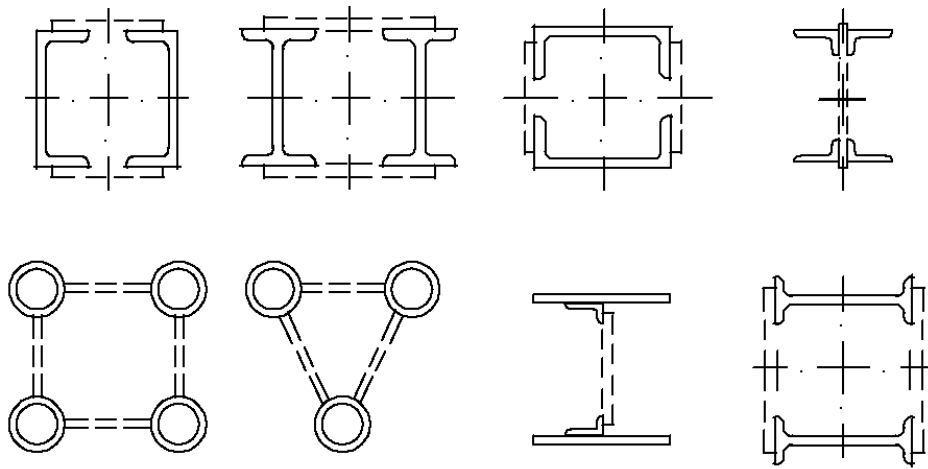
მეორე ვარიანტია დაწყვილებული თაღები, რომელთა ზედა და ქვედა სარტყლები და ვერტიკალური კავშირები ქმნიან სივრცით ბლოკებს – ისინი კარკასის სიხისტესა და სივრცით მდგრადობას უზრუნველყოფენ.

მთლიანკედლიანი თაღის განივკვეთი წარმოადგენს კედლისა და თაროს ფურცლებისაგან შედგენილ ორტესებრ პროფილს, გამჭოლი თაღი კი შედგება ზედა და ქვედა სარტყლისაგან და გისოსის ელემენტებისაგან, რისთვისაც გაგლინული პროფილის ელემენტები (კუთხოვანა, შველერი, ორტესებრი) გამოიყენება. გისოსის სისტემები ფერმებისათვის გამოყენებული სისტემების ანალოგიურია.

თეორიულად თაღების მოხაზულობა რაც შეიძლება ახლოს უნდა იყოს და შეესაბამებოდეს დატვირთვის მრუდს. მუდმივი დატვირთვის შემთხვევაში დატვირთვის მრუდი კვადრატული პარაბოლის ფორმისაა, რის გამოც ხშირად თაღებისთვის სწორედ ასეთი პარაბოლური ფორმა მოიაზრება, თუმცა დამზადებისა და მონტაჟის გაადვილების მიზნით წრიული მოხაზულობის თაღები გეგმარდება. გვხდება ასევე პარალელურსარტყელებიანი და მთვარისებური ფორმის თაღებიც, დიდი მალეების შემთხვევაში ტეხილი მოხაზულობის თაღებიც არსებობს [10, 13, 32].

მთლიანკედლიანი თაღების გამოყენება მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში თუ შესაძლებელია ნაგლინი პროფილის ცივი დამუშავება-დაღუნვა. გამოჭოლკედლიანი თაღების კვეთი რეკომენდებულია იყოს მუდმივი სიმაღლის, ანუ პარალელური სარტყელებით, რაც სრულად პასუხობს ძალვის სიგრძეზე ცვლილების ხასიათს.

თაღების განივკვეთების შესაძლო ვარიანტები მოცემულია ნახ. 16-ზე



ნახ. 16 თაღების განივკვეთის შესრულების ვარიანტები

თაღების კვეთის სიმაღლე დამოკიდებულია საანგარიშო მალისა და დატვირთვების სიდიდეზე და აიღება გისოსური თაღებისათვის მალის $\frac{1}{30} \div \frac{1}{60} \ell$ საზღვრებში, ხოლო მთლიანკედლიანისათვის $\frac{1}{50} \div \frac{1}{80} \ell$.

თაღის გაანგარიშება როგორც წესი ხდება ვერტიკალურად მომქმედ დატვირთვებზე, რომელიც გამოწვეულია გადახურვის კონსტრუქციის საკუთარ წონის და თოვლისგან. ანგარიში წარმოებს აგრეთვე ქარის დატვირთვისა და ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე.

თაღის კონფიგურაციად, როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული შეიძლება მიღებულ იქნას პარაბოლა, წრე, ელიფსური მრუდი რომელიც შეესაბამება მომქმედი ძალების მრავალკუთხედის მოხაზულობას, თუმცა ამავე დროს თაღის ფორმირებისას უნდა გათვალისწინებულ იქნას არქიტექტურული მოთხოვნებიც.

როგორც ცნობილია მრუდწირული პარაბოლური თაღის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$y = \frac{4f}{\ell^2} \cdot x(\ell - x) \quad (1)$$

სადაც ℓ მალია;

f -აწვევის ისარი;

x, y წერტილის კოორდინატები;

ორსახსრიანი თაღის მთლიან მალზე ვერტიკალურად მომქმედ თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში გამჯენის სიდიდე გამოთვლება ფორმულით:

$$H = \frac{q\ell^2}{8f} \quad (2)$$

ხოლო ნორმალური ძალა:

$$N = \frac{q\ell^2}{8f} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} \quad (3)$$

სადაც α მხების დახრის კუთხის სიდიდეა თაღის ღერძთან და გამოითვლება ფორმულით

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{4f(\ell-2x)}{\ell^2} \quad (4)$$

ძაბვა (მპა) რომელიც წარმოიშობა თანაბარი სიდიდით ცვალდ ტემპერატურული ზემოქმედებისას გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma = \pm 0,937E\alpha t \frac{h}{f} = \pm 2,36t \frac{h}{f} \quad (5)$$

სადაც t ტემპერატურის ცვლილებაა (C^0);

h - თაღის კვეთის სიმაღლე;

f -აწვევის ისარი;

გამჭოლკდელიან პარალელურსარტყელებიან თაღის სარტყელებში ძალვა N_n გამოითვლება დატვირთვების იმ კომბინაციაზე, რომელის სიდიდეც უდიდესია. გრძივი N ძალა თაღში სარტყელებს შორის განაწილდება კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილის უკუპროპორციული სიდიდით, ხოლო ძალვა

გამოწვეული M_x მომენტისგან მიიღება ამ მომენტის სიდიდის შეფარდებით სარტყელების სიმძიმის ცენტრამდე h მანძილთან:

$$N_n = \frac{N \cdot a}{h} \pm \frac{M_x}{h} \quad (6)$$

სადაც a არის კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან საპირისპიროდ მდებარე სარტყელამდე მანძილი.

ძაბვა N_p გამჭოლკდელიანი თალის გისოსში დამოკიდებულია განივი Q ძალის სიდიდესა და ელემენტის დახრის კუთხის β მნიშვნელობაზე თალის ღერძთან.

$$N_p = \frac{Q}{\sin \beta} \quad (7)$$

ირიბნიან გისოსში აგრეთვე ითვალისწინებენ დამატებით ძაბვას ირიბნებში, რომლებიც წარმოიშობა სარტყელების შეკუმშვის შედეგად:

$$\sigma_p^1 = \frac{\sigma_n^b + \sigma_n^j}{2} \cdot \cos^2 \beta \quad (8)$$

სადაც σ_n^b და σ_n^j არის გრძივი ძალისგან გამოწვეული ძაბვა ზედა და ქვედა სარტყელში.

პარაბოლური მოხაზულობის მუდმივი განივკვეთის მქონე თალის მდგრადობის პირობა თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\sigma_{kp} = \frac{q_{kp} \cdot \ell^2}{8fA} = \frac{kEJ}{\ell^3} \cdot \frac{\ell^2}{8fA} = \frac{kEi^2}{8\ell f} \quad (9)$$

სადაც ℓ არის თალის მალი;

f - აწვევის ისარი;

i - კვეთის ინერციის რადიუსი;

A - თალის კვეთის ფართობი;

k - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია თაღის კონსტრუქციულ გადაწყვეტასა (უსახსრო, ორ-, სამსახსრიანი) და $\frac{f}{\ell}$ ფარდობაზე.

დისერტაციაში წამოდგენილი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის თაღოვან ელემენტად მიღებულია პარაბოლური მოხაზულობის ორსახსრიანი გამჭოლკედლიანი თაღი პარალელური სარტყელებით. თაღის მაღის სიდიდედ აღებულია $\ell=60.0$ მ, აწეულობის ისარი - $f = \frac{1}{20} \cdot \ell = \frac{1}{20} \cdot 60 = 3.0$ მ; კვეთის სიმაღლე $H = 1.0$ მ; ბაგირებს შორის მანძილი $a = 6.0$ მ; ლითონის თაღებს შორის მანძილი (ბიჯი) $B = 2.0$ მ.

(1) ფორმულით დათვლილია თაღის მოხაზულობა $x = 1.0$ მ-იანი ბიჯით და მოცემულია ცხრილ #2-ში:

$x, (\vartheta)$	$y, (\vartheta)$	$x, (\vartheta)$	$y, (\vartheta)$
1.0	0.20	16.00	2.35
2.0	0.39	17.00	2.44
3.0	0.57	18.00	2.52
4.0	0.75	19.00	2.60
5.0	0.92	20.00	2.67
6.0	1.08	21.00	2.73
7.0	1.24	22.00	2.79
8.0	1.39	23.00	2.84
9.0	1.53	24.00	2.88
10.0	1.67	25.00	2.92
11.0	1.80	26.00	2.95
12.0	1.92	27.00	2.97
13.0	2.04	28.00	2.99
14.0	2.15	29.00	3.00
15.0	2.25	30.00	3.00

ცხრილი #2. ლითონის თაღის გეომეტრული პარამეტრების მნიშვნელობა

2.3 პნევმოკარკასული გარსის გეომეტრიული პარამეტრების დადგენა

პნევმოკარკასული ანუ ჰაერზიდული სამშენებლო პნევმატიკურ კონსტრუქცია შედგენილია მსუბუქი გარსისაგან და მისი ამტანუნარიანობა უზრუნველყოფილია წინასწარი დამაბვით, რომელსაც ქმნის ჰაერის წნევა ცალკეული ელემენტის ჩაკეტილ სივრცეში. ჰაერზიდული კონსტრუქციები არსებობენ როგორც ღეროების - კოჭები, სვეტები, თალები, ჩარჩოები და სხვ., ასევე ფილების სახით - კამარა, გუმბათი და ა.შ.

პნევმატიკური ღეროები თავის მხრივ წარმოადგენენ ხაზობრივ ელემენტებს, შეკრულს რულონური მასალით ან მთლიანნაჭრიანი სახელოსგან. სწორი ღეროები გამოიყენებიან კოჭებად ან საყრდენი სვეტების დანიშნულებით, მრუდხაზოვანები როგორც თალები, ხოლო ტეხილი ღეროები – ჩარჩოების სახით.

სადოქტორო დისერტაციაში წარმოდგენილი ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე პნევმატიკური გარსის ფორმად მიღებულია თაღოვანი მოხაზულობა.

პნევმატიკური თალები არიან ორი სახის – დაბალი და მაღალი წნევით. თალები დაბალი წნევით (40-100 კპა) შესრულებულია მოკლე ცილინდრული გარსების ნაკრების სახით, რომელებიც შეკრულნი არიან ჰაერზიდულ გარსებში გამოყენებულ რულონური მასალით. თაღის განივკვეთის რეკომინდებული დიამეტრი მიიღება სიმრუდის რადიუსის $\frac{1}{6} \dots \frac{1}{10}$ ფარგლებში. მაღალი წნევის თალები (700 კპა-მდე) მზადდება დარეზინებული ან ჩატანებულ კამერიანი მთლიანნაჭრიანი სახელოსაგან, მათი პნევმოთაღებად გარდაქმნა ხორციელდება ჰაერით არასრულად დაბერილი სწორი ღეროს

ბოლოების ერთმანეთთან მიტანით. თალი ამ შემთხვევაში იღებს ელასტიკის ფორმას – ხაზისას, რომლის სიმრუდე ბოლოდან შუაგულისაკენ იზრდება:

$$y'' + a^2 f = a^2 y \quad (10)$$

$$\text{სადაც } a^2 = \frac{N}{EI}$$

N - თალის ბოლოების მომჭიმავი ძალის სიდიდე;

f - აწეულობის ისარი.

მაღალი წნევის თაღების დიამეტრები მერყეობს თალის სირუდის რადიუსის $\frac{1}{25} \dots \frac{1}{35}$ ფარგლებში.

პნევმატიკური თაღები ძირითადად კამაროვან ან გუმბათოვანი ტენტური გადახურვების სივრცითი კარკასის მზიდ ელემენტებად გამოიყენება. პნევმოკარკასული კონსტრუქციებით გადახურულ ნაგებობაში შენარჩუნებულია ჰაერის ნორმალური წნევა, რაც ასეთი კონსტრუქციის დადებითი და უპირატესი თვისებაა ჰაერზე დაყრდნობილ კონსტრუქციებთან შედარებით [6, 7, 33, 34].

საკვლევი კონსტრუქციის თავისებურებიდან გამომდინარე პნევმატიკური გარსის ფორმა ემთხვევა ხისტი ელემენტებისგან შედგენილი თალის ფორმას და შესაბამისად მისი გეომეტრიული პარამეტრებიც მორგებულია ხისტი ელემენტების პარამეტრებს, კერძოდ: პნევმატიკური თალის მალის სიდიდედ მიღებულია $l = 60.0$ მ; აწეულობის ისარი $f = 3.0$ მ; გარსის სიმაღლე ანუ ქვედა და ზედა ზედაპირს შორის მანძილი $h = 0.95$ მ; გარსის სიგანე $b = 1.90$ მ.

2.4 პნევმოკარკასული გარსის გაანგარიშების საკითხები

ნებისმიერი სახის პნევმატიკური კონსტრუქციების გაანგარიშების მიზანია გარსის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა. გარსი ჰაერის შიგა ჭარბი წნევისა და გარე დატვირთვების მოქმედების შედეგად ყოველთვის უნდა იმყოფებოდეს წონასწორობაში. პნევმატიკური კონსტრუქციების დაპროექტება მოიცავს შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტას: ოპტიმალური ფორმის შერჩევას; ძალოვანი ზემოქმედების სიდიდის და ხასიათის განსაზღვრას; მასალის შერჩევას; გადადგილებების და დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრას.

პნევმატიკური კონსტრუქციები ზოგადად მიეკუთვნებიან წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციათა კლასს, რომელთა ფორმა და მზიდუნარიანობა უზრუნველყოფილია გარსში ჰაერის ჭარბი წნევით გამოწვეული მუდმივად მოქმედი გამჭიმავი ძალებით. შესაბამისად მათთვის ყველაზე დამახასიათებელი სიდიდეა ჰაერის შიდა ჭარბი წნევა, რომლის სიდიდე ისეთი უნდა იყოს, რომ გარსში აღძრულმა გამჭიმავმა ძალებმა ჩააქრონ გარე დატვირთვებისგან გამოწვეული მკუმშავი ძალები.

ჰაერის ჭარბი წნევა განისაზღვრება შემდეგი პირობით:

$$P \leq \sum P \quad (11)$$

სადაც $\sum P$ არის მოქმედი ძალების (თოვლის წონა, ქარი, საკუთარი წონა) ჯამი ყველაზე არახელსაყრელი კომბინაციით.

ერთი შეხედვით პნევმატიკური კონსტრუქციები გარეგნულად მცირედ განსხვავდებიან ტრადიციული ხისტი მასალებისგან დამზადებული გარსებისაგან, თუმცა პნევმატიკური კონსტრუქციების ანგარიში მოიცავს ისეთ

მნიშვნელოვან საკვანძო მომენტებს, რომლებიც რეალურად განასხვავებენ ასეთ გარსებს ხისტი ნაგებობებისგან.

არსებობს პნევმოკარკასული კონსტრუქციების გაანგარიშების სამი სხვადასხვა მეთოდი [35, 36, 37, 38].

პირველი მათგანი დაფუძნებულია გარსების უმომენტო თეორიაზე, რადგანაც გარსის თხელ და მოქნილ ქსოვილს არ შეუძლია წინააღმდეგობა გაუწიოს მღუნავი და მკუმშავი ძალების მოქმედებას - გარსი არ განიცდის დეფორმაციებს, შესაძლებელია გარსი დაიყოს მარტივი გეომეტრიული ფორმის უბნებად, სადაც უგულველყოფილია ძაბვების და დეფორმაციების ერთობლივი მოქმედება. ეს მიდგომა ცნობილია როგორც „ელემენტარული თეორია“ და იძლევა ანგარიშის მზა ფორმულებს, თუმცა ვერ უზრუნველყოფს შედეგების საჭირო სიზუსტეს და განიხილება როგორც ვარიანტული დაპროექტების პირველი მიახლოება.

