

გიორგი ქეთელაური

**შენობის და თბოაგრეგატის თბური დიაგნოსტიკა და
ენერგოეფექტურობა**

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2015

საავტორო უფლება © 2015 წელი, გიორგი ქეთელაური

თბილისი
2015 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი ქეთელაურის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „შენობის და თბოაგრეგატის თბური დიაგნოსტიკა და ენერგოეფექტურობა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ომარ კილურაძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2015 წელი

ავტორი: ქეთელაური გიორგი
დასახელება: შენობის და თბოაგრეგატის თბური დიაგნოსტიკა
და ენერგოეფექტურობა

ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
აკადემიური ხარისხი: აკადემიური დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: 2015 წელი

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ენერგოეფექტური შენობების პროექტირებისა და მშენებლობის მიზანია ინოვაციური მეთოდებისა და გადაწყვეტების გამოყენების გზით შენობის ენერგომომარაგებისათვის საჭირო ენერგორესურსების უფრო ეფექტურად გამოყენება. ამასთან, ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება შესაძლებელი უნდა იყოს ტექნიკურად, დასაბუთებული ეკონომიკურად, ასევე მისაღები - ეკოლოგიურად და სოციალური თვალსაზრისით.

ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების შერჩევის დროს პრიორიტეტი ენიჭება ისეთ ტექნიკურ გადაწყვეტებს, რომლებიც ერთდროულად ხელს შეუწყობს შენობის მიკროკლიმატის და იმავდროულად გარემოს დაცვის გაუმჯობესებას.

ნაშრომის შესავალ ნაწილში ჩატარებულია 1972წელს მანჩესტერში და 1973 წელს ფინეთში აგებული პირველი სადემონსტრაციო ენერგოეფექტური შენობების ენერგოდამზოგავი ღონისძიებების კრიტიკული ანალიზი. ჩამოყალიბებულია ის ძირითადი მოთხოვნები და რეკომენდაციები, რომელიც წაყენება ენერგოეფექტურ შენობებს.

მნიშვნელოვანია შენობის ფორმა, ზომები და ორიენტაცია. ეს პარამეტრები ისეთნაირად უნდა შეირჩეს, რომ მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი ზემოქმედება და მოხდეს უარყოფითი ზემოქმედების ნეიტარლიზება.

ზოგადად შეიძლება მივიღოთ, რომ მზის რადიაციის გავლენა სათავსის თბურ ბალანსზე წლის ცივ პერიოდში დადებითია, ხოლო წლის თბილ პერიოდში - უარყოფითი. ქარის გავლენა, პირიქით, წლის ცივ პერიოდში არის უარყოფითი, ხოლო წლის თბილ პერიოდში ეს გავლენა შეიძლება იყოს დღის განმავლობაში - უარყოფითი, ხოლო ღამის პერიოდში - დადებითი. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის გარემოება, როცა მზის რადიაციის და ქარის გავლენა შენობის თბურ ბალანსზე დამოკიდებულია შენობის ორიენტაციაზე. შენობა, რომელიც მოთავსებულია სამხრეთში და არის განედის მიმართულებით, ღებულობს სითბოს მეტ რაოდენობას, ვიდრე შენობა, რომელსაც აქვს მერიდიანის მიმართულება. იმავე დროს შენობა, რომელიც განვითარებული ზედაპირით მიმართულია გაბატონებული ქარის მიმართულებით, ზამთრის პერიოდში კარგავს მეტ სითბოს რაოდენობას. შედეგად, ნაშრომში მნიშვნელოვანი ადგილი ეთმობა შენობაზე მზის რადიაციისა და ქარის გავლენის ოპტიმიზაციის საკითხის განხილვას.

შენობის ოპტიმალური ორიენტაციის განსაზღვრის მეთოდის გამოყენებით ქ. თბილისში მდებარე ბაგა-ბადის (მართკუთხა შენობის) მაგალითზე, შენობიდან მინიმალური თბური დანაკარგების პირობით, დადგენილია შენობის ოპტიმალური ზომები, რაც მნიშვნელოვნად განსხვავებულია არსებული შენობის გაბარიტებისაგან. აღნიშნულის გათვალისწინებით შესაძლებელი იქნებოდა გათბობის დადგმული სიმძლავრის შემცირდება 31%-ით. შესაბამისად შენობების პროექტირების დროს გასათვალისწინებელია შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის განსაზღვრა თბური დანაკარგების ოპტიმიზაციის პირობის შესრულებით.

თბოტექნიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია შენობების გარე შემომზღუდი კედლების, თბოსაიზოლაციო ფენის სისქის, სამშენებლო მასალის თბოიზოლაციის ხარისხის შეფასება და შესწავლა. სხვადასხვა სახის მასალა განსხვავებულია თავისი თბოფიზიკური თვისებებით. მასალების თბოფიზიკური თვისებების ცოდნა აუცილებელია თბური პროცესების გასაანგარიშებლად. საცნობარო მასალებში ძირითადად მოცემულია მშრალი მასალების თბოფიზიკური თვისებების მონაცემები. გამოყენებული მასალა ექსპლუატაციის დროს შეიძლება გარკვეულად დატენიანდეს და მნიშვნელოვნად გაუარესდეს მისი თბური დაცვის ხარისხი. ამიტომ პრაქტიკულად შენობის ენერგოაუდიტის ჩატარებისათვის მიზანშეწონილია უშუალოდ გაიზომოს შემომზღუდი კედლის თერმული წინაღობა.

ბაგა-ბაღის მაგალითზე ჩატარებულია შენობის შემომზღუდი კონსტრუქციების ფაქტიური თერმული წინაღობების გაზომვა, შემუშავებულია შენობის დათბუნების ღონისძიებები და შერჩეულია საჭირო თბოსაიზოლაციო მასალები. კვლევებში დიაგნოსტიკისათვის გამოყენებული იყო თერმული ინფრაწითელი კამერა, ლაზერული თერმომეტრი და კედლის თერმული წინაღობის საზომი პრეციზიული ხელსაწყო.

ტიპიურ ბაგა-ბაღში ჩატარებული ენერგოაუდიტის საფუძველზე გამოვლენილი იქნა შენობის მაღალი თბური დანაკარგების გამოწვევი მიზეზები და შემუშავებული იქნა გასატარებელი ენერგოეფექტური ღონისძიება- შემომზღუდი კედლების დათბუნება. ერთი ბაგა-ბაღისათვის დათბუნების ღონისძიების ჩატარებით წელიწადში დაიზოგება 8900მ³ ბუნებრივი აირი და ნახშირორჟანგის ემისია შემცირდება 17000 კგ.-ით. მარტივი უკუგება შეადგენს 4,9 წელს.

განხილულია სამშენებლო მასალების და კონსტრუქციების თბოაკუმლაციის მაჩვენებლები და მათი გავლენა კონსტრუქციის გაცხელების სიჩქარეზე, მოცემულია მასალების თბოფიზიკური მაჩვენებლების მნიშვნელობები.

შექმნილია ექსპერიმენტული დანადგარი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია სამშენებლო ინდუსტრიაში გამოყენებული მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზომვა მოთხოვნილ ტემპერატურულ დიაპაზონში. დანადგარის კალიბრება ჩატარებულია სანიმუშო ნივთიერების -პენოპლასტის გამოყენებით. გაზომვის ცდომილება შეადგენს 3-5%-ს;

გამოკვლეულია თბოგამტარობის კოეფიციენტები შემდეგი მასალების: წითელი აგური, პენობლოკი, მუყაო-თაბაშირის ფილა, მინა, მინა-პაკეტი, სედვიჩი, ლამბირი (მეტალოპლასტმასის კარის გული), შეკიდული ჭერის ფილა და სხვა.

დახასიათებულია შენობებში ხელოვნურად ან ავარიულად განვითარებული გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის პირობები. განხილულია: ენერგიის ხარჯის ოპტიმიზაციის საკითხი გათბობაზე დახარჯული ენერგიის მინიმიზაციის მიზნით; გათბობის რეჟიმის მართვის პირობები; შენობების თბური ბალანსის განტოლების შინაარსი; სამშენებლო მასალების

და კონსტრუქციების თბოფიზიკური თვისებები და თბოაკუმულაციის მაჩვენებლები.

დამუშავებულია შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელის საშუალებითაც შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული ამოცანისათვის საჭირო თერმული წინააღმდეგობის უზრუნველსაყოფად თბოიზოლაციის ოპტიმალური სისქის დადგენა.

შესწავლილია შენობის გათბობის „წყვეტილი რეჟიმის“ სტაციონარული, გაგრილების, მინიმალური ტემპერატურის და ინტენსიური გათბობის პერიოდების კანონზომიერებები. დადგენილია, რომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმუმიზაცია მიიღწევა სითბოს წყაროს სრული დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით.

თბოაგრეგატების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში კოკრეტულად-საქვებზე აგრეგატებს შეიძლება გააჩნდეს გარკვეული დეფექტები, რაც იწვევს დანადგარის ეკონომიურობისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან გაუარესებას. დეფექტების ერთი ნაწილი აისახება უხეირო პროექტით ან ცუდად შესრულებული მონტაჟით, ხოლო მეორე ნაწილი – მოწყობილობათა ექსპლუატაციის დაბალი დონით. დეფექტების სრული გამოვლენა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ საქვებზე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე.

ნაშრომში მოცემულია წყალგამაცხელებელი ბოილერის მუშაობის თბოტექნიკური გამოცდის დროს მიღებული შედეგები. ექსპერიმენტები ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის საქვებში გამარტივებული მეთოდოლოგიის გამოყენებით. გამართვის სამუშაოების ჩატარების შედეგად დადგენილი იქნა მათი მუშაობის რეჟიმული რუკები, რამაც გამოიწვია აგრეგატების მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდა 87,8%-დან 93,5%-დე. გამოცდების დროს გამოყენებული იყო ნამწვი გაზების ანალიზატორი TESTO 335 და ლაზერული თერმომეტრები.

ABSTRACT

Projecting and construction of energy efficient buildings aims to use necessary energy resources for power supply of buildings through innovative methods and solutions. Implementation of the energy efficient measures shall be technically feasible, economically justified and both environmentally and socially acceptable with no changes in typical lifestyle.

While selecting energy-efficient technologies first priority is given to such technical solutions that can contribute to the improvement as of microclimate of buildings so protection of the environment at the same time.

There is generally discussed analysis of energy efficient measures of first and demonstrative energy-efficient buildings constructed in 1972 in Manchester and in 1973 near Helsinki in Otaniemi.

Buildings' shape, size and orientation shall be selected to maximize the benefit of positive impact of the environment on thermal balance of the building and neutralize negative influence.

Generally, the capacity of solar energy of having an effect on thermal balance of the facility is positive during the cold period while in the warm period this impact might be negative. The influence of the wind, on the contrary, is negative during the cold period while it might be positive at nights of the warm period and negative during the daytime of the same period. Especially important is the fact when the influence of solar radiation and wind on thermal balance of the building depends on orientation in case of the same useful areas, or the same useful volume. In fact, the building, which is located in the south and has longitude direction, gets more heat than the building with meridian direction. Moreover, the building facing prevailing wind by developed surface loses more heat during winters. As a result, it makes sense to discuss optimization issues of influence of solar radiation and wind.

By using of the method for determining optimal orientation for building, example Tbilisi kindergarten building (rectangular form), for the purpose of minimum heat loss from the building, is estimated optimum measures, which significantly differ from the dimensions of the real building. To foresee mentioned measure it would be possible to reduce by 31% the installed heating capacity. It would be recommended to be consider the shape, size and orientation of buildings during designing for purpose of the optimization of thermal losses.

Evaluation and study of external walls, insulation layer thickness and quality are necessary for thermal technical calculation. Different type of materials have different thermo physical properties. To know the thermo physical properties of materials is important for calculating thermal processes. Materials in databases mainly are given with dry thermo physical properties data. Humidity of utilized material can be increased and significantly can be worsened the quality of its thermal protection. Therefore, it is recommended to conduct measuring of the thermal resistance for the wall fencing in the building for energy audit.

External wall thermal resistance measurement was carried out in typical kindergarten building at Tbilisi, energy efficiency potential was considered for this

building and special insulation materials were selected. Thermal infrared camera, laser thermometer and thermal resistance measurement precision device were used in studies.

On typical Tbilisi kindergarten building energy audit basis were identified cause of high heat loss and was worked out to be implemented energy efficiency measures - fencing wall insulation. By implementing insulation of external walls, kindergarten would save 8900 m³ of natural gas per year and reduce carbon dioxide emissions 17 tons per year. Simple payback of 4.9 years.

There are also discussed thermal accumulation indicators of building materials and constructions along with their impact on heating speed and values of thermo physical indicators of materials. Thermo physical properties vary with different types of material.

Designed experimental equipment, by which can measure the heat conductivity coefficient of construction materials in range of required temperature. Device calibration carried out by using exemplary substance - foam. Measurement error range is 3-5%.

Studies were carried out of the thermal conductivity for next materials: red brick, foam block, cardboard-gypsum tile, glass, glass-pack, PVC door sandwich and composite panels, suspended ceiling and more.

Artificial or emergency heat "intermittent" mode conditions are characterized in buildings. There are discussed as follows: optimization of energy expenses in order to minimize energy costs on heating; heating regime management conditions; heat balance equation content of buildings; thermo physical properties and thermal accumulation indicators of building materials and constructions.

Heat transfer engineering calculation method has been developed for heterogeneous attic roof systems, which gives possibility to identify and ensure optimal thickness of insulation with necessary thermal resistance for any specific task.

It has been researched and studied stationary, cooling, minimum temperature and intense heating period's patterns for building heating "intermittent mode". It is estimated that during intense heating period the energy consumption minimization can be achieved by using the full installed capacity.

Operational experience of thermal aggregates shows that, in some cases, boilers may have some defects causing significant deterioration of the equipment's efficiency and reliability. One part of defects are explained by bad projects or poorly executed installation and the other part by low-level exploitation of devices. Full identification of defects is possible only through thermal-technical testing of boilers.

There are presented the boiler thermal performance testing results. Boiler testing Experiment was carried out in GTU 8th building by using simplified method. As a result of debugging work was ascertained their periodical working regime maps, which provoke to increase aggregate efficiency form 87.8% up to 93.5%. During examination was used flue gas analyzer tool "TESTO 335" and laser thermometers.

შინაარსი

შესავალი.....	13
I თავი. ლიტერატურის მიმოხილვა	18
1.1. შენობის თბური დანაკარგები.....	18
1.2. თბოფიზიკური თვისებების გაზომვის მეთოდები	21
1.2.1. თბოგამტარობის და ტემპერატურაგამტარობის გამოკვლევის მეთოდები	22
1.2.2. რეგულარული მეთოდი.....	22
1.2.3. არასტაციონალური მეთოდები	27
1.3. პირველი ენერგოეფექტური შენობები.....	28
1.4. საქვაბე აგრეგატების თბოტექნიკური გამოცდა	48
1.5. საქვაბე აგრეგატის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზის გამარტივებული მეთოდიკა (პროფ. მ. რავიჩის მეთოდი)	50
1.5.1. გამარტივებული მეთოდიკის ძირითადი კონსტანტები.....	50
1.5.2. სითბოს დანაკარგები გამავალი აირებით.....	51
1.5.3. სათბობის არასრული ქიმიური წვით გამოწვეული სითბოს დანაკარგები	53
1.6. ენერგოეკონომიკური ანალიზი.....	53
II თავი. შენობის თბური ოპტიმიზაცია	59
2.1. ენერგოეფექტური შენობების პროექტირების ძირითადი პრინციპები....	59
2.2. ენერგოეფექტური შენობა, როგორც არქიტექტურული და საინჟინრო გადაწყვეტების სინთეზი	61
2.3. შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმალური შერჩევა (თბილისის საბავშვო ბაღის მაგალითზე).....	66
2.3.1. საბავშვო ბაღის შენობის ენერგოეკონომიკური ანალიზი.....	75
2.4. შენობის გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაცია	79
2.5. თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი შენობის გათბობაზე გათბობის სეზონისათვის.....	84
III თავი. შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მეთოდიკა	86
3.1. ელემენტარული რეგულარული უჯრედი.....	86
3.2. შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მაგალითი	92
3.3. შენობის გარე შემომზღლული კონსტრუქციების თერმული წინაღობები საქართველოს კლიმატური ზონებისათვის.....	108
IV თავი. ბოილერის თბოტექნიკური გამოცდა და თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარი	115
4.1. თბოტექნიკური გამოცდის ობიექტი და გამოცდის შედეგები.....	115
4.2. თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის შექმნა	120
ძირითადი დასკვნები	124
გამოყენებული ლიტერატურა	126

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი I-1 თბოგამტარობის გაზომვა სტაციონალური მეთოდით დაბალი ტემპერატურის პირობებში	24
ნახაზი I-2 თბოგამტარობის გაზომვის სტაციონალური მეთოდის სქემა	25
ნახაზი I-3 კონდიციონერების სტრუქტურული სქემა.....	31
ნახაზი I-4 ეკო-შენობაში ჰაერის ცვლის ორგანიზების სქემა	36
ნახაზი I-5 ჰაერის გაგრილების სქემა შემომზღვედი კონსტრუქციების გამოყენებით.....	37
ნახაზი I-6 ეკო-შენობაში განათების ორგანიზების სქემა	39
ნახაზი I-7 ეკო-შენობის კლიმატიზაციის და განათების მოწყობილობების ავტომატური მართვის სისტემის სქემა	40
ნახაზი II-1 მზის რადიაციის სითბოს გამოყენების სქემა.....	63
ნახაზი II-2 შიგა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სამაგალითო გრაფიკი “წყვეტილი” რეჟიმით გათბობისას	79
ნახაზი III-1 სხვენის სახურავის რეგულარული უჯრედი	88
ნახაზი IV-1 თბური ნაკადის მზომი დანადგარის სქემა (სტაციონარული მეთოდი).....	121
ნახაზი IV-2 თბური ნაკადის მზომი დანადგარის სქემა -30°C –დან +25°C– მდე დიაპაზონში	122
ნახაზი IV-3 ექსპლუატაციაში მყოფი თბოსაიზოლაციო კონსტრუქციების თბური ნაკადის მზომი დანადგარის სქემა	122

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი I.1 გამოსაცდელი მასალა სახეობის და მდგომარეობის მიხედვით:
ოპტიკური, პლასტიკური და ფურცლოვანი..... 26

ცხრილი II.1 მზის ჯამური გამოსხივება ვერტიკალურ ზედაპირზე 68

ცხრილი II.2 საბაზისო შენობა ფაქტიური ზომებით 52X13, მზის
ინსოლაციის გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით.... 71

ცხრილი II.3 შენობა ოპტიმალური ზომებით მზის ინსოლაციის
გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით 72

ცხრილი II.4 ზოგიერთი სამშენებლო მასალის თბოფიზიკური თვისებები
და თბოაკუმულაციის მაჩვენებლების შეფასება..... 82

ცხრილი II.5 შენობის გათბობისათვის გათბობის სეზონზე საჭირო თბური
ენერჯის ხვედრითი ხარჯი (კვტ.სთ/მ²გათ.სეზ.)..... 84

ცხრილი II.6 შენობის გათბობისათვის გათბობის სეზონზე საჭირო თბური
ენერჯის ხვედრითი ხარჯი (კვტ.სთ/მ²გათ.სეზ.) მცირე სართულიანი
სახლებისათვის..... 85

ცხრილი III.1 ჰაერის ელემენტარული უჯრედის ფარგლებში
კომპონენტების გეომეტრული და თბური მონაცემები 91

ცხრილი III.2 სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მაგალითი..... 92

ცხრილი III.3 ჰაერის ვენტილირებადი შრიანი სახურავის გაანგარიშება... 100

ცხრილი III.4 ჰაერის შრის თერმული წინაღობის მნიშვნელობები ჰაერის
შრის სისქის მიხედვით 107

ცხრილი IV.1 წვის პროდუქტების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზი
..... 116

ცხრილი IV.2 გაანგარიშების შედეგები, წყალგამაცხელებელი ბოილერი №1
..... 116

ცხრილი IV.3 გაანგარიშების შედეგები, წყალგამაცხელებელი ბოილერი №2
..... 117

ცხრილი IV.4 წყალგამაცხელებელი ბოილერის გამართვის შემდეგ წვის
პროდუქტების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზი..... 118

ცხრილი IV.5 გამართვის შემდეგ გაანგარიშების შედეგები, ბოილერი №1. 118

ცხრილი IV.6 გამართვის შემდეგ გაანგარიშების შედეგები, ბოილერი №2. 119

ცხრილი IV.7 თბოგამტარობის კოეფიციენტის გასაზომი დანადგარით
მიღებული სხვადასხვა მასალების თბოტექნიკური მაჩვენებლები 123

მადლიერება

გამოვხატავ პატივისცემას და მადლიერებას ჩემი სადისერტაციო თემის მეცნიერ-ხელმძღვანელის, პროფესორ ომარ კილურაძის მიმართ, დისერტაციაზე მუშაობის პერიოდში გაწეული თანადგომისათვის. მადლობას მოვახსენებ სტუ-ს ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის დეკანს პროფესორ გია არაბიძეს და თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტის ყველა პროფესორს სადისერტაციო თემაზე მუშაობის საწყის ეტაპზე პროფესიული კონსულტაციისთვის და რეკომენდაციისთვის.

მადლობას ვუხდის პროექტ „ნათელი“-ის ხელმძღვანელ ქალბატონ ინგა ფხალაძეს და პროექტის თანამშრომლებს სადისერტაციო თემაზე მუშაობის დაწყების გადაწყვეტილების მხარდაჭერისთვის. ასევე მადლობელი ვარ ჩემი ოჯახის და ყველა იმ ადამიანის ვინც სხვადასხვა სახით დახმარება გამიწია მუშაობის პერიოდში.

შესავალი

თემის აქტუალურობა. მსოფლიოში არსებულ გლობალურ პრობლემებში განეკუთვნება წიაღისეული ენერგორესურსების მარაგის შემცირებით გამოწვეული ენერგეტიკული კრიზისი და გარემოს ეკოლოგიური დაბინძურებით მიღებული გლობალური დათბობის პროცესი.

ეკოლოგიურად სუფთა განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების, წყლის რესურსების შენარჩუნების, ეკოლოგიურად სუფთა სამშენებლო მასალებით სარგებლობის და ადამიანების ცხოვრების გარემოს ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემების ცალკეული ასპექტების ცოდნა საკმარისი არ არის. რეალური ენერგოდაზოგვის მისაღებად აუცილებელია სისტემური მიდგომის საფუძველზე შენობის, თბოაგრეგატების და სხვა გარემომცველი გარემოს ეკოლოგიური და ენერგეტიკული მდგომარეობის კომპლექსურად შესწავლა.

სამშენებლო ინდუსტრია ერთ-ერთი მსხვილი ენერგომომხმარებელია, ამიტომ შენობების სითბო-სიცივით მომარაგება, ენერგოეფექტური და ეკოლოგიური ღონისძიებების გატარებით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს და აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

შენობის ფორმა, ზომები და ორიენტაცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შენობის გათბობაზე და გაგრილებაზე მოხმარებული ენერჯის სიდიდეზე. შედეგად აღნიშნული პარამეტრების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა ენერგეტიკული და ეკოლოგიური თვალსაზრისით აქტუალურია.

პრაქტიკაში ადგილი აქვს შენობის გათბობის ისეთი რეჟიმებსაც (ხელოვნურად ან ავარიის შედეგად), როცა სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურა დროის გარკვეულ პერიოდში ნაკლებია ვიდრე მისი ნორმატიული მნიშვნელობა (გათბობის პროცესი “წყვეტილი” რეჟიმით). გათბობაზე დახარჯული ენერჯის მინიმიზაციის მიზნით აქტუალურია გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა.

თბოტექნიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია შენობების გარე შემომზღუდი კედლების, თბოსაიზოლაციო ფენის სისქის, სამშენებლო

მასალის თბოიზოლაციის ხარისხის შეფასება და შესწავლა. ცნობარებში ძირითადად მოცემულია მშრალი მასალების თბოფიზიკური თვისებები, მაშინ როცა მათ შეიძლება მუშაობა მოუწიოთ არასტანდარტულ პირობებში. ამიტომ შენობების კედლების თერმული წინაღობების უშუალო გაზომვა საექსპლუატაციო პირობებში (ობიექტის შესწავლის და რეაბილიტაციის შემდეგ მონიტორინგის დროს) აქტუალურია.

შენობის თბური დაცვა განსაკუთრებით მგრძნობიარეა სახურავიდან სითბოს დანაკარგების მიმართ, ამიტომ შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება, ასევე, აქტუალურია.

თბოაგრეგატების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში, საქვაზე აგრეგატებს შეიძლება გააჩნდეთ გარკვეული დეფექტები, რომლებიც იწვევენ დანადგარის ეკონომიურობისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან გაუარესებას. დეფექტების ერთი ნაწილი აისახება უხეირო პროექტით ან ცუდად შესრულებული მონტაჟით, ხოლო მეორე ნაწილი – მოწყობილობათა ექსპლუატაციის დაბალი დონით.

დეფექტების სრული გამოვლენა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ თბოაგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე, რაც საკმაოდ შრომატევად ამოცანას წარმოადგენს. თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპერეს მეთოდის დამუშავება აქტუალურია, როგორც ენერჯის დაზოგვის კუთხით, ასევე აგრეგატების უსაფრთხო მუშაობის უზრუნველსაყოფად.