მეორე მეთოდი დაფუძნებულია გარსთა კლასიკურ თეორიაზე - იწერება წონასწორობის განტოლება გარსის შიგა ჭარბი წნევისა და გარე ძალების ერთობლივი მოქმედების შემთხვევისათვის, რომელშიც გათვალისწინებულია მასალის დრეკადი თვისებები და მისი ანიზოტროპულობა. ამ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში საჭიროა მრავალუცნობიანი არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა, რაც დაკავშირებულია საკმაოდ დიდ მათემატიკურ სირთულეებთან, ამიტომ პროექტირების პრაქტიკაში ძირითადად მიღებულია რამდენიმე კერძო შემთხვევის განიხილვა და მათი განზოგადება.

მესამე მეთოდი იყენებს გაანგარიშების რიცხვით მეთოდებს, კერძოდ სასრული ელემენტების მეთოდს, რომელიც მიიჩნევა უფრო თანამედროვე და დახვეწილ მიდგომად. ამ მეთოდით გარსის ზედაპირი იყოფა სასრული ზომის ელემენტებად და კონტინიალური ამოცანები იცვლება დისკრეტულით.

საანგარიშო დატვირთვის მოდების შემთხვევაში ელემენტების ურთიერთქმედება აღიწერება მატრიცული სახით კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით და ამოცანა წყდება თანდათანობითი მიახლოების გზით ელექტრო გამომთვლელ მანქანაზე.

პნევმატიკური კონსტრუქციები იანგარიშება ორ ზღვრულ მდგომარეობაზე:

1. მზიდუნარიანობაზე (სიმტკიცე, მდგრადობა);
2. დეფორმაციებზე (ჩალუნვები, ნაოჭების წარმოქმნა და დადებითი მრუდის შენარჩუნება).

სიმტკიცეზე ანგარიში წარმოებს პნევმატიკური კონსტრუქციის ყველანარი ტიპისათვის და დაფუძნებულია მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვის განსაზღვრაზე ქსოვილში საანგარიშო დატვირთვების ყველზე არახელსაყრელ შეხამებით.

ქსოვილების გაანგარიშება ხდება ორი მიმართულებით - ფუძეზე (R_1 საანგარიშო წინაღობით) და მისაქსელზე (R_2 საანგარიშო წინაღობით) $R_1 > R_2$

სიმტკიცეზე ანგარიშისას საჭიროა შესრულდეს პირობა

$$\sigma < R \quad (12)$$

მდგრადობაზე ანგარიში საჭიროა ჩატარდეს იმ პნევმატიკური კონსტრუქციებისათვის, რომლებშიც მოსალოდნელია გარსის დარღვევამდე მდგრადობის დაკარგვა.

ჩალუნვებზე ანგარიში წარმოებს შემდეგი პირობით:

$$f < [f] \quad (13)$$

ამ პირობით განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვებისგან გამოწვეული მაქსიმალური f ჩალუნვა, რომელიც ნაკლები უნდა იყოს ზღვრულზე $[f]$.

დასაშვები ანუ ზღვრული ჩაღუნვის სიდიდეები ჯერ კიდევ ნორმირებული არ არის და მიიღება ექსპლუატაციის პირობებიდან გამოდინარე. იმის გათვალისწინებით, რომ პნევმატიკური გარსის დეფორმაცია არ წარმოადგენს მის რღვევის სახეს, ამიტომ ზღვრული მნიშვნელობები შეიძლება მივიღოთ მნიშვნელოვნად მეტი სიდიდის, ვიდრე ეს ჩვეულებრივ სამშენებლო კონსტრუქციებშია. ამ დროს მთავარია გათვალისწინებული იქნას ის გარემოება, რომ დეფორმაციებმა ხელი არ შეუშალონ საპროექტო შენობის ნორმალურ ექსპლუატაციას.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული პნევმოკარკასული კონსტრუქციების ანგარიშის წარმოებს მიახლოებითი მეთოდებით. ძირითადად მიღებულია შემდეგი სასაზღვრო პირობები:

გარსის მასალის სიმტკიცე ფუმესთან (ან განივ ნაკერებზე):

$$n_1^P + n_1^M + n_1^N < R_1 \text{ (ან } R_1^{\bar{}}) \quad (14)$$

ნაოჭების არგაჩენის პირობა

$$n_1^P - n_1^M - n_1^N > 0 \quad (15)$$

გარსის მასალის სიმტკიცე მისაქსელზე (ან გრძივ ნაკერებზე)

$$n_2^P < R_2 \text{ (ან } R_2^{\bar{}}) \quad (16)$$

სადაც $n_1^P = \frac{PA}{F}$ არის გარსის დაძაბულობა ჰაერის შიდა P წნევისგან გამოწვეული გრძივი (მერიდიანული) მიმართულებით, (ნ/მ);

A და F ფართობებია შესაბამისად „საჰაერო“ და მასალის კვეთისა პანელის ან ღეროსი;

$n_2^P = \frac{P \cdot r}{2}$ - იგივე, მხოლოდ განივი (წრიული) მიმართულებით, ნ/მ;

r - ღეროს განივი კვეთის რადიუსია;

$n_1^M = \pm \frac{M}{W}$ გრძივი დაძაბულობაა გარსის მღუნავი მომენტის მოქმედებით გამოწვეული, ნ/მ;

W - ღეროს ან ფილის წინაღობის მომენტი;

$n_1^N = \pm \frac{N}{F}$ - იგივე, N ძალის მოქმედებით გამოწვეული, ნ/მ;

R_1, R_2 გარსის მასალის საანგარშო წინაღობაა შესაბამისად ფუძეზე და მისაქსელზე, ნ/მ;

$R_1^{\bar{}}, R_2^{\bar{}}$ გარსის ნაკერების საანგარიშო წინაღობებია გრძივი და წრიული მიმართულებით, ნ/მ.

კოჭის და ორთოტროპული ფილებისა გამოყენებითი ანგარიშში, სადაც გრძივი N ძალები უგულვებელყოფილია, ფორმულებს აქვთ შემდეგი სახე:

გარსის სიმტკიცის პირობა გრძივი მიმართულებით:

$$\frac{P \cdot A}{F} + \frac{M}{W} < R_1 \quad (17)$$

იგივე, განივი მიმართულებით:

$$P \cdot r < R_2 \quad (18)$$

ნაოჭებისა და ნაკეცების არგაჩენის პირობა:

$$\frac{P \cdot A}{F} - \frac{M}{W} > 0 \quad (19)$$

გარსში ჰაერის მინიმალური წნევა:

$$P_{min} = \frac{M \cdot F}{A \cdot W} \quad (20)$$

ზღვრული მღუნავი მომენტი:

$$M_{lim} = \frac{P \cdot A \cdot W \cdot \chi}{F} \quad (21)$$

აქ χ კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს პნევმოლეროების თვისებას დატვირთვის წინააღმდეგობისადმი ნაოჭების გაჩენის შემდეგ, ე.ი. წინარე კრიტიკულ სტადიას.

2.4 მასალები პნევმოკარკასული გარსისათვის

პნევმატიკური სამშენებლო კონსტრუქციების მასალებად გამოიყენება რბილი ქსოვილური მასალები და ფირები. ძირითადი მოთხოვნა რაც ამ მასალებს წაეყენებათ არის სიმტკიცე, ელასტიკურობა, სიმსუბუქე, ხანმედეგობა, ჰაერ- და ტენგაუმტარობა. ფირი მიუხედავად იმისა რომ გაცილებით იაფია ქსოვილზე, ნაკლებად გამოიყენება დიდი დეფრომადობის და შედარებით მცირე საექსპლუატაციო ხანმედეგობის გამო. მზიდ და კონსტრუქციებისათვის რომლებიც განკუთვნილი არიან ხანგრძლივი საექსპლუატაციო პერიოდისათვის რეკომენდებულია მხოლოდ ქსოვილის გამოყენება.

ქსოვილური მასალები მზადდება ბუნებრივი (ბამბა, სელი, ქერელი), ხელოვნური (ვისკოზა, მინაბოჭკო) ან სინთეზური ბოჭკოებისაგან. სინთეზური ბოჭკოები თავიანთი მექანიკური და ფიზიკური თვისებებიდან გამოდინარე ყველაზე ფართოდ გამოყენებადი მასალებია. არსებობს მათი რამდენიმე კატეგორია: პოლიამიდური - კაპრონი, ნეილონი, პეროლინი, სილონი, სტილონი; პოლიეთერული - ლავსანი, დაკრონი, გრიზუტენი, დიოლენი, ტრევირა, ტეტერონი; პოლიაკრილნიტრინული - ნიტრონი, ორდონი, დრალონი; პოლივინილსპირტული - ვინოლი, ვინილონი და სხვ.

ქსოვილების ჰაერ- და ტენგაუმტარობის უზრუნველსაყოფად ზედაპირს ფარავენ სინთეზური კაუჩუკით ან ჟდინთავენ პოლივინილქლორიდული ფისებით, ფისებით გაჟღენთვა ხდება ქსოვილის როგორც ერთი, ასევე მეორე მხრიდან.

ქსოვილი თავისი აგებულობით შეიძლება იყოს ერთშრიანი ან დუბლირებული. ერთშრიან ქსოვილში საფუძვლის მიმართულება ემთხვევა რულონის მიმართულებას, ხოლო მისაქსელები ძირითადის მართობულია.

დუბლირებულ ქსოვილში შეიძლება იყოს ორი ან რამდენიმე ფენა, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდებიან გამჟღენთი ნივთიერებებით. დუბლირებული ქსოვილის სიმტკიცე და ხანგამძლეობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე ერთშირიანის.

დღეისათვის პნევმატიკური კონსტრუქციების მასალებად ძირითადად გამოიყენება პოლივინილქლორიდით დაფარული ქსოვილები, ფართო გამოყენება აქვს აგრეთვე ნეილონსა და პოლიტეტრაფტორეთილენით დაფარულ მინის ქსოვილს. ცალკე აღსანიშნავია ტეფლონით დაფარული მინაქსოვილი - „შირფილი“, რომელიც სპეციალურად იქნა დამუშავებული დიდმალიანი გადახურვებისათვის. ტეფლონისა და მინაბოჭკოს კომპოზიციური შეერთებით მიღებულ ამ მასალას გააჩნია მაღალი სიმტკიცე, ამაღლებული ცეცხლ- და ხანმედეგობა. ასეთი თვისებების გამო ის თითქმის იდეალურ მასალად მიიჩნევა დიდმალიანი პნევმატიკური კონსტრუქციებისათვის.

ტეფლონურ სახურავს ქსოვილურ საფუძველთან შეერთების შემდეგ აქვს მოყვითალო-მოვარდისფრო ფერი. თუმცა თვითონ ტეფლონი გამჭვირვალე ღია ფერის მასალაა და მზის სხივების ხანმოკლე მოქმედების შემდეგ მისი გაუფერულება, რის გამოც სახურავის მასალა დებულობს მეტად სასიამოვნო ლამაზ მკრტალ ფერს. ტეფლონი ქიმიური და სამრეწველო დამაბინძურებელი ნივთიერებების მიმართ ინერტულია, ის მუდმივად რცება სუფთა და თეთრი ფერის, მტვერი და ჭუჭყი, რომელიც შეიძლება მის ზედაპირზე დაგროვდეს, ადვილად ირეცხება წვიმის დროს და პრაქტიკულად სახურავი ყოველგვარი დამატებითი ხარჯის გარეშე, ბუნებრივად, წლის ნებისმიერ დროს გამოიყურება მიმზიდველად. ამას გარდა, „შირფილს“ აქვს უნარი აირეკლოს მზის ენერჯის 70% სინათლის აბსილუტური გამტარობის პირობებში, რაც საშუალებას იძლევა ზაფხულის პერიოდში შენობაში შენარჩუნებული იქნას ნორმალური ტემპერატურა. ეს საკითხი

განსაკუთრებით აქტუალურია სპორტული მოედნების და სტადიონების გადახურვებში, სადაც მწვავედ დგას გაგრილების პრობლემა. აღსანიშნავია აგრეთვე მასალის ოპტიკური თვისებაც - მასში მზის სხივების გარდატეხა და გაბნევა ხდება თანაბრად, ანუ გარსის შიგა შუქის სპექტრი უახლოვდება დღის შუქის სპექტრს, რაც თავის მხრივ იძლევა ელექტროენერჯის დიდ ეკონომიას.

რბილი გარსების ქსოვილების საანგარიშო წინააღმდეგობის განსაზღვრისათვის მხედველობაში მიიღება მასალის რეოლოგიური პროცესებით გამოწვეული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ისეთი ცვლილებები როგორებიცაა დაძველება, ცოცვალობა და დაღლილობა.

დაძველებას იწვევს სითბოს, ტენის, ოზონის და დღის სინათლის სპექტრის ულტრაიისფერი გამოსხივების ერთობლივი მოქმედება. დაძველება მით უფრო ინტენსიურია, რაც უფრო მეტია სახურავის ქსოვილის შუქგამტარობა. არსებული პრაქტიკით შუქგამტარ სახურავებში ექსპლუატაციის ვადად მიღებულია 6-8 წელი, ხოლო შუქგაუმტარში - 15-17 წელი.

ცოცვალობა წარმოადგენს დეფორმაციის ნელ ზრდას ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვის მოქმედებისას. იგი გამოიხატება სიმტკიცის დაკარგვაში და ფასდება ხანგრძლივი წინააღმდეგობის კოეფიციენტით $K_{ბანგ}$. სიმტკიცის კარგვის პროცესი ემორჩილება შემდეგ ლოგარითმულ წესს:

$$K_{ბანგ} = \frac{R_T}{R} = a + b \cdot t g T \quad (22)$$

სადაც R_T არის სიმტკიცე T -ურ დღეს;

R ხანმოკლე სიმტკიცე;

a და b ემპირული კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია ქსოვილის საფუძველის სახეობაზე;

დადლილობა, როგორც მოვლენა, დამოკიდებულია მასალაში გამჭიმავი ძალვის მრავალგზის ცვლილებასთან (გაზრდა-შემცირება) და დღეისათვის ნაკლებად არის შესწავლილი. შესაბამისად, მისი რაოდენობრივი შეფასებისათვის სანდო და მითუმეტეს ნორმირებული მონაცემები არ არსებობს.

ქსოვილების საანგარიშო წინალობის მნიშვნელობა მიიღება მისი ნორმატიული წინალობის R^b სიდიდის გამრავლებით ერთგვაროვნების კოეფიციენტზე $K_{ერთგ.}$, რომელიც წარმოადგენს სამშენებლო კონსტრუქციის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის სისტემის ერთ-ერთ პარამეტრს. მისი მნიშვნელობა შემოტანილი იქნა კონსტრუქციის ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშებისათვის. საანგარიშო მნიშვნელობის დასადგენად აგრეთვე ითვალისწინებენ დატვირთვის ხანგრძლივ მოქმედებასა და მასალის მუშაობის პირობებს. საბოლოოდ საანგარიშო წინალობის R^d გამოსათვლელ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$R^d = R^b \cdot K_{ერთგ.} \cdot K_b \quad (23)$$

სადაც $K_b = 0,7$ არის ხანგრძლივი სიმტკიცის კოეფიციენტი

მასალის ერთგვაროვნების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$K_{ერთგ.} = 1 - 3\nu \quad (24)$$

სადაც ν არის ვარიაციის კოეფიციენტი და კონსტრუქციული პოლიმერული მასალებისათვის მიიღება $\nu = 0.6 \div 0.8$.

ქსოვილის ნიმუშების რღვევა მუდმივი, ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვების ქვეშ წარმოებს გაცილებით მცირე ძაბვების დროს, ვიდრე ხანმოკლე გამოცდების შემთხვევაში. შესაბამისად, მასალის ხანმოკლე (დროებითი) სიმტკიცე არ შეიძლება გამოდგეს კონსტრუქციის საიმედოობის და ხანმედევობის კრიტერიუმად. ამისათვის შემოღებულია ქსოვილის

ხანგრძლივი სიმტკიცე, რომელიც დამოკიდებულია მისი საფუძვლის ბოჭკოს სახეობაზე და ფასდება ხანგრძლივი სიმტკიცის კოეფიციენტით.

შემოთავაზებული კონსტრუქციების პნევმატიკური გარსის მასალად აღებულია „შირფილი I“ რომლის ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილ #3-ში:

მასა, ტ/მ ³	1.53
სისქე, მმ	0.97
სიმტკიცე გაჭიმვაზე, ტ/მ: საფუძვლის მიმართულებით	14.3
საფუძვლის მართობულად	12.5
სიმტკიცე ღუნვაზე ტ/მ საფუძვლის მიმართულებით	12.5
საფუძვლის მართობულად	10.7
სიმტკიცე გაგლეჯაზე, ტ: საფუძვლის მიმართულებით	0.027
საფუძვლის მართობულად	0.036
სიმტკიცე გაგლეჯაზე ორღერძა დატვირთვის შემთხვევაში, ტ:	0.014

ცხრილი #3. „შირფილი I“-ის ტექნიკური მახასიათებლები

2.6 საიმედოობის თეორიის გამოყენება ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშებაში - ექსპლუატაციის ვადის განსაზღვრა

რეალური სისტემა და მისი ექსპლუატაციის პირობები ხშირ შემთხვევაში განსხვავებულია იმ იდეალიზირებული სისტემების და პირობებისგან, რომელიც პროექტირების სტადიაზე მიიღება. როგორც წესი, კონსტრუქციების ანგარიშის ტრადიციული დეტერმინებული მიდგომა შედგება ორი ეტაპისაგან:

1. კონსტრუქციებში გამოითვლება გარე დატვირთვების მოქმედების შედეგად გამოიწვეული ძაბვა, დეფორმაცია და გადაადგილებები. ეს ამოცანა წყდება სამშენებლო მექანიკის მეთოდების, დრეკადობის და პლასტიკურობის თეორიის გამოყენებით;

2. გამოთვლილი სიდიდეები დარდება ნორმატიულ დასაშვებ მნიშვნელობებს, რითაც წყდება კონსტრუქციის საიმედოობის, ხანგამძლეობის და ეკონომიურობის ამოცანები.

ზემოთ მოყვანილი გაანგარიშებების მეთოდის დროს კონსტრუქციის ელემენტების ფაქტიური ძაბვები, დეფორმაციები და გადაადგილებები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს გარე ზემოქმედების შემთხვევითი ხასიათის გამო. ამიტომ კონსტრუქციის საიმედოობის განისაზღვრისათვის საჭირო ხდება მათემატიკური და ალბათობის სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება.

კონსტრუქციის საიმედოობა გამომდინარეობს სისტემის დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის პირობებიდან მოიცავს შემდეგ თვისებებს:

1) შეუფერხებლობა - მტყუნების გამორიცხვა; 2) ხანგამძლეობა; 3) რემონტის შესაძლებლობა; 4) დაცულობა, შენახულობა.

ალბათური თეორიის მიხედვით ნაგებობა ან მისი ელემენტი შეიძლება იმყოფებოდეს მხოლოდ ორ მდგომარეობაში: V - მტყუნება; \bar{V} - შეუფერხებელი მუშაობა. ორივე მდგომარეობით შეიძლება შედარდეს ალბათობა.

მტყუნების ალბათობა ანუ წყობიდან გამოსვლის ალბათობა $P_f = P(V)$ არის განსახილველ დროში კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის მიღწევის ალბათობა და ამგვარად წარმოადგენს მტყუნების მდგომარეობის V დადგომას. შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა ანუ გაძლების, გადარჩენის ალბათობა $P_s = P(\bar{V})$ არის კონსტრუქციის უნარი T დროის მანძილზე არ გამოვიდეს ზღვრული მდგომარეობის საზღვრებიდან.

ამრიგად, P_f და P_s მიეკუთვნება განსაზღვრული დროის მონაკვეთს, ხშირ შემთხვევებში იგი ნაგებობის ექსპლუატაციის პერიოდით განისაზღვრება.

\bar{V} მდგომარეობა აქვს V მდგომარეობის საწინააღმდეგო მნიშვნელობა:

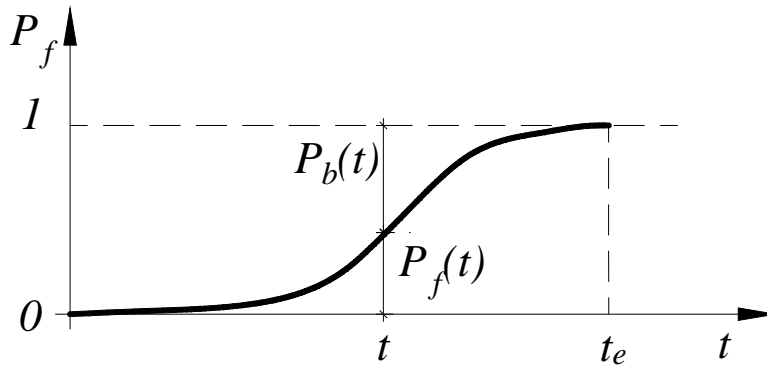
$$P_f + P_s = 1 \quad (25)$$

ჩვეულებრივ, მშენებლობაში განიხილება მტყუნების ალბათობა და არა შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა. ეს მიდგომა რიცხვითი შეფასებების დროს წარმოადგენს უპირატეს მიდგომას.

მტყუნების ალბათობა წარმოადგენს t დროის ფუნქციას, ეს სრულიად ბუნებრივია, თუკი გავიხსენებთ დატვირთვისა და ზემოქმედების დამოკიდებულებას, აგრეთვე დროში მასალის ცვლილების თვისებებს - რაც უფრო დიდია დროის პერიოდი, მით მეტია მტყუნების ალბათობა და შესაბამისად მეტია ამ მტყუნების დადგომის ალბათობა. ამრიგად, P_f წარმოადგენს დროში მონოტურად ზრდად ფუნქციას:

$$P_f(t_1) \leq P_f(t_2) \quad (26)$$

აქ $t_1 < t_2$



ნახ. 17 მტყუნების დროში ცვლილების გრაფიკული გამოსახულება

თუკი ნაგებობა თავისი არსებობის დასაწყისში $t = 0$ იმყოფება შეუფერხებელი მუშაობის მდგომარეობაში, მაშინ ადგილი აქვს ორ სასაზღვრო მნიშვნელობას:

$$P_f(0) = 0; \quad (27)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_f(t) = 1; \quad (28)$$

დამატებით ინიშნება საიმედოობის ფუნქცია:

$$L(t) = 1 - P_f(t) = P_s(t); \quad (29)$$

(29) განტოლება გულისხმობს ნაგებობის არსებობის ალბათობას t დროის განმავლობაში.

დრო იზომება დროის ერთეულებით (მაგ. თვე, წელი) ან დატვირთვის ციკლების რაოდენობით. მეორე ვარიანტი ძირითადად დაღლილობაზე ანგარშისას გამოიყენება.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარეობს, რომ საიმედოობის თეორია ყოველთვის ითვალისწინებს დროისგან გამოწვეულ მტყუნების ალბათობას. მხოლოდ განსაკუთრებულ სუფთა თეორიული მნიშვნელობის შემთხვევებში,

როდესაც გარე დატვირთვა და შიდა წინაღობა დროში არა ცვალებადია, შეიძლება ამ ალბათობის უგულველყოფა.

რეალური სამშენებლო კონსტრუქციები შესრულებულნი არიან ისეთი მასალებისგან, რომელთა თვისებები დამოკიდებულია დროზე. ყველა მასალა განიცდის დაძველებას, დაღლილობას, სიმტკიცის დაკარგვას, კოროზიას და დროზე დამოკიდებულ სხვა ისეთი სახის პროცესებს, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან მასალის მზდუნარიანობის შეცვლასთან. ხშირ შემთხვევაში ეს ცვლილებები მასალის გაუარესებისკენაა და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ მტყუნების ალბათობაზე.

თუკი საიმედოობის საზომად აღებული იქნება მტყუნების ალბათობა, მაშინ შესაბამისი ფუნქცია, რომელიც გაივლის ყველა მნიშვნელობას 0-დან 1-მდე, შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც დამატებით დანიშნული იქნება შესაბამისი დროის პერიოდი. ბუნებრივია, დროის პერიოდად ნაგებობის ექსპლუატაციის ვადა აიღება. თუმცა არსებობს ამ პერიოდის განსაზღვრის სხვა მიდგომაც - ექსპლუატაციის ვადა სხვადასხვა სახის შენობისათვის განსხვავებულია და ტექნიკური პროგრესის დღევანდელი ტემპების გათვალისწინებით რთული განსასაზღვრია. ამიტომ საიმედოობის თეორიაში გაჩნდა აზრი მტყუნების ალბათობის შესაფასებლად დროის პერიოდად აღებული იქნას ერთი წელი. ამ წინადადების უპირატესობა ბევრი ამოცანისათვის საეჭვოა, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, სადაც მასალის გამძლეობის უნარი დროზეა დამოკიდებული - დაღლილობის და დაძველების პროცესები განსაკუთრებულ როლს თამაშობენ შენობის ექსპლუატაციის ბოლო პერიოდში და მხოლოდ პირველი წელს განხილვას მცდარ შედეგებამდე მივყავართ. ამრიგად, შეიძლება საბოლოოდ ითქვას, რომ დროის მხოლოდ ერთი მონაკეთის არჩევა არ შეიძლება და ეს არჩევანი დამოკიდებულია განსახილველი ამოცანის ხასიათზე.

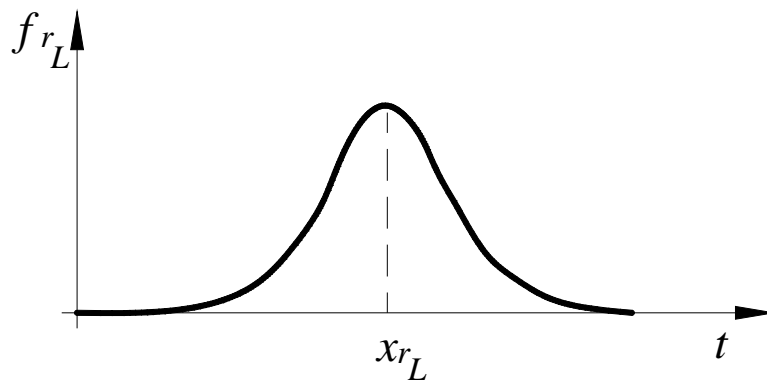
შენობის არსებობის ვადად T_L იგულისხმება დრო მისი ექსპლუატაციის დასაწყისიდან მტყუნების დადგომამდე. იგი შემთხვევითი სიდიდეა და საშუალო მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$E[T_L] = m_{T_L} = \int_0^{t_e} t f_{r_L}(t) dt = \int_0^{t_e} t dF_{r_L}(t) \quad (30)$$

სადაც $F_{r_L}(t)$ განაწილების ფუნქციაა და ტოლია იმ ალბათობისა, რომ შენობის არსებობის T_L ვადა ნაკლებია ან ტოლია t დროს:

$$F_{r_L}(t) = P(T_L \leq t) = P_f(t) \quad (31)$$

(31) ფორმულის გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია ნახ. 18-ზე.



ნახ. 18 მტყუნების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

(30) ფორმულა მათემატიკურ თეორიაში ცნობილია როგორც განაწილების კანონის კლასიკური გამოსახულება. განაწილების კანონი ეს არის მათემატიკური გამოსახულება, რომელიც აკავშირებს შემთხვევითი სიდიდის რიცხვით მნიშვნელობას მისი რეალიზაციის ალბათობასთან. იმის გამო რომ განაწილების კანონის მრუდი შეიძლება იყოს უსასრულოდ დიდი რაოდენობის, ამიტომ ალბათობის თეორიაში შემოტანილია ცალკეული,

კვლევების პრაქტიკაში უფრო ხშირად არსებული შემთხვევების განაწილებები. მათ შორის ყველაზე უფრო გავრცელებულია ნორმალური განაწილების გამოსახულება:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} \quad (32)$$

სადაც \bar{X} მათემატიკური ლოდინია, ანუ x -ის ის მნიშვნელობაა, რომლის მოხდენის ალბათობაც ყველაზე დიდია:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (33)$$

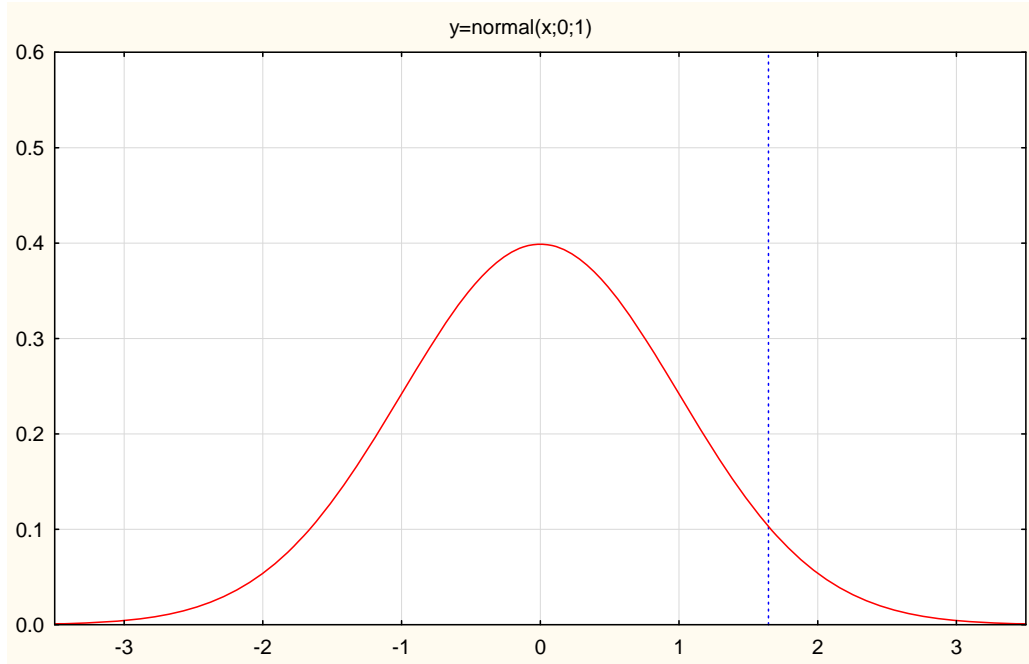
σ - საშუალო კვადრატული გადახრაა, იგი ახასიათებს განაწილების დისპერსიას (იგივე ვარიაციას), ანუ გაფანტულობას. რაც უფრო დიდია მისი მნიშვნელობა, მით უფრო "ბრტყელია" განაწილების სიმკვრივის გრაფიკი (ნახ. 18) და პირიქით:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (34)$$

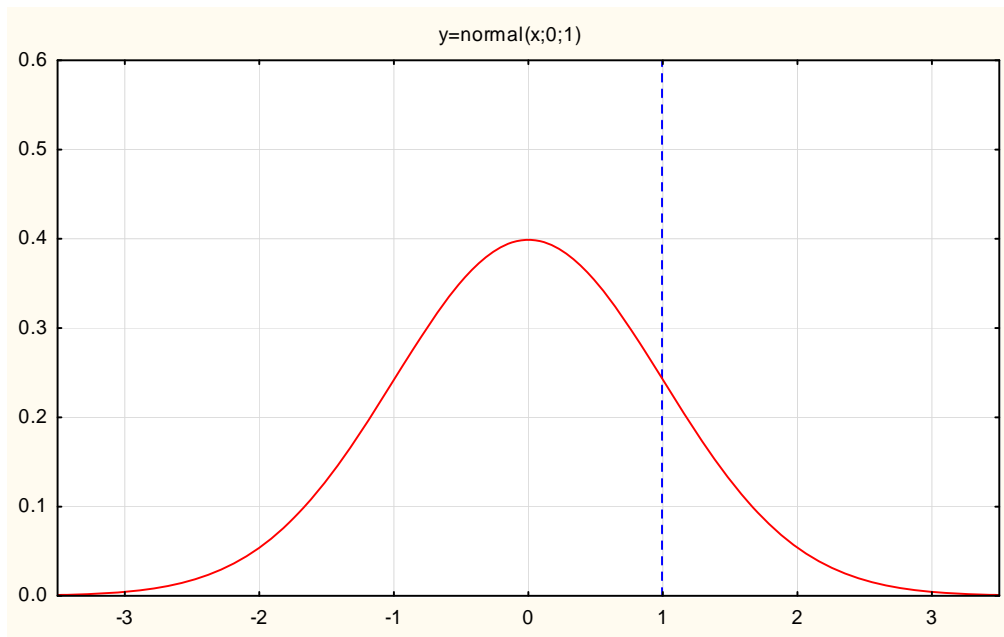
ექსპლუატაციის ვადის დასადგენად გამოყენებულია კომპანია StatSoft-ის საანგარიშო-გამოთვლითი პროგრამა "STATISTICA 12.0", ქვეპროგრამა "Probability Distribution Calculator". ანგარიში ჩატარებულია შენობის არსებობის $t = 100$ (წელი) ვადაზე, $x = 90$ -ე წელზე;

(33) და (34) ფორმულებით დათვლილია მათემატიკური ლოდინის და საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები და მიღებულია რომ $\bar{X} = 0$, $\sigma = 1.0$.