სამუშაოს მიზანია:

- ენერგოეფექტური შენობების პროექტირებისა და მშენებლობის დროს რეკომენდაციების შემუშავება შენობის ენერგომომარაგებისათვის საჭირო ენერგორესურსების უფრო ეფექტურად გამოყენების კუთხით;
- დასმული ამოცანის მიხედვით შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ისე შერჩევა, რომ მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი ზემოქმედება და ნეიტარლიზება უარყოფითი ზემოქმედების;

- გათბობის სპეციფიკური „წყვეტილი“ რეჟიმის სტადიების მართვის მეთოდის დამუშავება გათბობის სეზონზე დახარჯული ენერჯის მინიმიზაციის ეფექტით;
- შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება;
- სამშენებლო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის შექმნა და ნიმუშების გამოკვლევა;
- თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპრეს მეთოდის დამუშავება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს სამშენებლო ინდუსტრია, მასში მიმდინარე თბური პროცესებით (თბოენერგომომარაგება), კონკრეტულად ენერგოეფექტური შენობები, ბაგა-ბაღები, უმაღლესი სასწავლებელი, თბომომარაგების აგრეგატები და სხვა. კვლევებისათვის გამოყენებული იყო საკვლევი ობიექტებისადმი სისტემური მიდგომის პრინციპი, ოპტიმიზაციისა და ინოვაციური მეთოდები.

ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების შერჩევის დროს პრიორიტეტი მიენიჭა ისეთ ტექნიკურ გადაწყვეტებს, რომლებიც ერთდროულად ხელს შეუწყობს შენობის მიკროკლიმატის და იმავდროულად გარემოს დაცვის გაუმჯობესებას.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და ძირითადი შედეგები

1. გათბობის სეზონში სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიის მიზნით შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდის გამოყენებით ბაგა-ბაღის ტიპური შენობის მაგალითზე ჩატარებული გამოკვლევებით დადგინდა შენობის ოპტიმალური ზომები, რაც გათბობის დადგმულ სიმძლავრის 31 %-ით შემცირებას განაპირობებს. ახალი შენობების პროექტირების დროს აღნიშნული გამოცდილების გათვალისწინება ენერჯის დაზოგვის მნიშვნელოვანი წყარო იქნება.

2. შექმნილია სამშენებლო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარი და გამოკვლეულია სამშენებლო ინდუსტრიაში ფართოდ გამოყენებული მასალები.
3. შესწავლილია შენობის გათბობის „წყვეტილი რეჟიმის“ სტაციონარული, გაგრილების, მინიმალური ტემპერატურის და ინტენსიური გათბობის პერიოდების კანონზომიერებები. დადგენილია, რომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმუმაცია მიიღწევა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით.
4. დამუშავებულია შენობის სახურავის თბური გაანგარიშების მეთოდის რამელის საშუალებითაც შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული ამოცანისათვის საჭირო თერმული წინაღობის უზრუნველსაყოფად თბოიზოლაციის ოპტიმალური სისქის დადგენა.
5. დამუშავებულია თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპრეს მეთოდი. ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის გათბობის წყალგამაცხელებელი ბოილერების სექსპლუატაციო გამოცდა. დადგენილი იქნა მათი მუშაობის რეჟიმული რუკები, რამაც გამოიწვია აგრეგატების მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდა 87,8%-დან 93,5%-დე. გამოცდების დროს გამოყენებული იყო ნამწვი გაზების ანალიზატორი TESTO 335 და ლაზერული თერმომეტრები.

შედეგების გამოყენების სფერო. სამუშაოში მიღებული შედეგები შესაძლებელია ფართოდ იქნეს გამოყენებული სამშენებლო ინდუსტრიაში: ენერგოეფექტური მრავალფუნქციური შენობების პროექტირებაში; შენობების ფორმის, ზომის, ორიენტაციის, შემომზღუდი კედლების და სასხვენო გადახურვების ოპტიმალური კონსტრუქციების დამუშავებაში; სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოეფექტური და ეკოლოგიური პროექტების შექმნაში. ასევე, დამუშავებული თბოდანადგარების ეფექტურობის შეფასების ექსპრეს მეთოდი ფართოდ შეიძლება გამოყენებული იყოს აგრეგატების მუშაობის დიაგნოსტიკისათვის- დეფექტების გამოვლენაში და რეკომენდაციების შემუშავებაში მათ აღმოსაფხვრელად..

კვლევის შედეგების აპრობაცია და პუბლიკაცია. ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენების სახით წაკითხულ იქნა შემდეგ სემინარებზე და სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციებზე: საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ 2015 ქუთაისი; სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თბო და ჰიდროენერგეტიკის სექცია. სტუ 2015 თბილისი; აკადემიკოს ვახტანგ გომელაურის დაბადების 100 წლისათვის მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“ 2014 თბილისი; 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, 2014 თბილისი; USAID Hydropower Investment Promotion Project (HIPP) organized Conference: “Young Engineers in Georgian Energy Sector” on 17 April, 2013 in Georgian Technical University. Tbilisi; მე-2-ე საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტი 2013 ქუთაისი;

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია შვიდ სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და 57 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 130 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

I თავი. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. შენობის თბური დანაკარგები

შენობის თბური დანაკარგები შედგება ტრანსმისიული და ინფილტრაციული მდგენელისაგან. ტრანსმისიული დანაკარგები განისაზღვრება, როგორც დანაკარგები თბოგადაცემით შენობის შემომზღული კონსტრუქციებიდან. ამ დანაკარგის მნიშვნელობები დამოკიდებულია შენობის კედლების, იატაკის, ჭერისა და ფანჯრების ზომებზე და მათ თბოტექნულ მახასიათებლებზე. უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს შენობის სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნები, რომელიც იძლევა ადამიანის ყოფაცხოვრებისა და შრომის კომფორტულ პირობებს, დამოუკიდებლად შენობის გეოგრაფიული მდებარეობისა. ეს ნიშნავს: შენობის თბური დანაკარგების სიმკვრივის (ვტ/მ^2) ერთანირ მნიშვნელობას. აქედან გამომდინარეობს, რომ ისეთი კლიმატური ზონისათვის რომლისთვისაც გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა დაბალია შენობის თბური დაცვის მოთხოვნები უფრო მაღალია, ანუ გამოიყენება შემომზღული კონსტრუქციები უფრო მაღალი თერმული წინაღობებით. ანუ, სხვადასხვა გეოგრაფიულ ადგილებში აგებულ ერთნაირი ტიპის შენობებს განსხვავებული კლიმატური პირობების მიუხედავად უნდა გააჩნდეთ პრაქტიკულად ერთნაირი ხარისხის თბური დაცვა [1-8].

შენობის გათბობის სისტემის პროექტირების უმნიშვნელოვანეს ეტაპს წარმოადგენს თბოდანაკარგების ანგარიში. გათბობის სისტემის მაქსიმალური სიმძლავრის დასადგენად, რომელიც დაფარავს თბურ დანაკარგებს, საჭიროა შენობის თბოდანაკარგების ცოდნა წლის ცივი პერიოდის ყველაზე უფო მკაცრი პირობებისათვის (წლის ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო ტემპერატურა). ენერგოდაზოგვის პრობლემების გათვალისწინებით აუცილებელია აგრეთვე შენობის თბოდანაკარგების განსაზღვრა გათბობის სეზონის მთელი პერიოდისათვისაც [9-11].

შენობის თბოდანაკარგების ანგარიშის დროს მნიშვნელოვანია შემომზღული კონსტრუქციების თბოგადაცემის კოეფიციენტების სწორი შეფასება. ამასთან მხედველობაშია მისაღები ის, რომ თბოსაიზოლაციო

მასალების მწარმოებელი ფირმები თავიანთ სარეკლამო მასალებში იძლევიან თბოგამტარობის მონაცემებს არა საექსპლუატაციო პირობებისათვის, არამედ მშრალ მდგომარეობაში. ასევე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სწორად შეფასდეს თბოგაცემის კოეფიციენტი შიგა ზედაპირზე, რადგან მისი მომატებული მნიშვნელობის დროს ასევე მომატებული იქნება შიგა ზედაპირის (მაგალითად ფანჯრის) საანგარიშო ტემპერატურაც [6,12].

თბური დანაკარგების განსაზღვრის დროს შემომზადდი კონსტრუქციების თერმული წინაღობის განსაზღვისათვის არსებობს ორი სახის მიდგომა: სავალდებულო და სამომხმარებლო. ზოგიერთ შემთხვევაში გარე შემოზღუდი კონსტრუქციების თბოგადაცემის თერმული წინაღობის შემცირება შესაძლებლობელია სავალდებულო ნორმირებულ მნიშვნელობასთან შედარებით, როცა მოთხოვნილია გარკვეული სამომხმარებლო პირობები.

გასათვალისწინებელია მზის რადიაციით სითბოს მოდინების აღრიცხვის რეკომენდაციები შენობის გათბობის სეზონში თბომომხმარების ანგარიშის დროს. გათბობის სეზონის დასაწყისში და ბოლოს დგება ისეთი შემთხვევები, როცა მზის რადიაციით სითბოს მოდინება აღემატება შენობის თბოდანაკარგებს. ამის გამო ასეთი თბომოდინება შეუძლებელია დაკომპენსირდეს გათბობის სისტემის თბომოდინების შემცირებით - მარეგულირებელი სარქველის დაკეტვით. შედეგად, ასეთ შემთხვევებში შენობის შიგნით ტემპერატურის აწევა ხდება უცილობლად თუ სპეციალური დამატებითი ღონისძიებები არ იქნება გატარებული.

მიღებულია შენობის გათბობისათვის თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი q_F (კვტ.სთ/მ²) გათბობის მთელი სეზონისათვის დაყვანილი შენობის სასარგებლო ფართზე - F (ტექნიკური სართულებისა და ავტოფარეხების გამოკლებით) და იანგარიშება ფორმულით [9]: $q_F = \frac{Q_{გათ.სეზ}}{F}$ (1.1.1)

სადაც $Q_{გათ.სეზ}$ (კვტ.სთ) - არის გათბობის სეზონის მთელ პერიოდში სითბოს ხარჯი, რომელიც ითვალისწინებს როგორც შენობის ტრანსმისიულ სითბოს

დანაკარგებს აგრეთვე ინფილტრაციულ დანაკარგებს და ჰაერის სავენტილაციო ნორმით გათბობაზე დანაკარგებს.

შენობიდან თბური დანაკარგების ძირითადი წყაროა შემინვა. მინის სწორად შერჩევის დროს შესაძლებელია სითბოს დანაკარგების შემცირება და ენერჯის დაზოგვა. მნიშვნელოვანია შემინვის კოეფიციენტის შენობის ორიენტაციის მიხედვით სწორად შერჩევა და გასათვალისწინებელია მინის თვისებები.

მშენებლობაში გამოიყენებული მინის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტებია: კვარცი - ნედლეული, ქვიშის სახით (70-72%); სოდა, რეაქციის კატალიზატორი, კარბონატები და სულფატი (დაახლოებით 14%); კირი, სტაბილიზატორი მყარი ფორმით (დაახლოებით 10%); ზოგიერთი სხვა ოქსიდები - ალუმინის, მაგნიუმის, გამოიყენება მინის ფიზიკური თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, ატმოსფეროს დაბინძურების წინააღმდეგ მდგრადობისთვის. მინის შეფერილობისთვის შეიძლება დაემატოს სხვადასხვა ლითონის ოქსიდები.

მინის წარმოების ძირითადი პროცესებია: ნედლეულის მომზადება, ნედლეულის დნობა, მინის ზედაპირის ფორმირება, მინის გამოწვა და მინის დაჭრა.

მინის ძირითადი მექანიკური თვისებებია: სიმკვრივე - 2.5(კგ/მ³), ზეწოლის წინააღმდეგობა, დაჭიმულობის წინააღმდეგ მდგრადობა, დრეკადობა, ელასტიურობა და თერმული შოკი.

სპეციალური წრთობით თერმული შოკის წინააღმდეგ მინა მედეგი ხდება უკვე 150-200⁰C-მდე ტემპერატურული გრადიენტის დროს.

დედამიწაზე მოღწეული მზის რადიაცია შედგება შემდეგი სხივებისაგან: ულტრაიისფერი სხივები - 3%, ინფრაწითელი გამოსხივება - 54%, ხილული სინათლე - 43%. ულტრაიისფერი ტალღის სიგრძეა 0,28-0,38მიკრომ, ინფრაწითელი გამოსხივების - 0,78-2,5 მიკრომ, ხილული სინათლის - 0,38-0,78 მიკრომ.