ქვეპროგრამით მიღებული შედეგი ნაჩვენებია ნახ. 19÷20-ზე, შემოთავაზებული კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ვადის საიმედოობაა $x = 90$ წელს საშუალო კვადრატული გადახრის 95%-ით არსებობის შემთხვევაში შეადგენს 1.65 (იხ. ნახ. 19); ხოლო 84%-ის შემთხვევაში - 0.99.



ნახ. 19 ექსპლუატაციის ვადის საიმედოობა $x = 90$ წელს საშუალო კვადრატული გადახრის 95%-ით არსებობის შემთხვევაში



ნახ. 20 ექსპლუატაციის ვადის საიმედოობა $x = 90$ წელს საშუალო კვადრატული გადახრის 84%-ით არსებობის შემთხვევაში

2.7 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების სეისმომდეგობის საკითხები

მშენებლობის დარგში მიმდინარე მნიშვნელოვანი პროგრესული პროცესების მიუხედავად, სეისმური ზემოქმედება ანუ მიწისძვრა ისევ რჩება ბუნების ერთ-ერთ საშიშ სტიქიურ მოვლენად. საქართველოს მთელი ტერიტორია მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში - იგი წარმოადგენს ალპიურ-ჰიმალაის სარტყელის ერთერთ ყველაზე აქტიურ ნაწილს, რომლის ტექტონიკური აგებულება განისაზღვრება ევრაზიული და არაბეთის ფილებს შორის მდებარეობით და ხასიათდება სეისმური აქტიურობის გამოვლინების მაღალი დონით.

საქართველოს ტერიტორიაზე დაფიქსირებულ ტექტონიკურ რღვევებს მოზაიკური სახე აქვს, მიწისძვრების ფოკუსური მექანიზმი ძირითადად ნაწევის ანუ გვერდული ძვრის ბუნებისაა, ხოლო მიწისძვრის კერები განლაგებულია მინიმალური სიღრმით 10-15 კმ, სეისმური საფრთხის ალბათური რუკის მიხედვით კი მიწისძვრა შეიძლება გამოვლინდეს აჩქარებით 0.1g-დან 0.5g-მდე ფარგლებში.

მიწისძვრის სიდიდე ძირითადად განისაზღვრება შემდეგი პარამეტრებით: 1. სიმძლავრე, რომელიც განისაზღვრება სესმიურ ტალღათა ენერგიით, იზომება მაგნიტუდებში, რიხტერის შკალით; 2. ინტენსივობა, რომელიც იზომება ბალებში, ვიზუალური აღქმით; 3. მიწისძვრის კერის სიღრმით, რომელიც იზომება კილომეტრებში.

დედამიწის ზედაპირზე გამოვლენილი ეფექტის მიხედვით მიწისძვრები კლასიფიცირდება მათი ინტენსიურობის მიხედვით ბალებში, ანუ ბალი მიწისძვრის ინტენსიურობაა დედამიწის ზედაპირზე.

მაგნიტუდა მიწისძვრის დროს კერის მიერ გამოყოფილი დეფორმაციის ენერჯის სიდიდეა, იგი პროპორციულია მიწისძვრის ენერჯის ლოგარითმისა:

$$M = \lg A - \lg A_0 = \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (35)$$

$$\lg A_0 = -1.32 \lg \Delta \quad (36)$$

$$M = \lg A + 1.32 \lg \Delta \quad (37)$$

სადაც A_0 და A შესაბამისად მაქსიმალური ამპლიტუდებია ძალზე სუსტი - ნულოვანი და განსახილველი მიწისძვრებისათვის, ეპიცენტრიდან Δ კმ დაშორებით.

სეისმურ რეგიონებში მშენებარე შენობების გაანგარიშება სეისმომედეგობაზე წარმოადგენს პროექტირების ერთერთ უმნიშვნელოვანეს საკითხს. არსებული სამშენებლო კოდეზის მიხედვით კონსტრუქცია მიწისძვრის ზემოქმედების შემთხვევაში უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. კონსტრუქციულმა და არაკონსტრუქციულმა ელემენტებმა დაზიანების გარეშე უნდა გაუძლოს სუსტი მიწისძვრის ზემოქმედებას, რომლის ხდომილება შენობის არსებობის მანძილზე მრავალჯერ არის მოსალოდნელი.

2. გაუძლოს იშვიათ მიწისძვრას, რომელიც შენობის არსებობის მანძილზე მხოლოდ ერთხელ არის მოსალოდნელი, კონსტრუქციული და არაკონსტრუქციული ელემენტების დაზიანებით, მაგრამ სიცოცხლის მნიშვნელოვანი დანაკარგების გარეშე (გამოწვეული დაზიანება შეიძლება ეკონომიკურად არ ექვემდებარებოდეს აღდგენას).

3. გაუძლოს უძლიერეს მოსალოდნელ მიწისძვრას ნგრევის ძალიან დაბალი ალბათობით კონსტრუქციული და არაკონსტრუქციული ელემენტების მნიშვნელოვანი დაზიანებით.

შენობების გაანგარიშება ზოგიერთი ქვეყნის სეისმურად აქტიურ რეგიონებში საშუალო და სუსტი მიწისძვრის ზემოქმედებაზე, რომელთა ხდომილება კონსტრუქციის საექსპლოატაციო ვადაში შედარებით ხშირია, ხდება ტრადიციული ფორმით, რაც შენობის სეისმური რეაქციის ძირითადი ფორმისა და ძალის რედუქციის კოეფიციენტის გამოყენებით გაანგარიშებას გულისხმობს. ძლიერი მიწისძვრის ზემოქმედებისას კონსტრუქცია მნიშვნელოვან არადრეკად დეფორმაციას ღებულობს და მისი დინამიკური მახასიათებლები დროში ცვლილებას განიცდის. ამ თავისებურებების გასათვალისწინებლად კონსტრუქციის სეისმური ქცევის შესწავლა მოითხოვს არაწრფივი გაანგარიშების მეთოდების გამოყენებას, რაც რღვევის ფორმებისა და პროგრესირებადი ნგრევის პოტენციალის საფუძველზე კონსტრუქციის ფაქტიური ქცევის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

სეისმომდეგობაზე დაპროექტების ძირითადი კრიტიკული პარამეტრია დეფორმაცია, რადგან შენობის ქცევა ხასიათდება დაზიანების დონით, ხოლო დაზიანება დაკავშირებულია ელემენტებისა და მთლიანად სისტემის დეფორმაციის ხარისხთან. პირველადი კონსტრუქციული ელემენტებისათვის დაზიანება დაკავშირებულია მიღებული არაწრფივი დეფორმაციის ხარისხთან, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია მათ სიმტკიცეზე. ელემენტებს უნდა ჰქონდეს ადეკვატური სიმტკიცე, რათა გამოირიცხოს დიდი არაწრფივი დეფორმაციები. გარდა ამისა, კონსტრუქციული ელემენტები, რომელთაც დენადობის შემდეგ არა აქვთ დეფორმირების უნარი (მაქსიმალური სიმტკიცის მიღწევის შემდეგ), დაუშვებელია ექვემდებარებოდეს არაწრფივ დეფორმაციებს, ამიტომ ასეთი ელემენტები უნდა შემოწმდეს სიმტკიცეზე. იგივე პრინციპების გამოყენებისას არაკონსტრუქციული ელემენტებისა და სისტემების ინერციული ეფექტებისთვის გასათვალისწინებელია, რომ ისინი ამავე დროს განიცდიან პირველადი კონსტრუქციით განპირობებულ დეფორმაციებს. ამ ელემენტების

ქცევა იმართება კონსტრუქციის მთლიანი დეფორმაციით, რომელთანაც არიან ისინი მიერთებული და მათი კავშირების დეფორმირების უნარით.

დეფორმაცია შეიძლება იყოს 3 ტიპის:

1. მთლიანი შენობის მოძრაობა;
2. შიდა ფარდობითი დეფორმაცია;
3. კონსტრუქციული კომპონენტებისა და ელემენტების არაწრფივი დეფორმაცია.

მთლიანი შენობის მოძრაობა შენობის ქცევის მხოლოდ ხარისხობრივი შეფასების საშუალებას იძლევა, თუმცა შენობის მთლიან დეფორმაციას შეუძლია განაპირობოს ეფექტის მნიშვნელოვანი გავლენა შენობის რეაქციაზე. ფარდობითი გადაადგილებები გამოწვეულია ხისტი ტანის გადაადგილებითა და ძვრის დეფორმაციებით. ხისტი ტანის გადაადგილება დაკავშირებულია შენობის როგორც ერთიანი ტანის “მობრუნებასთან”, რაც ხშირ შემთხვევაში გამოწვეულია ვერტიკალური დეფორმაციით, ხოლო ძვრის დეფორმაცია წარმოადგენს ვერტიკალური სიბრტყის კუთხური დეფორმაციის ზომას.

კონსტრუქციის ქცევის მიხედვით გაანგარიშებისთვის რაოდენობრივი კრიტერიუმების დასადგენად საჭიროა:

1. სპექტრული მოთხოვნა განისაზღვროს გრუნტის ზედაპირისათვის მიღებული განმეორებადობის ინტერვალისთვის;

2. სპექტრული მოთხოვნა წარმოდგენილი იქნეს გრუნტის მოძრაობის ჩანაწერების გამოყენებით;

3. ნაგებობის გლობალური და ლოკალური რეაქციის პროგნოზირება მოხდეს გრუნტის რხევების ჩანაწერების საფუძველზე. გათვალისწინებული იქნეს: შენობის ფუძე-საძირკვლის გავლენა გრუნტის რხევაზე; არაკონსტრუქციული სისტემების, მაგ. როგორცაა შევსების გავლენა

გლობალურ რეაქციაზე; ციკლური დატვირთვის ქვეშ მყოფი ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტების არასრულყოფილი მოდულების გამოყენება; მასალისა და კონსტრუქციის ცვალებადობა.

4. შესაბამისი ქცევის შეფასებისათვის კომპონენტის - ელემენტის არაწრფივობაზე მოთხოვნის გადაყვანა დაზიანების რაოდენობრივ გამოსახულებაში და დაზიანების გლობალური აღწერისათვის კომპონენტების დონეზე შეკრება.

ნაგებობის მრავალდონიანი დაპროექტება სეისმომდევობის მიხედვით მოიცავს შემდეგ საკითხებს:

1. განმეორებადობის ინტერვალის შერჩევას, რომლის მიხედვითაც ერთი ან მეტი ქცევის დონე უნდა დაკმაყოფილდეს;

2. კონსტრუქციის მოსალოდნელი რეაქციის გამოთვლას განმეორებადობის ინტერვალთან დაკავშირებულ მიწისძვრისაგან;

3. ელემენტისა და შენობის დეფორმაციის შეფასებას შერჩეული ქცევის დონეების შესაბამის ზღვრულ სიდიდეებთან მიმართებაში;

4. უნარის მიხედვით გაანგარიშების პრინციპების გამოყენებით კონსტრუქციის ელემენტების სიმტკიცეების შერჩევას არადაამყოლი რღვევის ფორმების განვითარების პრევენციისათვის.

რხევის ინტენსიურობა შეიძლება განისაზღვროს მოცემული დროის პერიოდისათვის ალბათური გადაჭარბების გამოყენებით (როგორც წესი - 50 წელი) ან სპეციფიკური სცენარით, რომელიც შეესაბამება რეგიონში მაქსიმალურ მაგნიტუდიან მიწისძვრას. რეაქციის სპექტრი აიღება 5%-ანი ჩაქრობით (განმეორებადობის პერიოდი - 2475 წელი).

შენობის სეისმურ რეაქციასა და ქცევაზე შეიძლება გავლენა მოახდინოს სამშენებლო მოედნის გრუნტის პირობებმა და დასაძირკვლების ტიპმა ორი

მიზეზის გამო: 1. საველე პირობებში გრუნტის ზედაპირზე ან მის სიღრმეში პროგნოზირებული სეისმური მონაცემების მოდიფიკაციის გამო; 2. “ფუძე-საძირკველი-შენობა” სისტემის დამატებითი მოქნილობისა და ჩაქრობის გამო, რაც გამოიწვევს შენობის პერიოდის გაზრდას და მოთხოვნის მოდიფიკაციას;

გრუნტის სეისმური რხევა ზოგადად განისაზღვრება გრუნტის ზედაპირის სპეციფიკური სეისმური საშიშროების ანალიზის საფუძველზე შენობის ტექტონიკურ რღვევასთან ადგილმდებარეობის, რეგიონული და ლოკალური გეოლოგიური მახასიათებლებისა და შერჩეული მიწისძვრის საშიშროების დონის მიხედვით. გაანგარიშებაში გამოიყენება რეაქციის სპექტრის მომვლები, რომელის მიხედვითაც განისაზღვრება წრფივი სპექტრული აჩქარება სხვადასხვა პერიოდისა და საშიშროების დონისათვის. მაგნიტუდა დიდ გავლენას ახდენს რხევის სიხშირულ შემადგენლობასა და გრუნტის მოძრაობის ხანგრძლივობაზე.

ტალღების გავრცელებასთან დაკავშირებული კვლევები აჩვენებს, რომ მიწისძვრის დროს გრუნტის მოძრაობა ძირითადად რღვევის მიმართულებით ხდება.

მიწისძვრის დროს შენობის თითოეულ მოცულობით ნაწილზე მოქმედებს ინერციის ძალა, რომელიც დამოკიდებულია ამ მოცულობების ინერციულ პარამეტრებზე - მასაზე და სიხისტეზე. ამ ინერციის ძალებს ეწოდება სესმური ძალები ანუ სეისმური დატვირთვები.

მოცემული მიმართულებით k -ურ წერტილში მოქმედი, შენობა-ნაგებობების საკუთარი i -ური რხევის ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა S_{ik} განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_{ik} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot S_{0ik} \quad (38)$$

სადაც K_1 კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის დასაშვებ დაზიანებებს, კონსტრუქციის უნარს განავითაროს

არადრეკადი დეფორმაციები, აგრეთვე სეისმომდეგობის სხვა რეზერვებს;

K_2 - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტას;

K_3 - ნაგებობის მნიშვნელობის კოეფიციენტი;

S_{0ik} - შენობა-ნაგებობების, როგორც დრეკად-დეფორმირებადი სისტემის საკუთარი რხევის i -ური ტონის შესაბამისი სეისმური დატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$S_{0ik} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot k_\psi \cdot k_0 \cdot \eta_{ik} \quad (39)$$

აქ Q_k ნაგებობის მასაა მოდებული k წერტილში, რომელიც განისაზღვრება კონსტრუქციაზე საანგარიშო დატვირთვების გათვალისწინებით;

A - სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც უჩვენებს მოცემული დასახლებული პუნქტისათვის გრუნტის საანგარიშო აჩქარების შეფარდებას თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან;

β_i - დინამიკურობის კოეფიციენტი, რომელიც შეესაბამება ნაგებობის თავისუფალი რხევის i -ურ ტონს;

k_ψ - კოეფიციენტი, რომელიც აიღება ნორმატიული ცხრილიდან;

k_0 - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საძირკვლისქვეშა გრუნტის არაწრფივ დეფორმირებას. გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტი განისაზღვრება სეისმური მიკროდარაიონების შესრულების გარეშე;

η_{ik} - კოეფიციენტი რომელიც დამოკიდებულია კონსტრუქციის დეფორმაციის ფორმაზე მისი თავისუფალი რხევისას i -ური ტონის დროს.

მოყვანილ ფორმულებში მოცემული ყველა კოეფიციენტს აქვს განსაზღვრული ფიზიკური აზრი, მათ შორის A - სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტი ფაქტიურად წარმოადგენს „საიმედოობის“ კოეფიციენტს: $A = 1$ მნიშვნელობის შემთხვევაში სეისმურ დატვირთვის უზრუნველყოფას, ანუ შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობას P_s -ს, ექნება 1-ზე ნაკლები მნიშვნელობა, თუმცა მისი გამოყენება შესაძლებელია მასობრივი მშენებლობის უმეტეს ობიექტებში.

შენობა-ნაგებობის საკუთარი რხევის ფორმების რიცხვისთვის სეისმური ძალებისა და დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრის შემდეგ წარმოებს კონსტრუქციებში აღძრული სეისმური დატვირთვების მოქმედებით გამოწვეული შიდა ძალოვანი ფაქტორების ანგარიში. იანგარიშება განივი და გრძივი ძალები, მღუნავი და გადამბრუნებელი მომენტები, ნორმალური და მხები ძაბვები, რისთვისაც სეისმური დატვირთვების მოქმედების ეფექტები ფორმების მიხედვით ჯამდება საშუალო კვადრატული სახით:

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2} \quad (40)$$

სადაც N_i - განხილულ კვეთში რხევის i -ური ფორმის შესაბამისი სეისმური დატვირთვით გამოწვეული ძაბვის ან ძაღვის მნიშვნელობაა;

n - გაანგარიშებაში გათვალისწინებული ფორმათა რაოდენობა;

2.8 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებზე მომქმედი საანგარიშო დატვირთვების განსაზღვრა

სადოქტორო დისერტაციაში წარმოდგენილია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების გაანგარიშება ელექტრო გამომთვლელ მანქანაზე პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. დღეისათვის არსებობს პერსონალურ კომპიუტერზე კონსტრუქციის გასაანგარიშებელი ტიპური პროგრამები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია გასაანგარიშებელი კონსტრუქციების ისეთი იდეალიზირებული მოდელის შექმნა, რომელიც უახლოვდება კონსტრუქციის ნამდვილ მუშაობას.

ამ მოდელის რეალურ კონსტრუქციასთან მიახლოების ხარისხი დამოკიდებულია ინჟინერ-კონსტრუქტორის კვალიფიკაციაზე და გამოსათვლელი კომპლექსის სიმძლავრეზე.

სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების აღნიშნულ ტიპურ პროგრამებს საფუძვლად უდევს სამშენებლო მექანიკაში გავრცელებული სასრულ ელემენტთა მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: კონტინუალური სისტემა (სისტემა, რომლის თავისუფლების ხარისხი უსასრულო რიცხვია) იცვლება თავისუფლების ხარისხის სასრული რიცხვის მქონე სისტემით, ანუ წარმოებს სისტემის დისკრეტიზაცია ცალკეულ ელემენტებად, რომლებიც შეერთებულნი არიან კვანძებში. იგულისხმება, რომ სასრული ელემენტის მუშაობა ზუსტად ან მიახლოებით ზუსტად შესწავლილია. დისკრეტული სისტემის მუშაობა განიხილება როგორც ცალკეული სასრული ელემენტების ურთიერთქმედება. ამოცანის გადაწყვეტას წარმოადგენს კონტინუალური სისტემის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა დისკრეტული სისტემით.

სადოქტორო დისერტაციაში გამოყენებულია უკრაინის ქალაქ კიევის შპს „ЛИРА софт“-ის პროგრამული უზრუნველყოფა “ПК ЛИРА ვერსია 9.6 (R9)”, რომელიც უზრუნველყოფს შემდეგ საანგარიშო შესაძლებლობებს: დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიშს სტატიკურ და დინამიკურ-სეისმიკა, ქარის პულსაცია, დარტყმა, ჰარმონიული რხევა და სხვ. მოქმედებაზე; ძალვათა საანგარიშო შეხამების არჩევას; ელემენტების უნიფიცირებას; რკინაბეტონის ელემენტებისათვის არმატურის დანიშვნას სიმტკიცისა და ბზარმდეგობის პირობების გათვალისწინებით; ლითონის ელემენტებისათვის ნაგლინი პროფილების არჩევას, შედუღების ნაკერის ანგარიშს და სხვ.

განგარიშებისათვის საჭიროა საწყისი მონაცემები. საწყის მონაცემებად აღებულია კონსტრუქციის შემდეგი პარამეტრები: თალის მალი $l=60.0$ მ, აწეულობის ისარი - $f = 3.0$ მ; კვეთის სიმაღლე $H = 1.0$ მ; ბაგირებს შორის მანძილი $a = 6.0$ მ; ლითონის თაღებს შორის მანძილი (ბიჯი) $B = 2.0$ მ. განგარიშებაში სიხისტეებად შეტანილია ტიპიური კონსტრუქციების განიკვეთები.

საანგარიშო დატვირთვებად შეტანილია შემდეგი სიდიდეები:

პნევმატიკური გარსის საკუთარი წონა – პნევმატიკური გარსის საკუთარი წონა

$$g_g^0 = g_{ესოვ} + g_{ჰაერ} = 1.5 + 1.3 = 2.8 \text{ (კგ/მ}^2\text{)} \quad (41)$$

უმნიშვნელოა და გაწონასწორდება ჰაერის წნევით. სპეციალური ანგარიში მის მოქმედებაზე მხოლოდ გამონაკლის შემთხვევაში წარმოებს. ჩვეულებრივ, საკუთარი წონა თოვლის დატვირთვასთან ჯამდება.

ჰაერის ჭარბი წნევით გამოწვეული დატვირთვა – ჰაერის ჭარბი წნევის სიდიდედ აღებულია ისეთი სიდიდე, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც პნევმატიკური გარსის ნორმალურ ექსპლუატაციას, აგრეთვე კონსტრუქციის

ერთი ნაწილის ტრანსფორმირებას, ანუ გარსში ისეთი P_f წნევა უნდა აღიძრას, რომლის სიდიდეც კონსტრუქციის საკუთარი წონისა $G_{ს.წ.}$ და საგორავებისა და მიმმართველებს შორის აღძრული ხახუნის ძალის P_b ჯამზე მეტი იქნება.

$$P_f > G_{ს.წ.} + P_b \quad (42)$$

კონსტრუქცია გაყოფილია ორ ნაწილად, რომელიც თავის მხრივ შედგენილია ლითონის ხისტი ელემენტებისგან დამზადებული $n_{თ}$ თაღების, n_{β} პნევმატიკური გარსების და n_{β} ბაგირების სისტემების რაოდენობისაგან.

კონსტრუქციის ერთი ნაწილის წონა გამოთვლილია ფორმულით:

$$G_{ს.წ.} = G_{\beta} + G_{თ} + G_{ბაგ} \quad (43)$$

სადაც $G_{\beta} = g_{\beta} \cdot n_{\beta} = 0.88 \cdot 25 = 22.0$ (ტ) - პნევმატიკური გარსის წონაა;

$G_{თ} = g_{თ} \cdot n_{თ} = 1.1 \cdot 25 = 27.5$ (ტ) - ლითონის თაღის წონაა

საგორავების ჩათვლით;

$G_{ბაგ} = g_{\beta} \cdot \ell_{\beta 1} \cdot n_{\beta} = 0.00066 \cdot 60.0 \cdot 18 = 0.71$ (ტ) - ბაგირების წონაა;

აქ $g_{\beta} = 0.88$ ტ ერთი პნევმატიკური გარსის წონაა;

$g_{თ} = 1.1$ ტ - ერთი ლითონის თაღის წონაა;

$g_{ბაგ} = 0.00066$ ტ/მ - ერთი გრძივი მეტრი ბაგირის წონაა;

$n_{\beta} = 25$ - პნევმატიკური გარსების რაოდენობაა;

$n_{თ} = 25$ - ლითონის თაღების რაოდენობაა;

$\ell_{\beta 1} = 60.0$ მ - ბაგირის სიგრძეა;

$n_{\beta} = 18$ - ბაგირების რაოდენობაა.

(43) ფორმულის თანახმად კონსტრუქციის ერთი ნაწილის წონა შეადგენს

$$G_{სწ} = G_g + G_{თ} + G_{ბაგ} = 22.0 + 27.5 + 0.7 = 50.2 \text{ (ტ)}$$

ხახუნის ძალა გამოთვლილია ფორმულით:

$$P_b = \mu \cdot N = 0.1 \cdot 50.2 = 5.0 \text{ (ტ)}$$

აქ $\mu = 0.1$ ხახუნის კოეფიციენტია;

N ზედაპირზე მიმჭერი ძალის რეაქციის ნორმალური მდგენელის მნიშვნელობაა, რომელიც თავის მხრივ გამოითვლილია ფორმულით:

$$N = G_{სწ} \cdot \cos \alpha = 50.2 \cdot \cos 0^0 = 50.2 \text{ (ტ)}$$

$\alpha = 0^0$ - ხახუნის ზედაპირის დახრის კუთხეა ჰორიზონტალთან;

ჭარბი წნევის სიდიდე აღებულია:

$$P_g = 60.0 \text{ (ტ)} > G_{სწ} + P_b = 50.2 + 5.0 = 55.2 \text{ (ტ)}$$

თოვლის დატვირთვა – თოვლის დატვირთვა პნევმატიკურ კონსტრუქციებზე რეალურ პირობებში მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე ეს პროექტირების ნორმებითაა [39] მოცემული. გარსის პრიალა ზედაპირზე თოვლის მრავალდღიანი დაგროვება არ ხდება. პროექტირების პრაქტიკაში მიღებულია რომ თოვლის დატვირთვის ინტენსიურობად მიჩნეულ იქნას ბოლო 10 წლის მანძილზე ერთ დღე-ღამეში მოსული თოვლის მაქსიმალური წონა.

საანგარიშო დატვირთვა 1მ^2 -ის ჰორიზონტალური გადახურვისათვის

$$S = S_0 \cdot \gamma_f \cdot \mu_1 \quad (44)$$

სადაც

$S_0 = 50.0 \text{ კგ/მ}^2$ თოვლის ნორმატიული დატვირთვაა;

$\gamma_f = 1.4$ - საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით;

μ_1 - კოეფიციენტი მიწის ზედაპირიდან თოვლის დატვირთვის გადასატანად დახურვაზე და გამოთვლება შემდეგნაირად:

$\mu_1 = \cos 1.8 \cdot \alpha = \cos 1.8 \cdot 4.38 = \cos 7.884 = 0.99$ აქ $\alpha = 4.38^\circ$ თაღის ჰორიზონტალურ ზედაპირთან დახრის კუთხეა.

თოვლის დატვირთვად აღებულია:

$$S = 50.0 \cdot 1.4 \cdot 0.99 = 69.3 \text{ (კგ/მ}^2\text{)}$$

თოვლის დატვირთვაში გათვალისწინებული პნევმატიკური გარსის საკუთარი წონა:

$$S_1 = S + g_g^0 = 69.3 + 2.8 = 72.1 \text{ (კგ/მ}^2\text{)}$$

სადაც $g_g^0 = 2.8$ კგ/მ² გარსის წონაა 1 მ²-ზე

ქარის დატვირთვა – ქარის დატვირთვა პნევმატიკური გარსებისათვის განსაკუთრებულ დატვირთვას წარმოადგენს. სტატისტიკა ცხადყოფს, რომ ის ხშირად არის გარსის რღვევის უმთავრესი მიზეზი. ავარიულ სიტუაციაში უფრო დიდ საშიშროებას P წნევის არასაკმარისი დონე წარმოადგენს [40, 41].

ქარის დატვირთვის მდგენელის ნორმატიული საშუალო მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\omega_m = \omega_0 \cdot k \quad (45)$$

სადაც $\omega_0 = \frac{v^2}{1.6}$ ქარის ნორმატიული დაწნევაა (ჩქაროსნული დაწოლა);

k - ქარის წნევის ცვლილების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი სიმაღლის მიხედვით;

აქ v ქარის სიჩქარეა, მ/წმ;

ω_0 და k აღებულია ნორმებიდან [39].

ჰნევემატიკურ გარსზე ქარის დატვირთვის განაწილება ხასიათდება C აეროდინამიკურობის კოეფიციენტით. განაწილების სურათს, რომელზედაც გამოსახულია C კოეფიციენტის ეპიურა ან იზოხაზები, განსაზღვრავს სამი ფაქტორი:

1) გარსის ფორმა და განსაკუთრებით მისი ფარდობითი სიმაღლე – გარსი რაც უფრო დამრეცია, მით ნაკლებია გაწოვა და დადებითი წნევა;

2) გარსის წინასწარდამაბულობის ხარისხი, რომელიც გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$\varphi = \frac{P}{\omega_0} \quad (46)$$

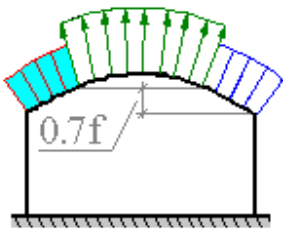
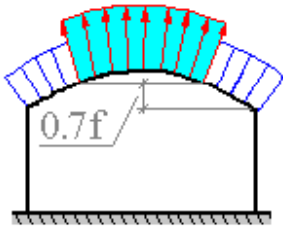
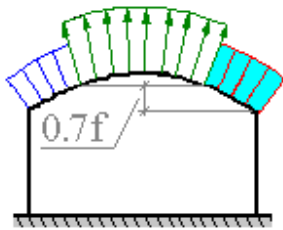
φ -ის შემცირებით 0.4-მდე გაწოვა იზრდება დაახლოებით 15%-ით;

3) ქარის მიმართულებასა და ნაგებობის გრძივ ღერძებს შორის γ კუთხის სიდიდე: γ -ს ნორმალიდან $15 \div 30^\circ$ გადახრით C -ს გაზრდა შეიძლება 15%-მდე.

ცილინდრული გარსებისათვის დადგენილია C -ს მაქსიმალური მნიშვნელობები: აქტიური დაწნევის მხარე $C = 1.0$; გაწოვის პიკი $C = -2.0$; გაწოვა ქარის მოქმედების პასიურ მხარეს $C = -0.4$.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის საპროექტო ტერიტორიად პირობითად აღებულია თბილისი, კერძოდ საბურთალოს რაიონი, შესაბამისად დაპროექტების ნორმებიდან აღებულია $\omega_0 = 0.85$ კპა [39].

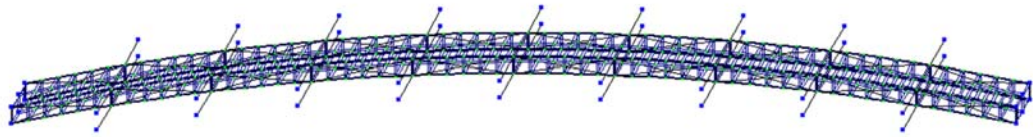
ქარის დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ #4-ში

<p>1. მარცხენა ქანობი</p> 	$\omega_1 = -73.4 \text{ კგ/მ}^2$
<p>2. შუა ნაწილი</p> 	$\omega_2 = -109.6 \text{ კგ/მ}^2$
<p>3. მარჯვენა ქანობი</p> 	$\omega_3 = -53.4 \text{ კგ/მ}^2$

ცხრილი #4. ქარის დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობები

დინამიკური დატვირთვა (სეისმიკა) – ანგარიში ჩატარებულია 8 ბალიანი (ESM-98 სკალა) სეისმური ზონისათვის, სპექტრული მეთოდით. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია სეისმური დატვირთვის ანგარიშისას გათვალისწინებულ იქნას სხვადასხვა ფაქტორი, რომელიც გავლენას ახდენს შენობის სესმომდეგობაზე [42].

საანგარიშო პროგრამა “ПК ЛИРА версия 9.6 (R9)”-ში კონსტრუქციის სეისმიკაზე გაანგარიშება რეალიზდება ქვეპროგრამის მიერ, შესაბამისი პარამეტრების მითითების გათვალისწინებით. საანგარიშო მოდელი ნაჩვენებია სურ. 3-ზე.



სურ. 3 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელი

2.9 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის სეისმურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების შედეგები

კონსტრუქციის გაანგარიშება შესრულებულია “ПК ЛИРА версия 9.6 (R9)” პროგრამული კომპლექსის მეშვეობით სასრულ ელემენტთა მეთოდის საფუძველზე.

გაანგარიშებაში განხილულია შემდეგი დატვირთვები:

1. სტატიკური მუდმივი;
2. სტატიკური დროებითი ხანმოკლე;
3. ქარის სტატიკური დატვირთვა პულსაციის გათვალისწინებით;
4. სეისმური დატვირთვა X მიმართულებით;
5. სეისმური დატვირთვა Y მიმართულებით;
6. ქარის დინამიკური დატვირთვა;

სამშენებლო მოედნის საანგარიშო სეისმურობად მიღებულია 8 ბალი (ESM-98 სკალით), გათვალისწინებულია საკუთარი რხევის 20 ფორმა.