როდესაც მზის სხივი ეცემა მინას, ნაწილობრივ აირეკლება, ნაწილობრივ შთაინთქმება, ნაწილობრივ გამჭოლად გაივლის მინას. არეკლილი,

შთანთქმული და გამჭოლი სხივების რაოდენობა დამოკიდებულია მინის სისქეზე, დამატებითი საფარის ჩრდილზე და მინის თვისებებზე. თითოეული ტიპის მინას აქვს თავისი საკუთარი შთანთქმის, არეკვლის და გატარების კოეფიციენტები, რომლებიც იანგარიშება არსებული სტანდარტების შესაბამისად. ფანჯრიდან გამჭოლი სხივით შენობაში მოხვედრილი თბური ენერგია (მზის საერთო რადიაციიდან %)- მზის ფაქტორი წარმოადგენს მინიდან დაკარგული და მიღებული თბური ენერგიების სხვაობა[13].

სინათლის თვისებების, ფასადის მიმართულების და ორიენტაციის ურთიერთდამოკიდებულებიდან გამომდინარე, შენობის დაპროექტების დროს ითვალისწინებენ, რომ ჩრდილოეთ ფასადი, ფაქტიურად არ იღებს პირდაპირ მზის სხივს და შესაბამისად ჩრდილოეთით არ ათავსებენ ისეთ ოთახებს, როგორცაა სამუშაო ოთახები, საკითხავი და კომპიუტერის ოთახი [14,15].

1.2. თბოფიზიკური თვისებების გაზომვის მეთოდები

თბოტექნიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია შენობების გარე შემომზღუდი კედლების, თბოსაიზოლაციო ფენის სისქის, თბოიზოლაციის ხარისხის შეფასება და შესწავლა. ტემპერატურული და თბური ნაკადების ყველა გათვლები ტარდება მასალათა თბოფიზიკური თვისებების გათვალისწინებით. ძირითადი მახასიათებლებია: თბოგამტარობა λ , სითბოტევადობა C , ტემპერატურაგამტარობა α და სიმკვრივე ρ . ეს მახასიათებლები ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგი გამოსახულებით [16-18]:

$$\lambda = \alpha c \rho \quad (1.2.1)$$

თბოგამტარობის კოეფიციენტი ახასიათებს სტაციონალური თბურ რეჟიმს, ხოლო ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი - არასტაციონარულს.

1.2.1. თბოგამტარობის და ტემპერატურაგამტარობის გამოკვლევის მეთოდები

სხვადასხვა სახის მასალა განსხვავებულია თავისი თბოფიზიკური თვისებებით. თბოგამტარობის კვლევის ექსპერიმენტალური მეთოდები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: პირველი ჯგუფი მოიცავს მეთოდებს დაფუძნებულს სტაციონალურ კანონზომიერებებზე; მეორე - ეფუძნება არასტაციონალურ თბურ პროცესებს. ტემპერატურაგამტარობის გაზომვის მეთოდები განეკუთვნება მხოლოდ არასტაციონალური მეთოდების ჯგუფს. მიუხედავად იმისა, რომ თბოგამტარობა და ტემპერატურაგამტარობა დაკავშირებულია მარტივი კანონზომიერებით, მათი გაზომვის მეთოდები ფუნდამენტურად განსხვავებულია. თბოგამტარობის განსაზღვრისთვის გამოყენებულია თბური ნაკადის გაზომვის აბსოლუტური ან შედარებითი მეთოდები, ხოლო ტემპერატურაგამტარობის განსაზღვრისთვის საკმარისია მხოლოდ ტემპერატურული მონაცემები [13,16].

ექსპერიმენტული მეთოდი ემყარება თბურ განტოლებას, რომლის მიხედვითაც ზოგად შემთხვევაში ტემპერატურა იცვლება დროში და სივრცეში (დროის და კოორდინატების მიხედვით). შიდა თბური წყაროების არ არსებობის დროს თბოგამტარობის ზოგადად განტოლებას აქვს შემდეგი სახე [6]:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1.2.2)$$

სადაც,

c_p არის ხვედრითი სითბოტევადობა; ρ - სიმკვრივე; T - აბსოლუტური ტემპერატურა; t - დრო; λ - თბოგამტარობის კოეფიციენტი.

1.2.2. რეგულარული მეთოდი

სხეულის ან სხეულთა სისტემისათვის გარკვეული დროის შემდეგ შეიძლება დადგეს ისეთი თბური მდგომარეობა როდესაც სხეულის ნებისმიერ წერტილში დროის მიხედვით ტემპერატურის ცვლილების ერთნაირი კანონზომიერება მყარდება და ტემპერატურული ველი უკვე აღარ

არის დამოკიდებული ტემპერატურის საწყის განაწილებაზე. ასეთი რეჟიმი, წარმოადგენს რეგულარულ თბურ რეჟიმს [19].

თბოფიზიკური მახასიათებლების გაზომვის სხვადასხვა სწრაფი მეთოდები, დამყარებულია რეგულარული თბური რეჟიმის პრინციპზე, რომლის ძირითადი თეორიაც დამუშავებულია გ. მ. კონდრატიევის მიერ. ჩატარებული თეორიული ანალიზების საფუძველზე მან დადგინა, რომ აღნიშნული მეთოდებით ნივთიერებათა თბოგამტარობის კოეფიციენტი შეიძლება გაიზომოს 3–5% ცდომილებით, ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი 1,5% და სითბოტევადობა 2–6% ცდომილებით.

თბოფიზიკური თვისებების გაზომვის ისეთ მოდელებში, რომლებიც ეფუძნება სტაციონალურ მეთოდებს, ტემპერატურის განაწილება ნიმუშში არ არის დამოკიდებული დროზე. მარტივი გეომეტრიული ფიგურების მქონე ნიმუშებისთვის, განტოლებიდან (1.2.2) თბოგამტარობის კოეფიციენტისათვის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\lambda = \frac{Q}{T_1 - T_2} K_f, \quad (1.2.3)$$

სადაც, Q - არის სითბოს რაოდენობა, რომელიც გაივლის ერთეული დროის მონაკვეთში ორი T_1 და T_2 იზოთერმული ზედაპირების მართობულად. K_f არის ნიმუშის ფორმების (ბრტყელი ფირფიტა, ცილინდრი, სფერო) კოეფიციენტი.

ექსპერიმენტულად λ განისაზღვრება ცნობილი გეომეტრიის ნიმუშისთვის თბური ნაკადის Q და ტემპერატურათა T_1 და T_2 სხვაობების გაზომვების საფუძველზე. ტოლობაში (1.2.3) მიღებულია დაშვება, რომ თბოგამტარობის კოეფიციენტი λ არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე ტემპერატურული გრადიენტის მცირე მნიშვნელობების პირობებში.

საზომი ისეთი მოდელების გამოყენებისას, რომელიც ეფუძნება სტაციონალურ მეთოდებს, მთავარი სირთულები უკავშირდება ერთგვაროვანი თბური ნაკადის პირობების დაცვას. უნდა გამოირიცხოს სითბოს პარაზიტული დანაკარგები და განხორციელდეს იდეალური კონტაქტი ნიმუშსა და მოდელის სხვა ელემენტებს შორის. ასევე,

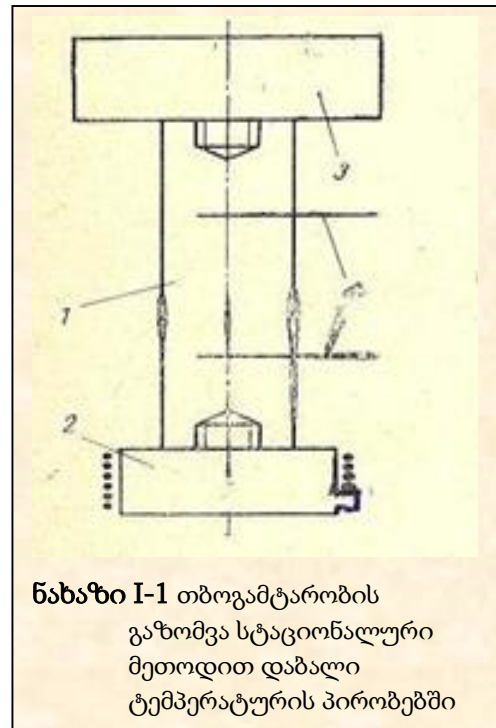
სტაციონალური მეთოდის ძირითად მიზნს წარმოადგენს მოთხოვნილი ტემპერატურის შესაბამისი თბური წონასწორობის პირობების დასამყარებლად საჭირო დიდი დრო. ასეთი სტაციონალური მეთოდის გამოყენება პრაქტიკულად გამორიცხულია პოლიმერებისთვის, რადგან ტემპერატურის მომატების შემთხვევაში, მოსამზადებელ პერიოდს შეიძლება თან ახლდეს პოლიმერის დაჟანგვის და დეგრადაციის პროცესები [16].

აღსანიშნავია ისიც, რომ სწორად ჩატარებული სტაციონალური მეთოდებით მიღებული მონაცემები მნიშვნელოვნად ზუსტი და საიმედოა.

საზომი დანადგარები, რომელთა მუშაობის პრინციპები ეფუძნება სტაციონალური თბური ნაკადის მეთოდებს იყოფა სხვადასხვა ნიშნებით: ნიმუშის გეომეტრია, გაზომვის საშუალებები და დანაკარგების კომპენსაციის მეთოდები, გათბობის მახასიათებლები, გამათბობლების განთავსების ადგილები და ა.შ. თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის დადგენა შეიძლება აბსოლუტური მეთოდის ან ფარდობითი მეთოდის გამოყენებით (ამ უკანასკნელ შემთხვევაში გამოყენებულია ცნობილი თბოგამტარობის მქონე ნივთიერება- ეტალონური ნივთიერება).

დაბალი ტემპერატურის პირობებში თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი ერთ-ერთი სქემა ნაჩვენებია ნახ. 1-1. [16].

თბური რეჟიმის დამყარებისას განისაზღვრება ტემპერატურათა სხვაობა ΔT ორ ფიქსირებულ წერტილს შორის ცილინდრულ ნიმუშზე (1). ნიმუში (1) მოთავსებულია ორ (2 და 3) ცილინდრს შორის. თბური ნაკადი იქმნება ქვედა ცილინდრზე დახვეული გამხურებლის საშუალებით. ნიმუშის სიგრძე აიღება 5–



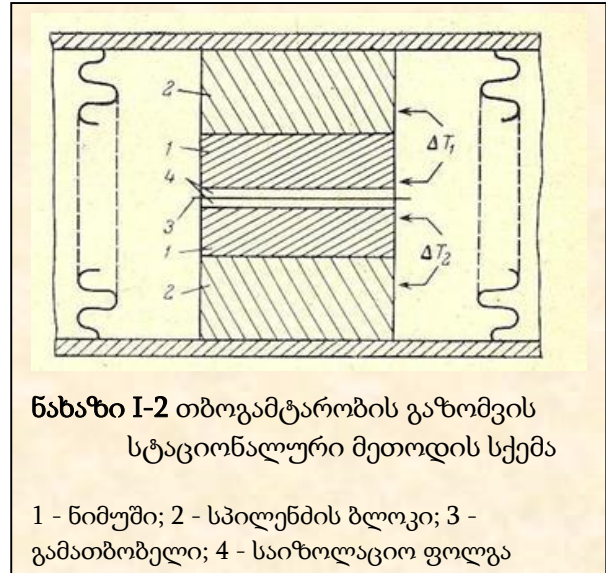
ნახაზი I-1 თბოგამტარობის გაზომვა სტაციონალური მეთოდით დაბალი ტემპერატურის პირობებში

10სმ–ის ზღვრებში, როცა ნიმუშის დიამეტრია 1–2სმ. თბოგამტარობის

კოეფიციენტის განსაზღვრის სიზუსტე ტემპერატურების მიხედვით იცვლება ზღვრებში 4–10%.

ტემპერატურულ ინტერვალში -180 დან $+100^{\circ}\text{C}$ თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზომვისათვის ფართოდ გამოყენებულია სქემა, რომელიც მოცემულია ნახაზზე [16] (ნახაზი 1-2).

ორი ნიმუში (1) თხელი ფირფიტის სახით (სისქით $5-10\text{მმ}$), მოთავსებულია გამათბობლის მიმართ სიმეტრიულად განლაგებულ, სპილენძის ფირფიტებს (2) შორის. საზომი უჯრედი მოთავსებულია თერმოსტატში. ნიმუშის ტემპერატურები იზომება თერმოწყვილებით, რომელთა



ნარჩილები მოთავსებულია სპილენძის ფირფიტებში და გამათბობლის ზედაპირებზე ამოტვიფრულ ღრმულებში. თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზომვის აბსოლუტური სიზუსტე შეადგენს $\pm 2\%$. მნიშვნელოვანია ნიმუშის კარგი კონტაქტი გამათბობელსა და ფირფიტებს შორის (განსაკუთრებით მყარი ნიმუშის შემთხვევაში). როცა საკონტაქტო ღრეჩოებში ჰაერია თბური წინააღმდეგობა მყარ სხეულებს შორის იზრდება და შესაბამისად ნიმუშის თბოგამტარობის კოეფიციენტი გამოდის ხელოვნურად შემცირებული. თუ ღრეჩოებში სითხეა მაშინ კონტაქტები მნიშვნელოვნად უმჯობესდება და ნიმუშის თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზრდილი მნიშვნელობა ახლოსაა მის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან. საკონტაქტო ღრეჩოში სითხის გამოდევნის პირობებში ადგილი აქვს თბოგამტარობის კოეფიციენტის საგრძნობ სწრაფ ზრდას.