ჩატარებული ანგარიშის შედეგად ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის რხევის თითოეული ფორმისათვის მიღებული საკუთარი რხევის სიხშირეები წარმოდგენილია ცხრილ #5-ში:

load .#	mode #	Eigenv alues	Frequencies		Period (s)	Distrib. coef.	Modal mass (%)	Modal mass sum (%)
			Circle freq. (rad/s)	Frequ ency (Hz)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	1	0.118	8.449	1.345	0.744	0.277	0.983	19.995
4	2	0.109	9.200	1.464	0.683	0.000	0.000	63.490
4	3	0.103	9.709	1.545	0.647	-0.004	0.000	64.364
4	4	0.103	9.712	1.546	0.647	0.000	0.000	64.370
4	5	0.103	9.717	1.547	0.647	0.002	0.000	65.723
4	6	0.103	9.723	1.547	0.646	0.000	0.000	65.802
4	7	0.103	9.733	1.549	0.646	0.000	0.000	68.033
4	8	0.103	9.738	1.550	0.645	0.013	0.001	76.320
4	9	0.103	9.753	1.552	0.644	0.019	0.002	77.326
4	10	0.102	9.756	1.553	0.644	0.002	0.000	78.033
4	11	0.102	9.776	1.556	0.643	-0.050	0.013	78.058
4	12	0.102	9.783	1.557	0.642	-0.002	0.000	78.062
4	13	0.102	9.807	1.561	0.641	0.001	0.000	78.074
4	14	0.102	9.817	1.562	0.640	0.001	0.000	78.479
4	15	0.102	9.833	1.565	0.639	-0.085	0.018	78.504
4	16	0.102	9.851	1.568	0.638	0.006	0.000	79.616
4	17	0.101	9.853	1.568	0.638	0.065	0.035	79.658
4	18	0.101	9.884	1.573	0.636	0.002	0.000	80.204
4	19	0.101	9.886	1.573	0.636	0.034	0.007	82.022
4	20	0.101	9.911	1.577	0.634	0.001	0.000	82.036
5	1	0.113	8.836	1.406	0.711	0.000	0.000	43.966
5	2	0.103	9.747	1.551	0.645	0.000	0.000	64.161
5	3	0.093	10.714	1.705	0.586	0.000	0.000	64.662
5	4	0.093	10.805	1.720	0.582	0.000	0.000	64.666
5	5	0.092	10.915	1.737	0.576	0.000	0.000	64.842
5	6	0.091	10.939	1.741	0.574	0.000	0.000	64.854
5	7	0.091	10.961	1.744	0.573	0.000	0.000	72.201

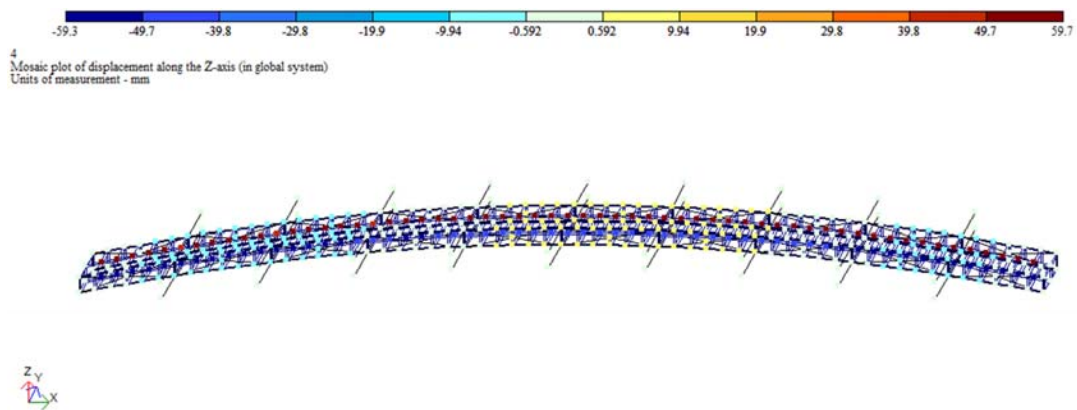
ცხრილი #5. კონსტრუქციის საკუთარი რხევის სიხშირეები

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	8	0.091	10.984	1.748	0.572	0.000	0.000	76.346
5	9	0.091	10.984	1.748	0.572	0.000	0.000	77.933
5	10	0.091	10.994	1.750	0.572	0.000	0.000	77.933
5	11	0.091	10.996	1.750	0.571	0.000	0.000	77.935
5	12	0.091	11.015	1.753	0.570	0.000	0.000	77.935
5	13	0.091	11.016	1.753	0.570	0.000	0.000	77.966
5	14	0.091	11.033	1.756	0.569	0.000	0.000	78.405
5	15	0.091	11.040	1.757	0.569	0.000	0.000	78.950
5	16	0.090	11.062	1.761	0.568	0.000	0.000	81.186
5	17	0.090	11.066	1.761	0.568	0.000	0.000	81.690
5	18	0.090	11.086	1.764	0.567	0.000	0.000	81.725
5	19	0.090	11.095	1.766	0.566	0.000	0.000	82.541
5	20	0.090	11.110	1.768	0.566	0.000	0.000	82.698

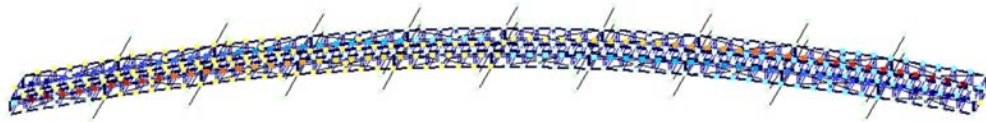
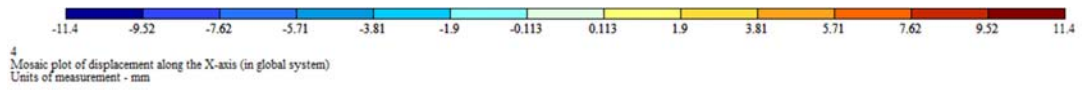
ცხრილი #5 (გაგრძელება). კონსტრუქციის საკუთარი რხევის სიხშირეები

ცხრილ #5-დან ჩანს, რომ სეისმური ძალების წარმოქმნაში კონსტრუქციის მასის საშუალოდ 65-80 % მონაწილეობს, რაც თანამედროვე პროექტირების პრაქტიკაში კარგ შედეგად ითვლება.

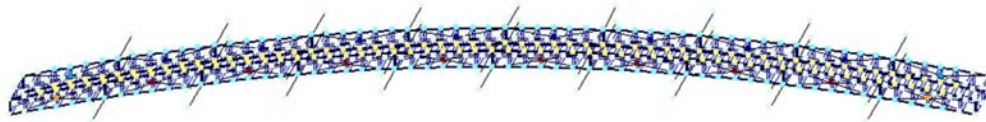
საანგარიშო პროგრამა “ПК ЛИРА версия 9.6 (R9)”-ში კონსტრუქციის სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშების შედეგები გრაფიკული სახით წარმოდგენილია სურ. 4 ÷ 15-ზე:



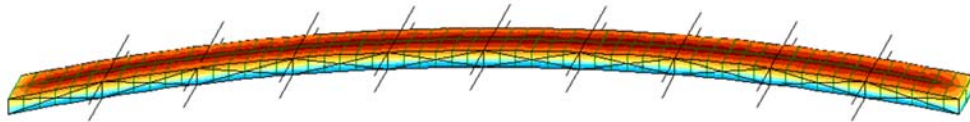
სურ. 4 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Z ღერძის მიმართულებით



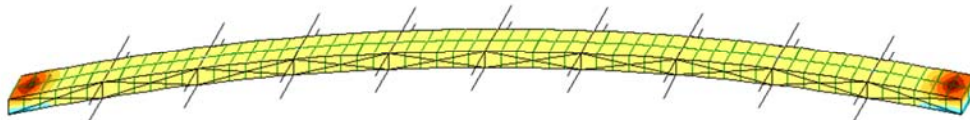
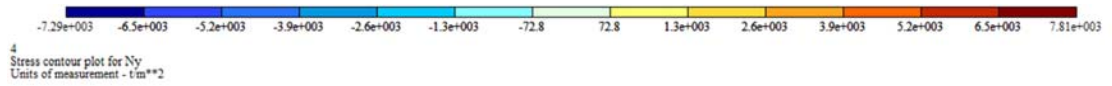
სურ. 5 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები X ღერძის მიმართულებით



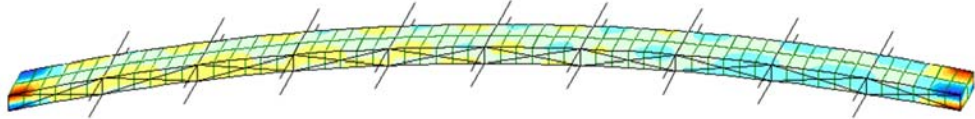
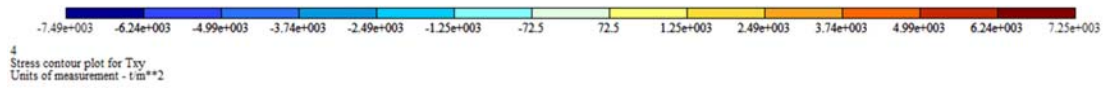
სურ. 6 კონსტრუქციის კვანძების გადაადგილებები Y ღერძის მიმართულებით



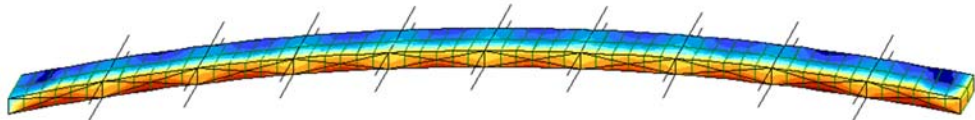
სურ. 7 ძაბვათა მოზაიკა N_x



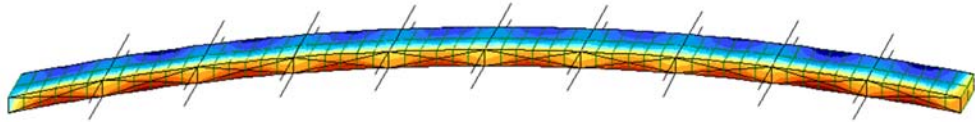
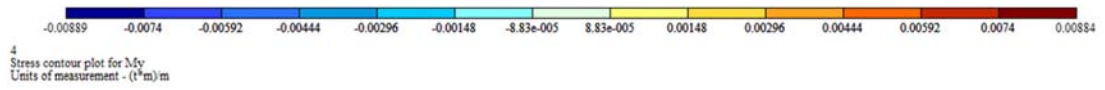
სურ. 8 ძაბვათა მოზაიკა N_y



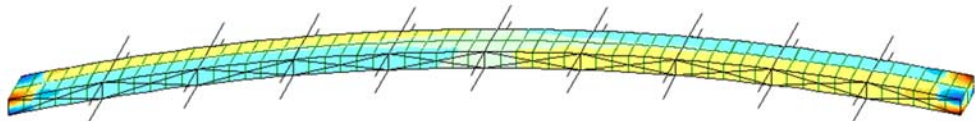
სურ. 9 ძაბვათა მოზაიკა τ_{xy}



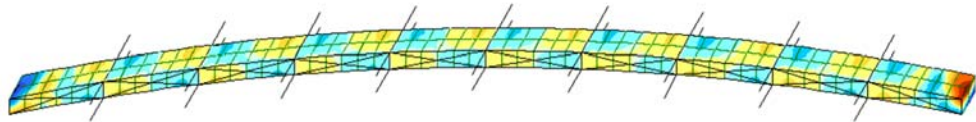
სურ. 10 ძაბვათა მოზაიკა M_x



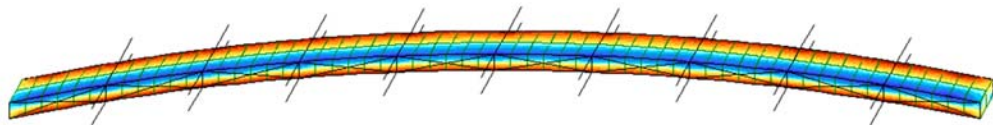
სურ. 11 ძაბვათა მოზაიკა M_y



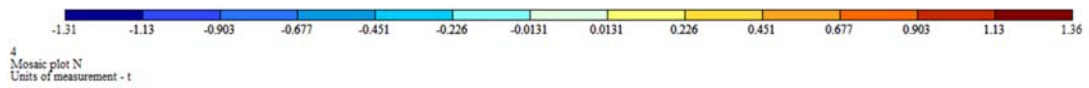
სურ. 12 ძაბვათა მოზაიკა M_{xy}



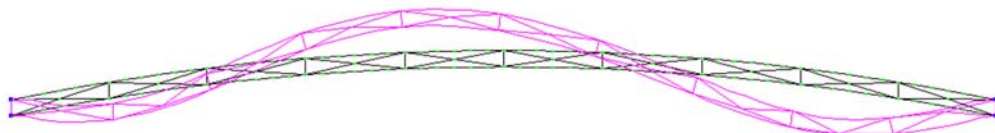
სურ. 13 ძაბვათა მოზაიკა Q_x



სურ. 14 ძაბვათა მოზაიკა Q_y



სურ. 15 N_x ძაბვათა მოზაიკა კონსტრუქციის ხისტ ელემენტებში



სურ. 16 კონსტრუქციის ხისტი ელემენტების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა

2.10 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებად კონსტრუქციებში ელემენტების განვკვეთების შერჩევა

ჩატარებული გაანგარიშების მიხედვით შემოთავაზებული კონსტრუქციების ლითონის ხისტი ელემენტებისათვის შერჩეული განვკვეთები შერჩეულია საანგარიშო გამომთვლელი პროგრამა “ПК ЛИРА ვერსია 9.6 (R9)”-ის ქვეპროგრამა “ЛИР-СТК“-ს საშუალებით მომქმედი ნორმების შესაბამისად [43, 44, 45].

მიღებული შედეგები $L = 60.0$ (მ) მალის კონსტრუქციისათვის მოცემულია ცხრილ #6-ში:

1. ზედა სარტყელი	Section: Pipe 60 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная
2. ქვედა სარტყელი	Section: Pipe 60 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная
3. გისოსის ელემენტები	Section: Pipe 60 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная

ცხრილი #6 ხისტი ელემენტების განვკვეთები $L = 60.0$ (მ) მალის კონსტრუქციისათვის

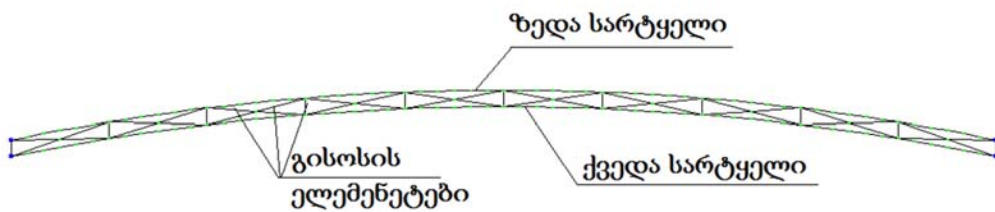
ანალოგიური გზით ჩატარებულია ანგარიში $L = 42.0$ (მ) მალის კონსტრუქციისათვის, მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილ #7-ში:

1. ზედა სარტყელი	Section: Pipe 38 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная
------------------	--

ცხრილი #7. ხისტი ელემენტების განვკვეთები $L = 42.0$ (მ) მალის კონსტრუქციისათვის

2. ქვედა სართყელი	Section: Pipe 38 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная
3. გისოსის ელემენტები	Section: Pipe 38 x 3 Shape : 60 x 3; ГОСТ 8732 - 78* Steel : ВСтЗкп; ГОСТ 1075-80 File: Труба бесшовная горячекатаная

ცხრილი #7 (გაგრძელება). ხისტი ელემენტების განვკვეთები $L = 42.0(მ)$ ძალის კონსტრუქციისათვის



ნახ. 21 კონსტრუქციის ხისტი ელემენტების სქემა

კონსტრუქციაში ბაგირის კვეთის შერჩევა წარმოებს წარმოებს ბაგირში გაანგარიშებით მიღებული გამჭიმავი ძალის მიხედვით H .