ცხრილში 1.1 მოცემულია თბოგამტარობის კოეფიციენტის კვლევის რეკომენდირებული მეთოდები გამოსაცდელი მასალის სახეობისა და მდგომარეობის მიხედვით [16].

ცხრილი I.1 გამოსაცდელი მასალა სახეობის და მდგომარეობის მიხედვით:
ოპტიკური, პლასტიკური და ფურცლოვანი

გამოსაცდელი მასალები		აღწერილობითი დაჯგუფება	გამოკვლევის მეთოდი	მეთოდის მოკლე აღწერილობა
სახეობა	მასალის აღწერილობა			
ოპტიკური	მშრალი	α, λ	ა) ცილინდრული ზონდი	ტემპერატურული გარემო; ცდომილება 5-7%; ცდის ხანგრძლივობა 30 წუთი
			ბ) ტემპერატურის წრფივი ცვლილება, პირველი ვარიანტი	დინამიკური გამოცდა ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში; ცდომილება 5-7%
ფირფიტა	მშრალი; γ 3000 კგ/მ ³ -დე	α, λ	ა) მუდმივი წრფივი თბური ნაკადი	ოთახის ტემპერატურის გარემო; ნიმუში ზომებით 100X100X25 და 100X100X50 მმ; ცდომილება 3-7%; ცდის ხანგრძლივობა 15-50 წუთი.
			ბ) მუდმივი ცილინდრული თბური ნაკადი	ოთახის ტემპერატურის გარემო; ცდომილება 5-7%; ცდის ხანგრძლივობა 30 წუთი.
	მშრალი ად ტენიანი; 3000 კგ/მ ³ -დე	α, $\sigma\gamma$	მუდმივი თბური ნაკადი	დინამიკური გაზომვა ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში, ნიმუშის ფორმა პლასტიკური სისქით 8-15მმ; ცდომილება <5-7%; ცდის ხანგრძლივობა \leq 40 წუთი.
ფურცლოვანი	მშრალი, მკვრივი და მცირე ფორებით	α	დინამიკური აკალორიმეტრი	დინამიკური გაზომვა -80 +1000°C დიაპაზონში; ნიმუშის სისქე 2-6მმ; ცდომილება 2-3%

1.2.3. არასტაციონალური მეთოდები

თბოგამტარობის ზოგადი განტოლების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება სხვადასხვა მასალების თბო და ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდების დამუშავება. საწყის პერიოდში ტემპერატურული ველი დროის მიხედვით იცვლება, არასტაციონალური კანონით. გარკვეული პერიოდის გავლის შემდეგ მომდევნო სტადიებისათვის, საწყისი პირობა (არასტაციონარული პერიოდი) არანაირ გავლენას არ ახდენს პროცესის მიმდინარეობაზე. ზღვარი ამ მეთოდებს შორის დგინდება ფურიეს კრიტერიუმით [6]:

$$F_0 = at / \delta^2 , \quad (1.2.4)$$

სადაც, t - დრო, δ - მახასიათებელი ზომა.

არასტაციონალური სტადიისთვის $F_0 < 0.5$, ხოლო რეგულარული რეჟიმისათვის - $F_0 > 0.5$.

სტადიების მიხედვით ტემპერატურული ველის ცვალებადობა არასტაციონალური მეთოდის დროს იყოფა სუფთა არასტაციონალურ და რეგულარული რეჟიმის მეთოდებად. სუფთა არასტაციონალური მეთოდით ტემპერატურული ველის ცვლილება დაკავშირებულია სხეულის გეომეტრიასთან, მის თბოფიზიკურ თვისებებთან, სასაზღვრო და საწყის პირობებთან. თბური ბალანსის შედგენის საფუძველზე შესაძლებელია ექსპერიმენტის საშუალებით ერთდროულად განისაზღვროს თბოგამტარობის, ტემპერატურაგამტარობის და სითბოტევადობის კოეფიციენტები. დამუშავებულია რეგულარული რეჟიმის ორი ძირითადი მეთოდი: 1. დაფუძნებული ნიმუშის ტემპერატურული ველის ცვლილების შესწავლაზე მუდმივი ტემპერატურის გარსაცმით (რეგულარული რეჟიმის პირველი სახე); 2. დაფუძნებული ნიმუშის ტემპერატურული ველის ცვლილების შესწავლაზე მუდმივი სიჩქარით ცვალებადი ტემპერატურის გარსაცმით. (რეგულარული რეჟიმის მეორე სახე ან კვაზისტაციონალური რეჟიმი) [19].

ამ მეთოდების უპირატესობა სტაციონალური თბური ნაკადის მეთოდებთან შედარებით მდგომარეობს იმაში, რომ შესაძლებელი ხდება ნივთიერებათა თბოფიზიკური მახასიათებლების კომპლექსის სწრაფად განსაზღვრა. გარდა ამისა შესაძლებელია მცირე ზომის ნიმუშების გამოყენება და დანადგარებიც კონსტრუქციულად მარტივია.

1.3. პირველი ენერგოეფექტური შენობები

ეკოლოგიურად სუფთა განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების, წყლის რესურსების შენარჩუნების, ეკოლოგიურად სუფთა სამშენებლო მასალებით სარგებლობის და ადამიანების ცხოვრების გარემოს ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემების ცალკეული ასპექტების ცოდნა არ არის საკმარისი: რეალური ენერგოდაზოგვის მისაღებად აუცილებელია სისტემური მიდგომის საფუძველზე შენობისა და გარემომცველი გარემოს ეკოლოგიური და ენერგეტიკული მდგომარეობის კომპლექსურად შესწავლა. ამის მაგალითია 1972 წელს მანჩესტერში და 1973 წელს ჰელსინკის ახლოს ოტანიემში აგებული პირველი ენერგოეფექტური შენობები ენერგოდაზო-გავი ღონისძიებებით [20,21].

პირველი ენერგოეფექტური შენობა მანჩესტერში (აშშ)

პირველი სადემონსტრაციო ენერგოეფექტური შენობა წარმოადგენდა საერთო სამსახურის ფედერალურ საოფისე შენობას. იმ დროისათვის ცხადი გახდა, რომ იაფი ორგანული სათბობის ხანა ჩაბარდა წარსულს. ენერჯის მოხმარება, რომელიც წარსულში ითვლებოდა იაფი, გახდა შენობების პროექტირებისას მნიშვნელოვანი პარამეტრი. ენერგეტიკული კრიზისის პრობლემებს დაუპირისპირდა სადემონსტრაციო ენერგოეფექტური შენობის აგება, რომელშიც შესაძლებელი გახდა საუკეთესო ტექნიკური გადაწყვეტების გამოკვლევა და მისი შემდგომი ტირაჟირება ანალოგიური შენობების მშენებლობის დროს [31].

კლიმატური პირობები. მშენებლობის რაიონის ძირითადი კლიმატური მახასიათებლებია: გეოგრაფიული კორდინატები - 43 ჩრდილოეთ განედის და 71 დასავლეთის გრძედი; საშუალო წლიური ტემპერატურა +8.1°C; ყველაზე ცივი თვის საშუალო ტემპერატურა – 11.3°C; ყველაზე ცხელი თვის საშუალო ტემპერატურა +20.9°C; გათბობის სეზონის გრადუს-დღეების რიცხვი – 3901; გაგრილების პერიოდის გრადუს-დღეების რიცხვი – 190.

იმის გათვალისწინებით, რომ შენობაში სამუშაო დღეებში 8⁰⁰-18⁰⁰ საათებში იმყოფება 600 ადამიანი, შეწოვილი ჰაერის საერთო რაოდენობა შეადგენს 25200 მ³/სთ, რომელიც შეიცავს ინფილტრაციით მიღებული 7500 მ³/სთ ჰაერის რაოდენობას. წლის სხვადასხვა დროს, თუ შენობაში არ იმყოფებიან ადამიანები არ ირთვება გაგრილებისათვის ჰაერის კონდიციონერების სისტემა და ასევე გათბობა.

ენერგოდამზოგვის ღონისძიებების შერჩევის რეკომენდაციები. აღნიშნული პროექტის ფარგლებში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების შერჩევისათვის გათვალისწინებული იყო რეკომენდაციები შემდეგი მიმართულებით: შენობის ფორმასა და ორიენტაციაში ცვლილება; შენობაზე ქარის ზემოქმედების ოპტიმიზაცია; გარე შემომზღული კედლების თბოდაცვისა და თბოაკუმლაციის თვისებების ამაღლება; თბოსაიზოლაციო ფენის გათვალისწინება; შემინვის ფართის შემცირება; მზისგან დამცავი (ზაფხულში) და მზიის რადიაციის სითბოს გამოყენება (ზამთარში) გათბობის სისტემაში.

კლიმატიზაციის სისტემა. შენობის სხვადასხვა ნაწილში დაპროექტებულია კლიმატიზაციის განსხვავებული სისტემები, რომლებიც ჩვეულებრივი, არსებული სისტემებისაგან განსხვავებით ხასიათდება ენერგოდამზოგი ეფექტებით (ნახ. 1-3).

პროექტირების პრაქტიკაში გამოიყენება გათბობის, ვენტილაციისა და კონდიციონერების სისტემების ენერგეტიკული დატვირთვის განსაზღვრის ორი მეთოდი: პირველი მეთოდის მიხედვით გაანგარიშება ტარდება

შენობის გარე და შიგა კლიმატური პარამეტრების სტაციონალური პირობებისათვის, მეორე მეთოდის შესაბამისად შენობის გარე და შიგა კლიმატური პარამეტრები არასტაციონალურია [9].

გაანგარიშების სტაციონალური მეთოდი საკმაოდ მიახლოებითია, რომელიც უზრუნველყოფს საკმარისად მარტივად მრავალვარიანტული გათვლების ჩატარებას და როგორც წესი შედეგად მიიღება დატვირთვების მომატებული მნიშვნელობები.

გაანგარიშების მეორე – არასტაციონალური მეთოდი ითვალისწინებს შემომზადებული კონსტრუქციების თბოაკუმულაციის თვისებებსაც. ეს მეთოდი შედარებით რთულია და მოითხოვს მაღალკვალიფიკაციის სპეციალისტების მიერ მათემატიკური მოდელირების თეორიისა და კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებას.

შენობის კლიმატიზაციის სისტემა გამოითვალა შედეგების სანდოობის 95% უზრუნველყოფით, ტრადიციული მეთოდოლოგიისაგან განსხვავებული წესით: შენობის კლიმატიზაციის სისტემისათვის შერჩეული იყო ტემპერატურის დიაპაზონი - 15°C - 20°C , ნაცვლად ადრე მიღებული მნიშვნელობისა - 26°C – 22.8°C (მანჩესტერისათვის). მოცემული რეგიონისათვის ვიწრო ტემპერატურული დიაპაზონის შემოღება დასაბუთებულია იმით, რომ სისტემას აქვს უნარი გარემოს უფრო მკაცრი პირობების კომპენსაცია იმის გამო, რომ გამოყენებულია ძალიან დაბალი ტემპერატურის თბომტარი (40.6°C გათბობის რადიატორებზე), რომლის ტემპერატურაც ადვილად შეიძლება გაიზარდოს საჭიროების შემთხვევაში. ამრიგად სისტემა გათვლილია ნორმალური პირობებისათვის, მაგრამ მუშაობის შესაძლებლობით კრიტიკულ პირობებში, რაც ენერჯის ეკონომიის თვალსაზრისით უკეთესია, ვიდრე როცა სისტემა გათვლილია მუშაობის კრიტიკული პირობებისათვის, მაგრამ ისეთი მუდმივი დატვირთვის რეჟიმით მუშაობისათვის, რომელიც მნიშვნელოვნად ნაკლებია მაქსიმალურ დატვირთვაზე.

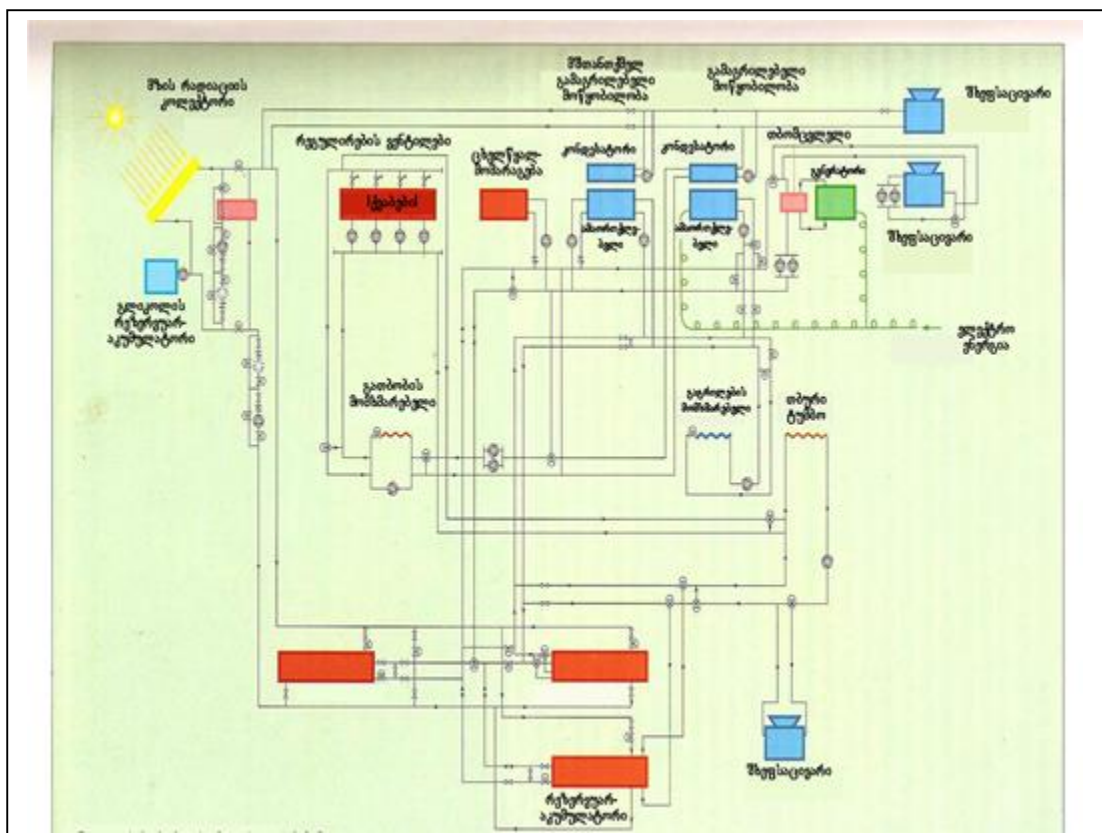
კლიმატიზაციის სისტემაში გათვალისწინებულია გადინებითი ჰაერის სითბოს უტილიზაცია და თბური ტუმბოების გამოყენება.

გარე მოდინებითი ჰაერის საანგარიშო მოცულობად აღებულია 10მ³/სთ ერთ ადამიანზე, ნაცვლად ნორმით გათვალისწინებული 42მ³/სთ ერთ ადამიანზე. რეცირკულაციის ჰაერთან ერთად ჰაერის ცვლის მოცულობამ ერთ ადამიანზე შეადგინა 84მ³/სთ.

გარე მოდინებით ჰაერის მიღებული მნიშვნელობა უზრუნველყოფდა ნახშირორჟანგის დასაშვებ ზღვრულ კონცენტრაციას და ამცირებდა ენერგიას, რომელიც საჭიროა გარე ჰაერის შეთბობაზე.

კორიდორებში, გასასვლელებში, დასასვენებელ ოთახებში, დამხმარე და ტექნიკურ სათავსებში ზამთრის პერიოდში დასაშვები იყო ტემპერატურის შემცირება 18 °C-დე, ხოლო ზაფხულის პერიოდში 27°C-დე.

ზედა სართულებისათვის ჰაერის დამუშავების საჭირო ყველა მოწყობილობა განთავსებულია ტექნიკურ სხვენში. აქვე მოდულური



ნახაზი I-3 კონდიციონირების სტრუქტურული სქემა

ქვაბები და ჰაერის რეცირკულაციისა და გამწოვი სავენტილაციო ჰაერის სისტემების ვენტილატორები. ოთხი გაზის ქვაბის ჩართვა ხდება ავტომატურად საჭიროების შემთხვევაში. ქვედა სამი სართულისათვის ჰაერის დამუშავების მოწყობილობები და თბური ტუმბოები მოთავსებულია შესაბამის სართულებზე. უმრავლესი თბური ტუმბო მოთავსებულია ტექნიკურ სართულზე. სარდაფში დადგმულია შენობის ძალოვანი ტრანსფორმატორი და ელექტრო გამანაწილებელი ერთ-ერთი ფარი.

შენობის აღმოსავლეთის, დასავლეთის და სამხრეთის ზონებში პირველ, მეორე და მესამე სართულებზე დაყენებულია დახურული ტიპის ერთიანი თბური ტუმბოს სისტემა “წყალი-ჰაერი”.

სამუშაო პერიოდში გაცივების რეჟიმში მომუშავე ყველა თბური ტუმბოდან აღებული ჭარბი სითბო აკუმულირდება ცხელი წყლის შესანახ რეზერვუარებში ტევადობით 38მ³ (სამი რეზერვუარი), რომლებიც მოთავსებულია სარდაფში. ეს რეზერვუარები წარმოადგენს ღამის პერიოდში ან არასამუშაო დღეს გათბობის რეჟიმში მომუშავე თბური ტუმბოებისათვის სითბოს წყაროს როცა საჭიროა გათბობა. მოცემული რეზერვუარები შეიძლება გამოყენებული იქნეს მზის რადიაციის სითბოს აკუმლაციისათვის.

გაგრილების რეჟიმისათვის გამოყენებულია 88კვტ სიმძლავრის (25 ტონა სიცივე) აბსორბციული გამაციებელი და 211კვტ. სიმძლავრის (60 ტონა სიმძლავრე საათში) ელექტრო გამაციებელი.

ერთ-ერთი რეზერვუარი (მოცულობით 38მ³) მოთავსებულია მიწის ქვეშ გაციებული წყლის შესანახად, როცა მასზე დაბალი მოთხოვნაა და გამოიყენება დღის განმავლობაში პიკური დატვირთვის დასაფარად. ამრიგად წყლის გამაცხელებლის დატვირთვისაგან დამოუკიდებლად შეუძლია მაქსიმალური ეფექტურობით მუშაობა.

პროექტით გათვალისწინებულ მოწყობილობებს თუ განვიხილავთ ცალკეულად, არ წარმოადგენს რაიმეთი უნიკალურს, რომელიც

დამახასიათებელია მხოლოდ მოცემული შენობისათვის, მაგრამ მათი ერთობლივი უნიკალური კომბინაციით მიიღწევა მთავარი ამოცანა – ენერგოდაზოგვა.

განათების სისტემა. საოფისე შენობებში ხელოვნური განათების სისტემა წარმოადგენს ენერჯის ძირითად მომხმარებელს. მოცემულ პროექტში გამოყენებულია ხელოვნური განათების სხვადასხვა სისტემა, თითოეული მათგანის ენერგეტიკული ეფექტურობის შესწავლის მიზნით.

შენობის პირველ სართულზე განლაგებულია ისეთი სამსახურები, რომლებიც მოითხოვს ხშირ კონტაქტს მომხმარებლებთან ამ ნაწილში (ჭერის სიმაღლე 4მ) დამონტაჟებულია განათების მარტივი სისტემა 90X90სმ ზომის განათების ხელსაწყოები 3მ-ის ბიჯით, ჭადრაკული განლაგებით. ჰოლებში დაყენებულია გაზის განმუხტავი მაღალი ინტენსიური განათება.

მეორე სართულის აღმოსავლეთ, სამხრეთ და დასავლეთ მიმართულებით (დიდი შემინვით) გამოყენებულია განათების ბუნებრივი სისტემა. შედეგები დარდება დანარჩენი ექვსი სართულის (შემინვის დაბალი კოეფიციენტის) განათების სისტემის ენერგეტიკულ მონაცემებთან. აქ გამოყენებულია განათების მოწყობილობა ერთი ლუმინისცენტური ნათურით (40ვტ. სიმპლავრის), რომელიც დგება შეკიდულ ჭერზე და გააჩნია ორმხრივი სინათლის გამანაწილებელი ლინზები. იქვე განლაგებულია გამთიშველი ფოტოელემენტები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გარე განათებაზე გადართვას, როცა საკმარისი რაოდენობითაა ბუნებრივი განათება.

გამოყოფილია სართულები, სადაც გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის სანათი მოწყობილობებით. მიწისქვეშა დონეებზე გამოყენებულია ვერცხლისწყლიანი სანათი მოწყობილობები.

საზომი აპარატურა. სხვადასხვა ენერგოდამზოგი ღონისძიებების რეალური შედეგების შესაფასებლად ჩატარდა გაზომვები და შენობის მონიტორინგი. მთელ შენობაში დაყენებული იქნა 700-მდე გარდამსახი,

რომლებითაც იზომებოდა შემდეგი პარამეტრები: ჰაერის ტემპერატურა, ტენიანობა, წნევა; ჰაერის და ელექტროენერჯის ხარჯი; მზის რადიაცია და სათავსების განათებულობა.

პირველი ეკონომ-შენობა ფინეთში

ენერგოეფექტური შენობა “ეკონომ-შენობა” აგებული იქნა ჰელსინკის ახლოს ოტანიემში. პროექტის თავისებურება მდგომარეობდა იმაში, რომ იგი წარმოადგენდა შენობის გარეგნულად ერთნაირ ორ სექციას. ერთი მათგანი აგებული იყო იმ მომენტისათვის (1973წ) არსებული სამშენებლო ნორმების მიხედვით, რომელიც არ ითვალისწინებდა ენერგოდაზოგვის კუთხით ინოვაციურ გადაწყვეტებს, ხოლო მეორე სექციაში გამოყენებული იყო ასეთი ღონისძიებები. თითოეული სექციის ენერგომომხმარების შედარების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ენერგოდაზოგი ღონისძიებების ეფექტურობის შეფასება. შენობის მეორე სექცია აშენდა 1979წელს. პროექტირების დროს ოპტიმალური ენერგოდაზოგი გადაწყვეტების შერჩევა და მახასიათებელი პარამეტრების დადგენა შესაძლებელი გახდა კომპიუტერული მოდელირების გამოყენებით.

გარე შემომზღუდი კონსტრუქციები. შენობაში განხორციელებულია გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების ენერგოეფექტურობის ამალღების ორი მიმართულება, რაც უზრუნველყოფს თბოდანაკარგების დადაბლებას და შენობის გათბობაზე და გაგრილებაზე დანახარჯების შემცირებას:

1. შენობის ის ადგილები რომლებიც იღება, ფანჯრის რამების და სხვა მსგავსი ელემენტების მაღალეფექტური შემჭიდროვება ჰაერის ინფილტრაციით სითბოს დანაკარგების შემცირების მიზნით;

2. შემომზღუდი კონსტრუქციების სითბოტევადობის გაზრდა სითბოს აკუმლირებისათვის და შენობის თბომდგრადობის ასამალღებლად ეფექტური შემჭიდროვება (შენობის ჰერმეტიზაცია) უზრუნველყოფს ჰაერის გაპარვებს და შენობის გათბობაზე დანახარჯების შემცირებას, რადგან გარე ჰაერის ინფილტრაცია ტრადიციული შენობების თბოდანაკარგების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიზეზია.