ბაგირის საჭირო განივი კვეთის ფართობი გამოითვლება ფორმულით:

$$A_{საჭ} = \frac{H}{m_1 \cdot m_2 \cdot R_{ბაგ}} \quad (47)$$

სადაც m_1 ბაგირის მუშაობის პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი;

m_2 - ბაგირში მავთულების მუშაობის პირობების გამათვალისწინებელი კოეფიციენტი, აიღება ნორმებიდან;

$R_{ბაგ}$ - ბაგირის მასალის საანგარიშო წინაღობა, მოცემულია სორტამენტში:

$$R_{ბაგ} = \frac{m_3 \cdot m_4}{\gamma_{დრ} \gamma_s \gamma_{სკ}} \cdot R_{ნორმ} \leq 0.7 R_{ნორმ} \quad (48)$$

აქ m_3 მუშაობის პირობების კოეფიციენტია, იგი ითვალისწინებს კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის დროს ძალვათა გადანაწილების შესაძლებლობას და დადლილობისგან გამოწვეულ ბაგირის რღვევას, რომელიც არ გაანგარიშდება გამძლეობაზე;

m_4 - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, ითვალისწინებს ბაგირის სიმტკიცეზე ძაბვების მაკონცენტრილებლების გავლენას - საანკერო ჩამაგრებები, გადაღუნვები და სხვ.;

$\gamma_{დრ}$ - საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციის იმ ელემენტებისათვის, რომლებიც დროებითი წინაღობის მიხედვით გაანგარიშდებიან;

γ_s - საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით, ითვალისწინებს ბაგირში მავთულების განლაგებას, მავთულის განივკვეთში ზომების ცვლილებებზე დაშვებებს და მავთულის სიგრძეს;

$\gamma_{სკ}$ - საიმედოობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის კაპიტალურობასა და მისი პასუხისმგებლობის დონეს;

$$R_{ნორმ} = \frac{N_{ბ}}{A_{ბ}} \quad (49)$$

$N_{ბ}$ - შერჩეულ ბაგირში აღძრული გამგლეჯი ძალის სიდიდეა;

A_{δ} შერჩეული ბაგირის განივი კვეთის ფართობია, რომელიც

$$A_{\delta} \geq A_{საჭ} \quad (50)$$

საბოლოოდ, ბაგირის განივი კვეთის ფართობი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$A_{საჭ} = \frac{H}{R} \geq A_{\delta} \quad (51)$$

ზემოთმოყვანილი ფორმულების საშუალებით შერჩეულია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციებისათვის ბაგირის განკვეთები:

1. $L = 60.0$ (მ) მალის მქონე კონსტრუქციისათვის აღებულია: “ბაგირი-12; კვეთი 12; DIN 3053; ფოლადი: 1570; სორტამენტი: Open spiral strand 1x19“;

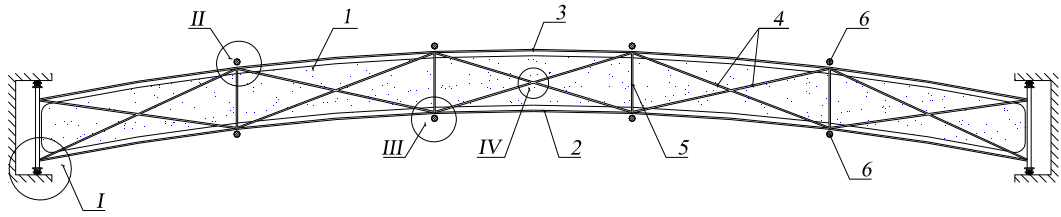
2. $L = 42.0$ (მ) მალის მქონე კონსტრუქციისათვის აღებულია “ბაგირი-10; კვეთი 10; DIN 3053; ფოლადი: 1570; სორტამენტი: Open spiral strand 1x19“;

პნევმატიკური ბალიშების - გარსების გაანგარიშება ჩატარებულია პარაგრაფ 2.4 -ში მოცემული (14÷21) ფორმულების საშუალებით. ორივე კონსტრუქციის შემთხვევაში (კონსტრუქციების მალი $L = 60.0$ მ და $L = 42.0$ მ) სასაზღვრო პირობები დაკმაყოფილებულია.

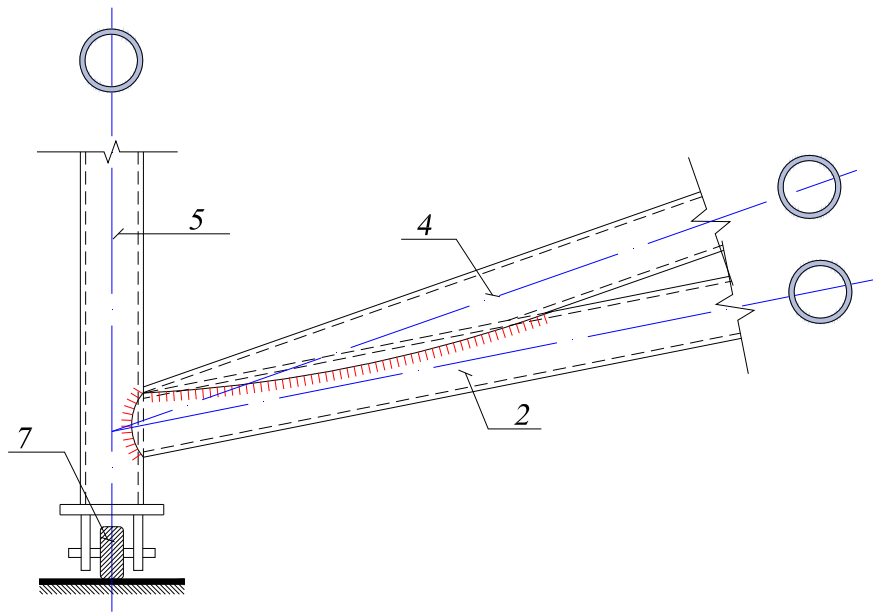
2.11 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების კონსტრუირების სქემები

ჩატარებული გაანგარიშების მიხედვით შემოთავაზებული კონსტრუქციებისათვის შესრულებულია კონსტრუირების სქემატური ნახაზები.

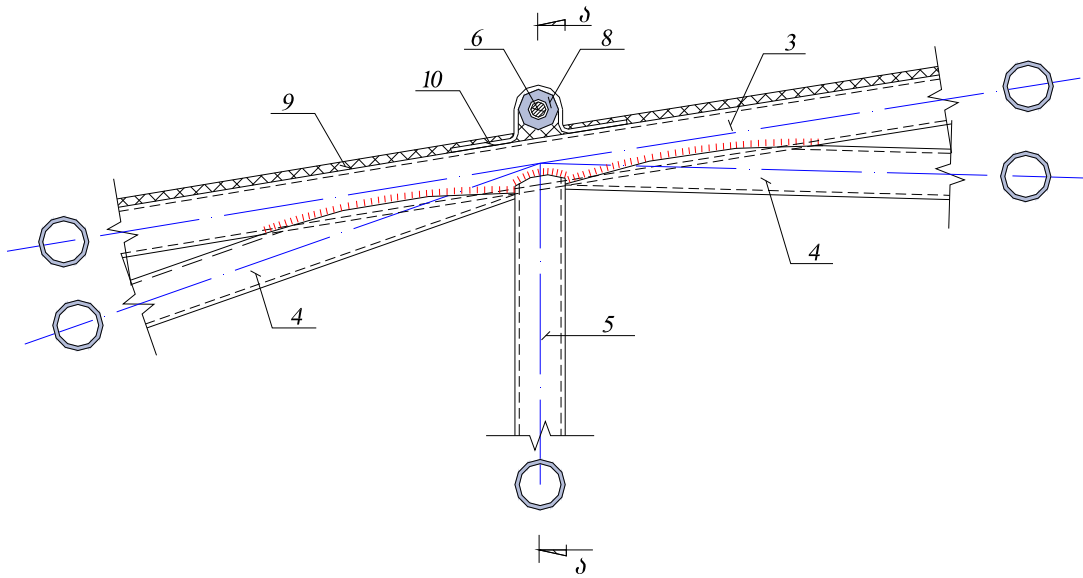
ნახ. 13-ზე ნაჩვენებია კონსტრუქციის საერთო ხედი



ნახ. 13 ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის კონსტრუქციის საერთო სქემატური ხედი. 1- პნევმატიკური ბალიში; 2 - ხისტი ელემენტებით შედგენილი თაღის ქვედა სარტყელი; 3 - თაღის ზედა სარტყელი; 4- თაღის ირიბნები; 5 - თაღის დგარი; 6 - სილიკონური მასალით დაფარული ბაგირი

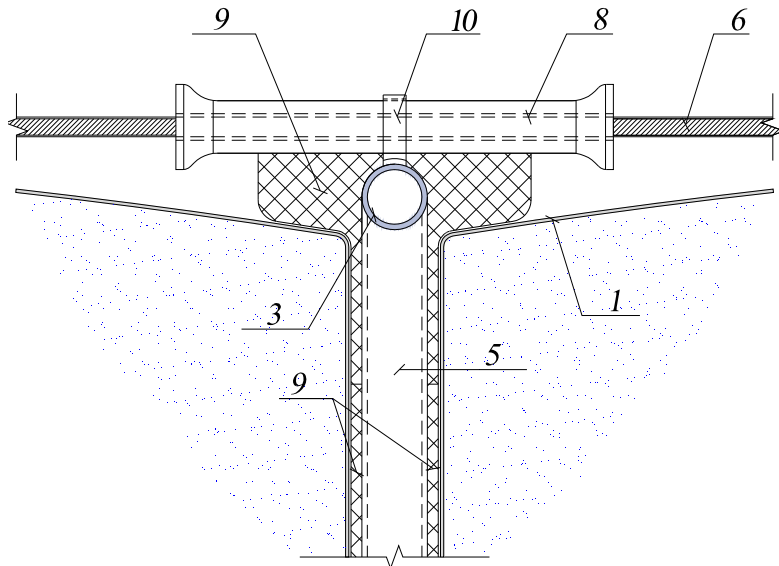


ნახ. 14 კვანძი I. 1- პნევმატიკური ბალიში; 2 - თაღის ქვედა სარტყელი; 3 - თაღის ზედა სარტყელი; 4- თაღის ირიბანა; 5 - თაღის დგარი; 7 - საგორავი სისტემა

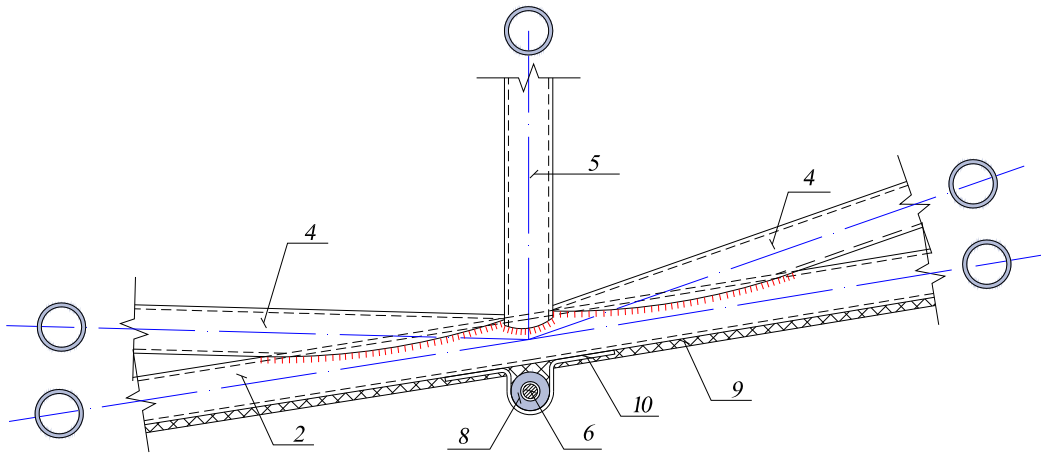


ნახ. 15 კვანძი II. 3 - თაღის ზედა სარტყელი; 4- თაღის ირიბანა; 5 - თაღის დგარი; 6 - სილიკონური მასალით დაფარული ბაგირი; 8 - სინთეტიკური კაუჩუკისაგან დამზადებული ფიქსატორი; 9 - წყალგაუმტარი სინთეტიკური მასალა; 10 - ფიქსატორის დამჭერი

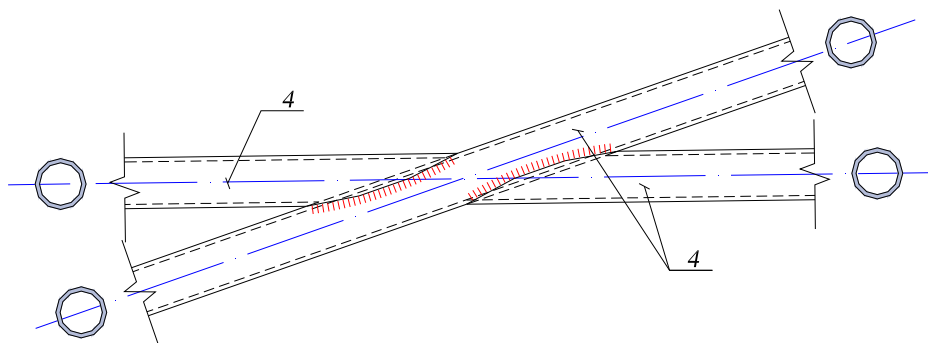
ბ - ბ



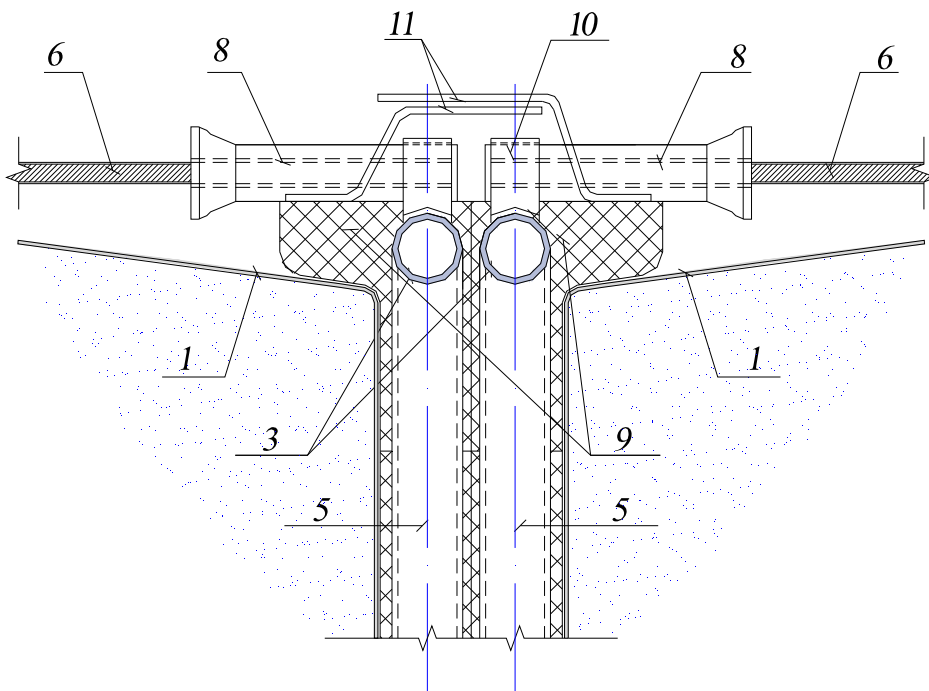
ნახ. 16 კვეთი ა-ა. 1- პნევმატიკური ბალიში; 3 - თაღის ზედა სარტყელი; 5 - თაღის დგარი; 6 - სილიკონური მასალით დაფარული ბაგირი; 8 - სინთეტიკური კაუჩუკისაგან დამზადებული ფიქსატორი; 9 - წყალგაუმტარი სინთეტიკური მასალა; 10 - ფიქსატორის დამჭერი



ნახ. 17 კვანძი III. 2 - თაღის ქვედა სარტყელი; 4- თაღის ირიბანა; 5 - თაღის დგარი; 6 - სილიკონური მასალით დაფარული ბაგირი; 8 - სინთეტიკური კაუჩუკისაგან დამზადებული ფიქსატორი; 9 - წყალგაუმტარი სინთეტიკური მასალა; 10 - ფიქსატორის დამჭერი



ნახ. 18 კვანძი IV. 4- თაღის ირიბანა



ნახ. 19 კონსტრუქციის ორი ნაწილის შეპირაპირების კვანძი. 1- პნევმატიკური ბალიში; 3 - თაღის ზედა სარტყელი; 5 - თაღის დგარი; 6 - სილიკონური მასალით დაფარული ბაგირი; 8 - სინთეტიკური კაუჩუკისაგან დამზადებული ფიქსატორი; 9 - წყალგამტარი სინთეტიკური მასალა; 10 - ფიქსატორის დამჭერი; 11- ატმოსფერული ნალექებისაგან დამცავი დრეკადი მასალისგან დამზადებული ფირფიტა

2.12 შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარება

შემოთავაზებული კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტურობის შესაფასებლად წინამდებარე გაანგარიშებაში შედარებულია არსებული (ანალოგიური) და ახალი ტიპის კონსტრუქციის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ტიპურ კონსტრუქციების მახასიათებლები აღებულია ყოფილ სსრკ „ლენინგრადის ზონალურ საკვლევ-სამეცნიერო ექსპერიმენტალური ინსტიტუტის“ ალბომების მონაცემებიდან.

შერჩეულია ოთხი სახის ტიპური კონსტრუქცია:

1. ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალით $L = 42.0$ მ;

2. უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალით $L = 45.0$ მ;

3. ურთიერთგადამკვეთი ორმაგი ამობურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალით $L = 60.0$ მ;

4. უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალით $L = 60.0$ მ;

შედარება ჩატარებულია ახალი ტიპის კონსტრუქციის ორი ვარიანტისათვის:

1. ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალი $L = 42.0$ მ;

2. ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ², მალი $L = 60.0$ მ;

შედარება ჩატარებულია მასის, შრომის დანახარჯების და მონტაჟის დანახარჯების მიხედვით, შეფასების ძირითად კრიტერიუმად აღებულია ღირებულება.