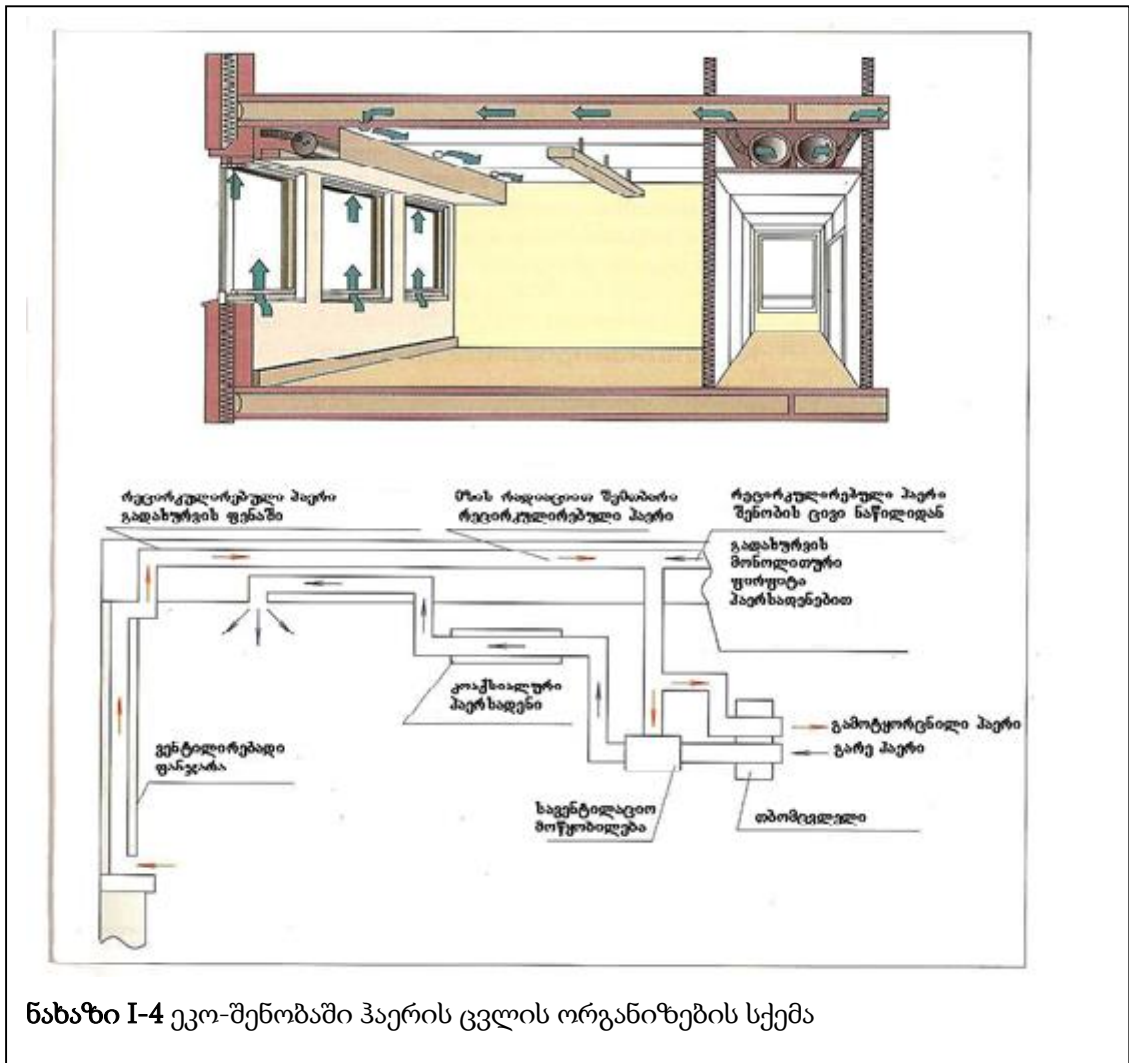
შენობაში დღის განმავლობაში გამომუშავდება სითბო ხელოვნური განათებით, მზის რადიაციით, ადამიანებიდან და მოწყობილობებიდან (მაგალითად კომპიუტერებიდან) სითბოს გამოყოფით. ტრადიციული კონსტრუქციის შენობებში ანალოგიურმა თბოგამოყოფამ შეიძლება გამოიწვიოს შენობის გადახურება. ასეთი “თავისუფალი” სითბო ენერგოეფექტურ შენობაში სასარგებლოდ გამოიყენება.

შენობის გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების სითბოტევადობა მაღალია. დღის განმავლობაში გარე შემომზღუდი კონსტრუქციის მასალები (განსაკუთრებით ბეტონის კედლები და გადახურვები) შთანთქმავს ჭარბ სითბოს. ღამის პერიოდში, როცა შენობა არ არის დაკავებული, ადგილი არ აქვს მზის რადიაციით სითბოს მოდინებას, გამორთულია ხელოვნური განათების ხელსაწყოები და სხვა მოწყობილობები, სითბო დაგროვილი შემომზღუდი კონსტრუქციებში, უკან ბრუნდება გამოსხივებით და ათბობს სათავსებში ჰაერს.

შემომზღუდი კონსტრუქციების სითბოტევადობა იზრდება იმის გამო, რომ რეცირკულაციის ჰაერის სითბოს უტილიზაციისათვის გამოიყენება დიდი სითბოტევადობის მქონე თბომცვლელი გადახურვის ღრუ პანელების სახით.

ადმინისტრაციულ შენობებში დიდი თბური დატვირთვა მოდის სავენტილაციო გარე ჰაერის შეთბობაზე. “ეკო-შენობა”-ში შენობის ჰაერის კომფორტული პარამეტრების შესანარჩუნებლად საჭიროა გარე ჰაერის მცირე რაოდენობა, რაც ამცირებს ენერჯის დანახარჯებს მის შეთბობაზე. ადმინისტრაციულ შენობებში ახალ ჰაერზე მოთხოვნები ჩვეულებრივ განისაზღვრება ნახშირორჟანგის კონცენტრაციით, რაც განპირობებულია შენობაში მყოფი ადამიანებით. შენობაში დაყენებულია გარდამსახები ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის კონტროლისათვის. ჰაერში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის შესაბამისად განისაზღვრება გარე ჰაერის რაოდენობა, რომელიც დაემატება სარეცირკულაციო ჰაერს. შენობაში დამონტაჟებულია ვენტილაციასთან შეთავსებული ჰაერით გათბობის

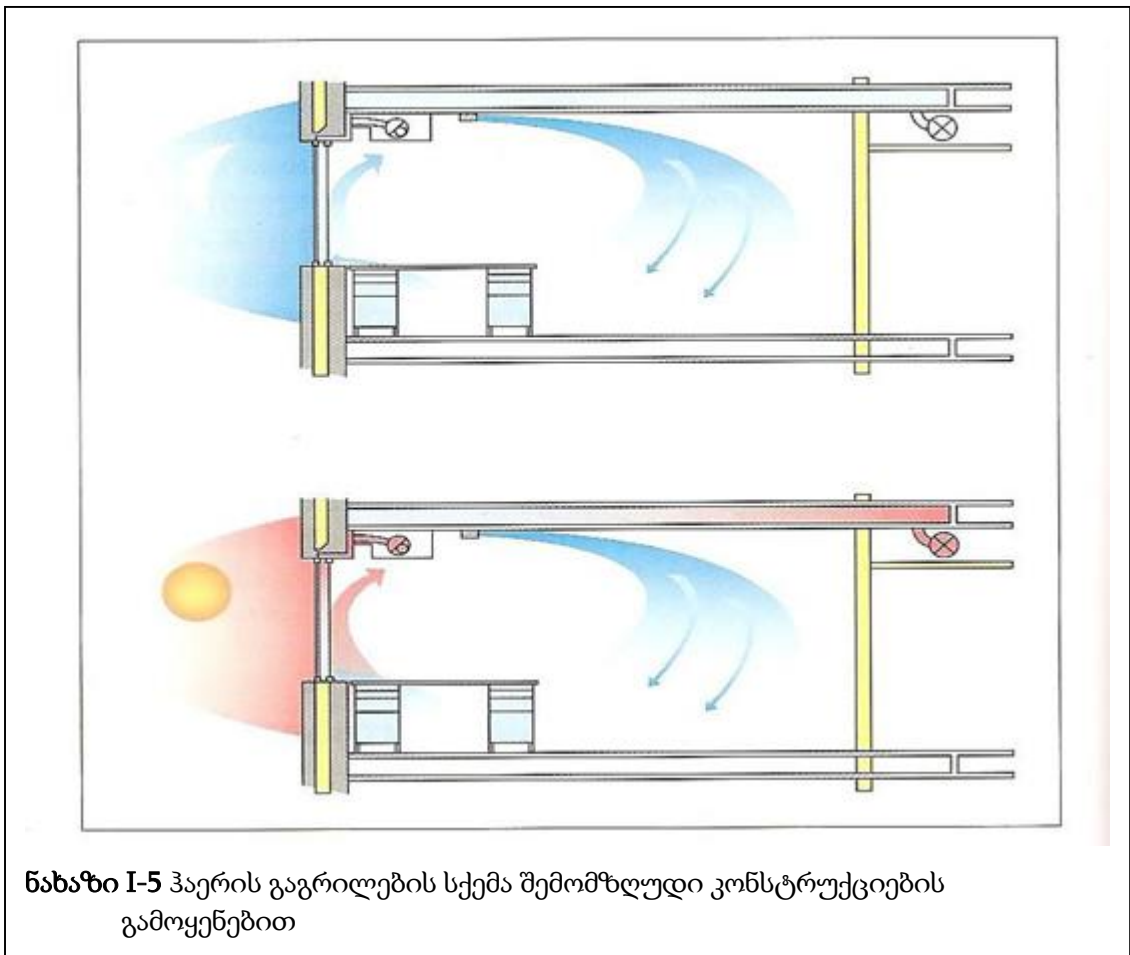
სისტემა. ჰაერის გაწოვა შენობიდან ხდება ვენტილირებადი ფანჯრის შიდა სივრციდან. დღის პერიოდში მზიანი ამინდის პირობებში ჰაერი შთანთქმავს



მზის რადიაციის სითბოს 55%-ს. შემდეგ ჰაერი გროვდება ჰაერსადენებში, რომლებიც წარმოადგენს გადახურვის პანელებში ცილინდრულ სიცარიელებს და გადასცემს სითბოს შემომზღულ კონსტრუქციას. შემდეგ რეციკულირებადი ჰაერი შემთბარი ვენტილირებადი ფანჯარაში მზის რადიაციის სითბოთი, ერევა შენობის უფრო ცივი (ჩრდილოვანი) ნაწილიდან მოდინებულ რეციკულირებადი ჰაერს და მიეწოდება მოდინებით დანადგარში, სადაც იწმინდება, ტენიანდება, საჭიროების შემთხვევაში შეთბება. შენობის ჰაერში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციისაგან დამოკიდებულებით, რეციკულაციის ჰაერს შეიძლება დაემატოს გარკვეული რაოდენობის გარე ახალი ჰაერი.

მოდინებითი გარე ჰაერი გაივლის თბომცვლელში, სადაც თბება გაწოვილი ჰაერის სითბოს ხარჯზე, შემდეგ დამატებით თბება სითბოს გარე წყაროს საშუალებით.

ჰაერის კონდიცირება. ზაფხულის პერიოდში ადმინისტრაციულ შენობებში რადგან ადგილი აქვს სითბოს მოდინებას ფანჯრებიდან მზის რადიაციით, აგრეთვე სითბოს გამოყოფას განათების ხელსაწყოებიდან და შენობაში მყოფი ადამიანებიდან, გათვალისწინებულია ჰაერის კონდიცირების სისტემა. “ეკო-შენობის” თავისებურებიდან გამომდინარე შენობაში სითბოს მოდინება მზის რადიაციით მცირდება ვენტილირებადი



ფანჯრების გამოყენების გამო, ხოლო გარემოს დღე-ღამური ტემპერატურის ცვლილება შერბილებულია თბოტევადი შემომზადებული კონსტრუქციებით. ღამის საათებში შენობაში ტემპერატურა შენარჩუნებულია კომფორტული პირობების შესაბამის ტემპერატურაზე უფრო დაბალი. შედეგად ცივდება მასიური თბოტევადი შემომზადებული კონსტრუქციები, ხოლო დღის

პერიოდში, როცა გარე ჰაერის ტემპერატურა იზრდება, შემომზღული კონსტრუქციები ასრულებენ სითბოს მშთანქმელის როლს და დამატებით აგრილებენ შენობას.

გამოკვლევებით შესწავლილია სანათი მოწყობილობების ურთიერთ განლაგების სხვადასხვა გეგმა, დადგენილია “ეკო-შენობის” განათებულობა 800-900 ლუქსი, ამ დროს სანათი მოწყობილობების ენერგომოხმარება არ აღემატება 173ვტ/მ², რაც 50%-ით ნაკლებია ანალოგიური ტრადიციულ შენობებთან შედარებით.