კონსტრუქციის დამზადების შრომის დანახარჯები განსაზღვრულია დღეისათვის საქართველოში არსებული დამამზადებელი ქარხნების არსებული ტექნოლოგიების გათვალისწინებით.

შემოთავაზებული კონსტრუქციის თვითღირებულება დათვლილია იმ ხარჯთაღრიცხვის ნორმებით, რომლითაც განსაზღვრულია ტიპური კონსტრუქციების თვითღირებულება და გადაყვანილია ლარებში საქართველოში ამჟამად მოქმედი სამშენებლო რესურსების ფასთა კრებულში მითითებული ლარებში გადამყვანი კოეფიციენტის გათვალისწინებით [46].

სატრანსპორტო დანახარჯები ნაანგარიშებია 500 კმ-ზე გადატანის პირობებისათვის.

მასალის დანახარჯების მნიშვნელობები აღებულია პარაგრაფ 2.9 -ში მოცემული ცხრილ #6, #7-ის და ტიპური კონსტრუქციების ალბომი 9/1.370.008-ის მიხედვით.

შედარება ჩატარებულია ცხრილური წესით და მოცემულია ცხრილ #8-12-ში.

##	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	ფოლადის ხარჯი, კგ/მ ²	ბეტონის ხარჯი, მ ³ /მ ²	დოკუმენტის დასახელება
შემოთავაზებული კონსტრუქციები				
1	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 42.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	4.4	0.3	პარაგრაფი 2.9 ცხრილი #7
2	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 60.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	9.4	0.3	პარაგრაფი 2.9 ცხრილი #6
ტიპური კონსტრუქციები				
1	ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=42.0$ მ;	63.4	0.06	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП,1970
2	უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=45.0$ მ;	10.0	0.11	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП,1970
3	ურთიერთგადამკვეთი ორმაგი ამობურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	28.8	0.02	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП,1970
4	უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	22.8	0.14	Албом 9/1.370.008 Госстрой СССР ЛенЗНИИЭП,1970

ცხრილი #8. მასალის ხარჯი ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციებზე

##	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	კონსტრუქციაზე		ერთეულის ფასი		მასალის ფასი, ლარი/მ ²		დანახარჯები მასალაზე, ლარი/მ ²
		ფოლადი, კგ/მ ²	ბეტონი, მ ³ /მ ²	ფოლადი, ლარი/კგ	ბეტონი, ლარი/მ ³	ფოლადი	ბეტონი	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
შემოთავაზებული კონსტრუქციები								
1	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 42.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	4.4	0.3	1.85	111.0	8.1	33.30	41.4
2	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 60.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	9.4	0.3	1.85	111.0	17.4	33.30	50.7
ტიპური კონსტრუქციები								
1	ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=42.0$ მ;	63.4	0.06	1.85	111.0	117.3	6.22	123.5
2	უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=45.0$ მ;	10.0	0.11	1.85	111.0	18.5	12.21	30.7
3	ურთიერთგადამკვეთი ორმაგი ამოზურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	28.8	0.02	1.85	111.0	55.3	2.53	57.9
4	უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	22.8	0.14	1.85	111.0	42.2	15.32	57.5

ცხრილი #9. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების მასალის ხარჯის ნატურალური და ერთეულის ღირებულება

##	დასახელება	კონსტრუქციის დამზადების შრომის დანახარჯი, კვ.სთ/მ ²	კონსტრუქციის მონტაჟის შრომის დანახარჯი, კვ.სთ/მ ²	მთლიანი შრომის დანახარჯი, კვ.სთ/მ ²	შრომის დანახარჯები სახურავის მოწყობასა და მონტაჟზე, კვ.სთ/მ ²	საერთო შრომის დანახარჯები, კვ.სთ/მ ²	საშუალო ღირებულება, ლარი/კვ.სთ	შრომის დანახარჯები, ლარი/მ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
შემოთავაზებული კონსტრუქციები								
1	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 42.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	0.92	0.20	1.12	0	1.12	7.63	8.55
2	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 60.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	0.92	0.20	1.12	0	1.12	7.63	8.55
ტიპური კონსტრუქციები								
1	ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=42.0$ მ;	3.65	1.18	4.83	2.57	7.40	8.15	60.27
2	უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=45.0$ მ;	1.16	0.32	1.48	2.16	3.64	7.63	27.78

ცხრილი #10. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების დამზადების, მონტაჟის და სახურავის მოწყობის სამუშაოების დანახარჯები

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	ურთიერთგადამკვეთი ორმაგი ამოზურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	2.36	2.78	5.14	2.29	7.43	7.45	55.36
4	უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	2.36	2.78	5.14	2.29	7.43	7.45	55.36

ცხრილი #10 (გაგრძელება). შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების დამზადების, მონტაჟის და სახურავის მოწყობის სამუშაოების დანახარჯები

##	დასახელება	ტრანსპორტის კონსტრუქციაზე დატვირთვა, ლარი/ტ	ტრანსპორტიდან კონსტრუქციის გადმოტვირთვა, ლარი/ტ	ტრანსპორტირების ღირებულება, ლარი/ტ	მთლიანი დანახარჯები ტრანსპორტირებაზე, ლარი/ტ	კონსტრუქციის წონა, ტ/მ ²	სატრანსპორტო დანახარჯები, ლარი/მ ²
1	2	3	4	5	6	7	8
შემოთავაზებული კონსტრუქციები							
1	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 42.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	30.60	25.46	80.40	136.46	0.0044	0.6
2	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 60.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	30.60	25.46	80.40	136.46	0.0094	1.28

ცხრილი #11. შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების სატრანსპორტო დანახარჯები (განიხილება კონსტრუქციის ტრანსპორტირება 500 კმ მანძილზე)

1	2	3	4	5	6	7	8
1	ფოლადის წაშწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=42.0$ მ;	26.60	25.46	80.40	132.46	0.06	8.34
2	უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=45.0$ მ;	26.60	25.46	80.40	132.46	0.01	1.32
3	ურთიერთგადმკვეთი ორმაგი ამოზურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	26.60	25.46	80.40	132.46	0.03	3.71
4	უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	26.60	25.46	80.40	132.46	0.02	2.91

ცხრილი #11 (გაგრძელება). შემოთავაზებული და ტიპური კონსტრუქციების სატრანსპორტო დანახარჯები (განიხილება კონსტრუქციის ტრანსპორტირება 500 კმ მანძილზე)

##	კონსტრუქციის ტიპის დასახელება	მასალების დანახარჯები ცხრ. #9	კონსტრუქციის დამზადების, მონტაჟის და სახურავის დანახარჯები ცხრ. # 10	ტრანსპორტირების დანახარჯები 500 კმ-ზე ტრანსპორტირებისას ცხრ.#11	კონსტრუქციის საერთო (ჯამური) ღირებულება, ლარი/მ ²
შემოთავაზებული კონსტრუქციები					
1	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 42.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	41.4	8.55	0.6	50.55
2	ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალი $L = 60.0$ მ; პატენტი # GE P 2010 5097 B	50.7	8.55	1.28	60.53
ტიპური კონსტრუქციები					
1	ფოლადის წამწე, გადახურული რკინაბეტონის ფილებით, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=42.0$ მ;	123.5	60.27	8.34	192.11
2	უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, დატვირთვა $q=0.35$ ტ/მ ² , მალით $L=45.0$ მ;	30.7	27.78	1.32	59.80
3	ურთიერთგადამკვეთი ორმაგი ამოზურცულობის გადახურვა ბაგროვანი ფერმებით, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	57.9	55.36	3.71	116.97
4	უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, დატვირთვა $q = 0.35$ ტ/მ ² , მალით $L = 60.0$ მ;	57.5	55.36	2.91	115.77

ცხრილი #12. ტიპურ და შემოთავაზებულ კონსტრუქციების საერთო (ჯამური) ღირებულება (ლარი/მ²)

ტექნიკური გადაწყვეტებისა და შედეგების ანალიზიდან გამომდინარე, შემოთავაზებულ კონსტრუქციებთან ყველაზე ახლოს მდგომი ანალოგები შემდეგია:

2. უნაგირისებრი ბაგროვანი გარსი, მალით $L = 45.0$ მ - I ვარიანტის ანალოგი;

4. უარყოფითი სიმრუდის კიდული გარსი, მალით $L = 60.0$ მ - II ვარიანტის ანალოგი;

ეკონომიური ეფექტი I ვარიანტის კონსტრუქციის გამოყენებისას შეადგენს 15.5 %-ს, II ვარიანტის კონსტრუქციის გამოყენებისას 47.7 %-ს.

მიღებული ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები ცხადყოფს, რომ ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის მშენებლობაში (პატენტი GE P 2010 5097 B) გამოყენება მიზანშეწონილია.

დასკვნა

- დამუშავებულია შემოთავაზებული კონსტრუქციის ტრანსფორმირების, გეომეტრიული პარამეტრებისა და დატვირთვების, სესმომედეგობის, საიმედოობის თეორიის მიხედვით ექსპლუატაციის დროის განსაზღვრის მეთოდოლოგია;
- შემოთავაზებული ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ჩამოყალიბებულია გაანგარიშების მეთოდოლოგია მიახლოებულია კონსტრუქციის ნამდვილ მუშაობასთან;
- დამუშავებულია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ელემენტებისა და ძირითადი კვანძების კონსტრუქციული გადაწყვეტები;
- ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის კომბინირებულობა და სიახლოვე კინეტიკურ სტრუქტურების მექანიზმებთან საშუალებას იძლევა მის მოძრავ ელემენტებად გამოყენებული იქნას მართვის და კონტროლის პროგრამული მოწყობილობები და ელექტრონული სისტემები;
- ჩატარებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი: შემოთავაზებული კონსტრუქციის გამოყენება ეკონომიკური ეფექტურობის საშუალოდ 15.0÷45.0 %-ს იძლევა;
- დამუშავებულია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციის ტექნიკური გადაწყვეტა უზრუნველყოფს დიდმალიანი გადახურვის ტრანსფორმირებას, მზიდი კონსტრუქციების წონის, მასალის ხარჯის, მშენებლობის ხანგრძლივობისა და ღირებულების შემცირებას, სესმომედეგობისა და საიმედოობის გაზრდას;
- შემოთავაზებულია ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია შეესაბამება პროექტირების თანამედროვე მოთხოვნებს და მისი გამოყენება დიდმალიანი ტრანსფორმირებადი კონსტრუქციების მშენებლობაში მიზანშეწონილი და ეფექტურია;

გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. Барнабишвили, Н.Е. Динамические конструкции в архитектуре. Обзор, Москва: ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре, 1974, 38 с.
2. Дыховичн Ю.А., Жуковски Э. З. Современные пространственные конструкции. Москва: Высшая школа, 1991, 543 с.
3. Колейчук В. Ф. Мобильная архитектура. Обзор, Москва: ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре, 1973, 48 с.
4. Рюле Г. Пространственные покрытия. Москва: Стройиздат, 1974, т-2, 247 с.
5. Медзмаришвили Э.В. Трансформируемые системы. Тбилиси. Академия наук СССР. 1990, 106 с.
6. Ермолов В.В. Пневматические конструкции воздухоопорного типа. Москва: Стройиздат, 1973, 288 с.
7. Ермолов В.В. Пневматические строительные конструкции. Москва: Стройиздат, 1983, 437 с.
8. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Москва: Стройиздат, 1985, 560 с.
9. Горев В.В. Металлические конструкции, том 1, Москва: Высшая школа, 2004, 551 с.
10. Горев В.В. Металлические конструкции, том 2, Москва: Высшая школа, 2004, 528 с.
11. Горев В.В. Металлические конструкции, том 3, Москва: Высшая школа, 2002, 544 с.
12. Кузнецов В.В. Металлические конструкции, том 1, Москва: Издательство АСВ, 1998, 576 с.
13. Кузнецов В.В. Металлические конструкции, том 2, Москва: Издательство АСВ, 1998, 512 с.
14. Кузнецов В.В. Металлические конструкции, том 2, Москва: Издательство АСВ, 1998, 528 с.
15. Мельников Н.П. Металлические конструкции – современное состояние и перспективы развития. Москва: Стройиздат, 1983, 544 с.
16. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. Москва: Стройиздат, 1947, 92 с.
17. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Москва: Наука, 1965, 524 с.
18. Бруевич Н.Г., О надежности и точности автоматического производства. *Изв. АН СССР, Отд. техн. н. Энерг. и автоматика*, 1959, № 4, 59-78
19. Сифоров В.И., О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов. *Известия Академии наук СССР. Отделение технических наук*, 1954, № 6, 3-12
20. Половко А.М. Основы теории надежности. Москва: Наука, 1964, 564 с.

21. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем) Москва: Советское радио 1976, 296 с.
22. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. Москва: Наука, 1984, 328 с.
23. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности и испытания на безотказность. Москва: Советское радио, 1969, 488 с.
24. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва: Стройиздат, 1981, 351 с.
25. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва: Стройиздат, 1971, 255 с.
26. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. Москва: Стройиздат, 1965, 202 с.
27. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва: Стройиздат, 1978, 239с.
28. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций. Вильнюс: Моклас, 1985, 155 с.
29. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. Москва: Стройиздат, 1986, 192 с.
30. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. Москва: Стройиздат, 1995, 348 с.
31. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные модели в строительном проектировании. Москва: Стройиздат, 1988, 584с.
32. Файбишенко В.К. Металлические конструкции Москва: Стройиздат, 1984, 336 с.
33. Отто Ф., Тростель Р. Пневматические строительные конструкции. Москва: Стройиздат, 1967, 320 с.
34. Губенко А.Б. Пневматические строительные конструкции. Москва: Госстройиздат, 1963, 127 с.
35. Ишии К. Проектирование и расчет пневматических сооружений. Пневматические строительные конструкции. Москва: 1983, 273 с.
36. Kawaguchi M. The Shallowest Possible Pneumatic Forms. *Bulletin of the IASS*. No 63. Vol. XVIII-1. 1977, 3-18
37. Алексеев С.А. Основы теории мягких осесимметричных оболочек *Расчет пространственных конструкции*. Москва: 1965. Вып. X. с.5-37
38. Матаки Й., Иваса Й., Фукао Й. Экспериментальные исследования пологих воздухоопорных оболочек, усиленных тросами. *Международный конгресс ИАСС*. Москва, 1985,123-138
39. კ.ბ. 01.05-08 დაპროექტების ნორმები - „სამშენებლო კლიმატოლოგია“, თბილისი, საქართველოს ეკონომიკური განვითარების სამინისტრო, 2008, 75 გვ.
40. Бейлин Д.А. Поляков В.П. О взаимодействии мягких оболочек сферической формы с потоком воздуха. *Труды XII конференции по*

- теории оболочек и пластин.* Ереван. Издательство Ереванского университета, 1980, 138-143
41. Сривастава Н. К., Туркан Н., Макадешви Г. Распределение ветрового давления на цилиндрические мембранные мягкие сооружения. *Международный конгресс ИАСС.* Москва, 1985, 25-36
 42. პ.ბ. 01.01-09 სამშენებლო ნორმები და წესები - „სეისმომედეგი მშენებლობა“, თბილისი, საქართველოს ეკონომიკური განვითარების სამინისტრო, 2009, 166 გვ.
 43. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования, Москва: Стройиздат, 1982, 93 с.
 44. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии; Нормы проектирования, Москва: Изд. ЦИТП Госстроя СССР, 1986, 120 с.
 45. СНиП 2.01.02-85* Противопожарные нормы. Нормы проектирования, Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1986, 16 с.
 46. „სამშენებლო რესურსების ფასები“, საქართველოს მშენებლობის შემფასებელთა კავშირი, თბილისი, IV, 2012 წ.
 47. ფირყულაშვილი დ. "ახალი ტიპის ტრანსფორმირებადი კონსტრუქცია" სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" 2013, #2 (29), გვ 133-137
 48. ფირყულაშვილი დ. "პნევმატიკური კონსტრუქციების ზოგადი მიმოხილვა და კლასიფიკაცია" სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" 2013, #2 (29), გვ 114-116
 49. ფირყულაშვილი დ. "პნევმოკარკასული კონსტრუქციების გაანგარიშების თავისებურებანი" საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტუალი" 2013, #23, გვ 292-296
 50. ფირყულაშვილი დ., სურგულაძე ბ., პნევმატიკური ტრანსფორმირებადი სივრცითი კონსტრუქცია. თბილისი, საქპატენტი, Pat. No. GE P 2010 5097 B. 25.10.2010 Appl. No.: 10036. Filed: 01.05.2007