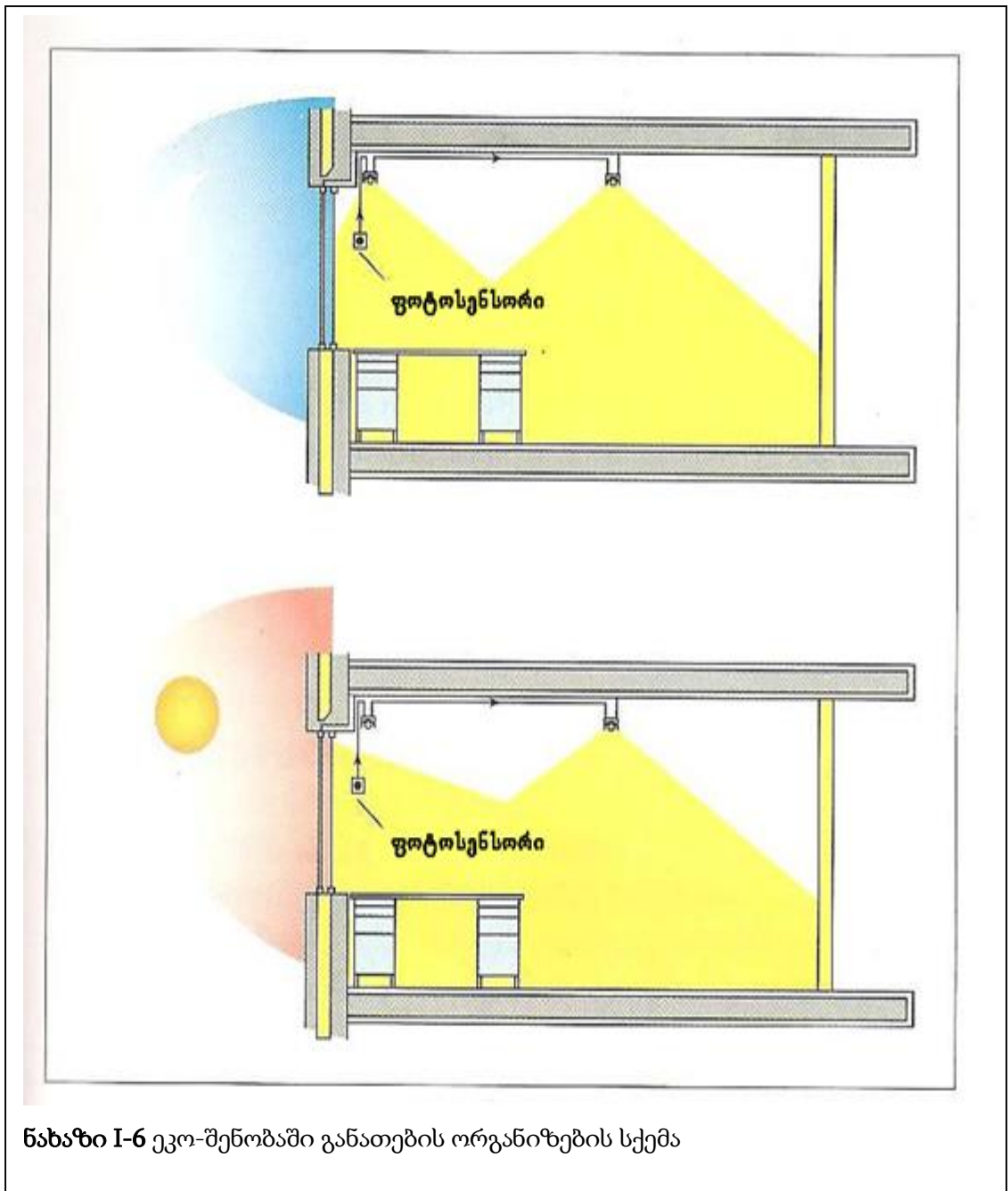
ადმინისტრაციულ შენობებში ხელოვნური განათება ჩვეულებრივ გამოყენებულია მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში. ხელოვნური განათების დონის ავტომატური რეგულირებით დანაკლისი ბუნებრივი განათებულობის კომპენსაცია უზრუნველყოფს შენობის მიერ უზრუნველყოფილი ელექტრო ენერჯის შემცირებას 40-80%-ით.

შენობაში განათების ხელსაწყოები ჩაირთვება ავტომატურ რეჟიმში ფოტოელემენტების ჩვენების მიხედვით, რომლებიც აკონტროლებენ ბუნებრივი განათებულობის დონეს.

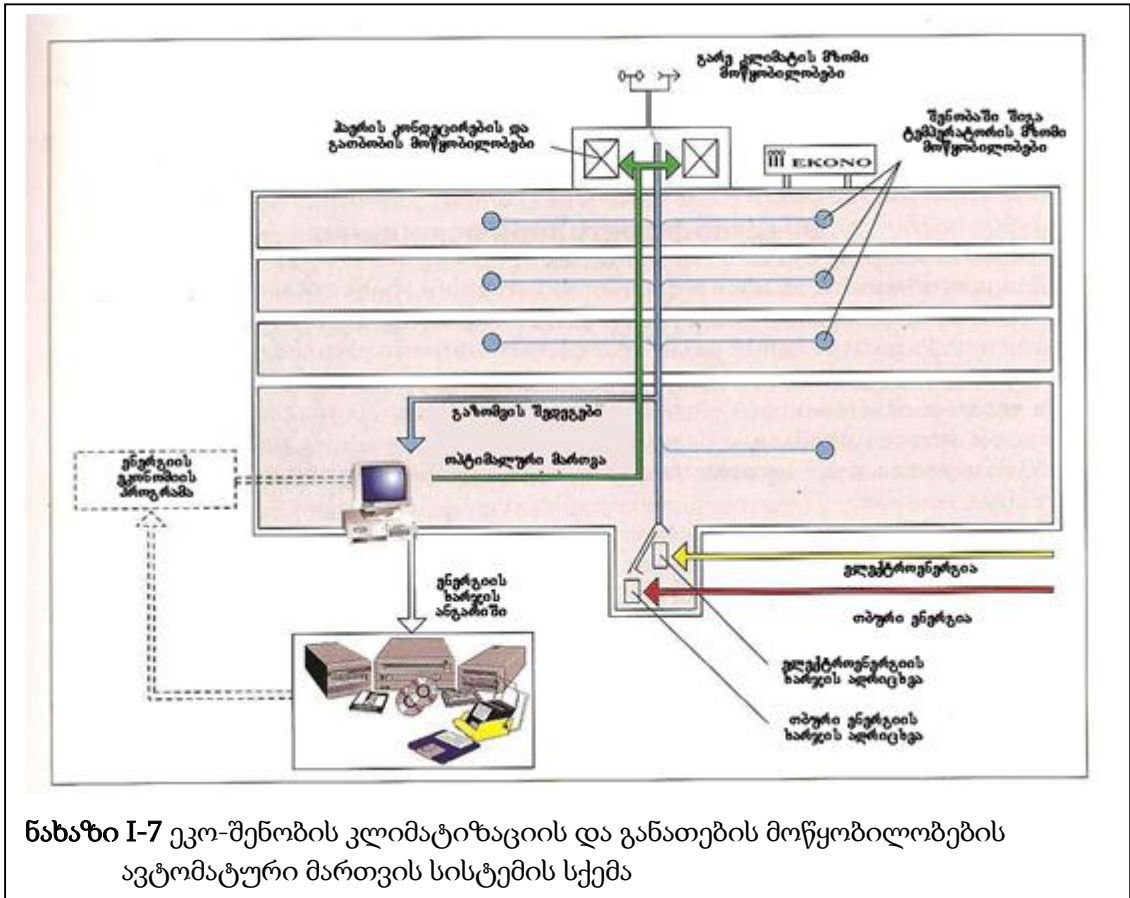
დღის საათებში არასაკმარისი ბუნებრივი განათებულობისას ჩაირთვება სანათი მოწყობილობები, რომლებიც მოთავსებულია სათავსის სიღრმეში, ანუ გამოიყენება ბუნებრივი და ხელოვნური განათების შეხამება. ბუნებრივი განათების დონის შემცირებისას (დილის და საღამოს საათებში) ჩაირთვება სანათი ხელსაწყოები, რომლებიც განლაგებულია ფანჯარასთან ახლოს.

გათბობის, ვენტილაციის და განათების სისტემების მართვა ხორციელდება ავტომატური მართვის მუშაობით. სისტემა საშუალებას იძლევა სითბოს უტილიზაციას, ღამის საათებში ტემპერატურის ეკონომიურად შემცირებას, დღის ტემპერატურის ოპტიმალურ რხევებს და შემომზღული კონსტრუქციების თბოტევადობის ოპტიმალურ გამოყენებას. ამ სისტემის საშუალებით ხორციელდება მოხმარებული თბური და

ელექტროენერჯის მონიტორინგი, ასევე გარე კლიმატის პარამეტრების რეგისტრაცია კლიმატური პირობების ოპტიმალური მართვისათვის.



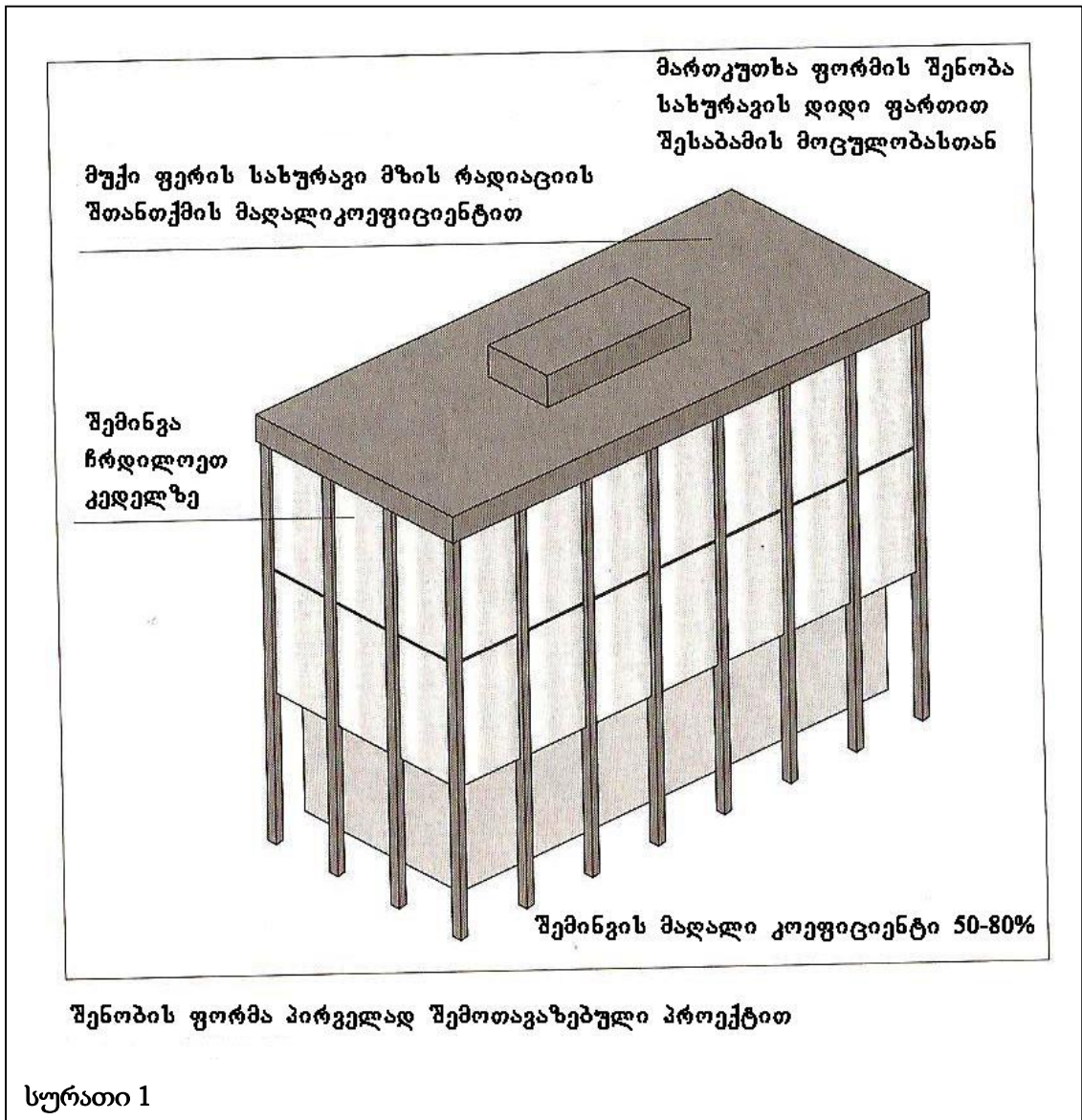
შენობაში დამონტაჟებულია საკონტროლო – საზომი აპარატურა,



რომელიც უზრუნველყოფს შენობის სხვადასხვა ნაწილებში საჭირო პარამეტრების გაზომვას.

შენობის ფორმის, ზომის და ორიენტაციის ცვლილების განხილვა პირველი ენერგოეფექტური შენობების მაგალითზე: მანჩესტერში (აშშ) შენობის საწყისი (არა ენერგოეფექტური) პროექტის მიხედვით შენობა იყო ექვს სართულიანი (თითოეული სართულის ფართობით 1950მ²) საერთო სარგებლობის ფართობით 11700მ². გათვალისწინებული იყო 3900მ² ფართის მიწისქვეშა ავტოსადგომი. შენობა იყო მართკუთხა ფორმის, ორიენტაცია მერიდიანული გვერდების თანაფარდობით 2:1. გარე შემომზღული კედლების 50-80% შემინულია, შემინულია აგრეთვე კედლის ჩრდილოეთი მხარეც, შენობის სახურავი მუქად შეღებილია, რომელიც ხასიათდება მზის რადიაციის სითბოს შთანთქმის მაღალი კოეფიციენტით. გარე შემომზღული კედლების თბოგადაცემის თერმული წინაღობა შეადგენდა 0.53მ²°C/ვტ, გადახურვის 1.17მ²°C/ვტ,

ფანჯრებისთვის (ერთმაგი მინით) $0.16\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$. ფანჯრების მზით დაცვის კოეფიციენტი 0.5.

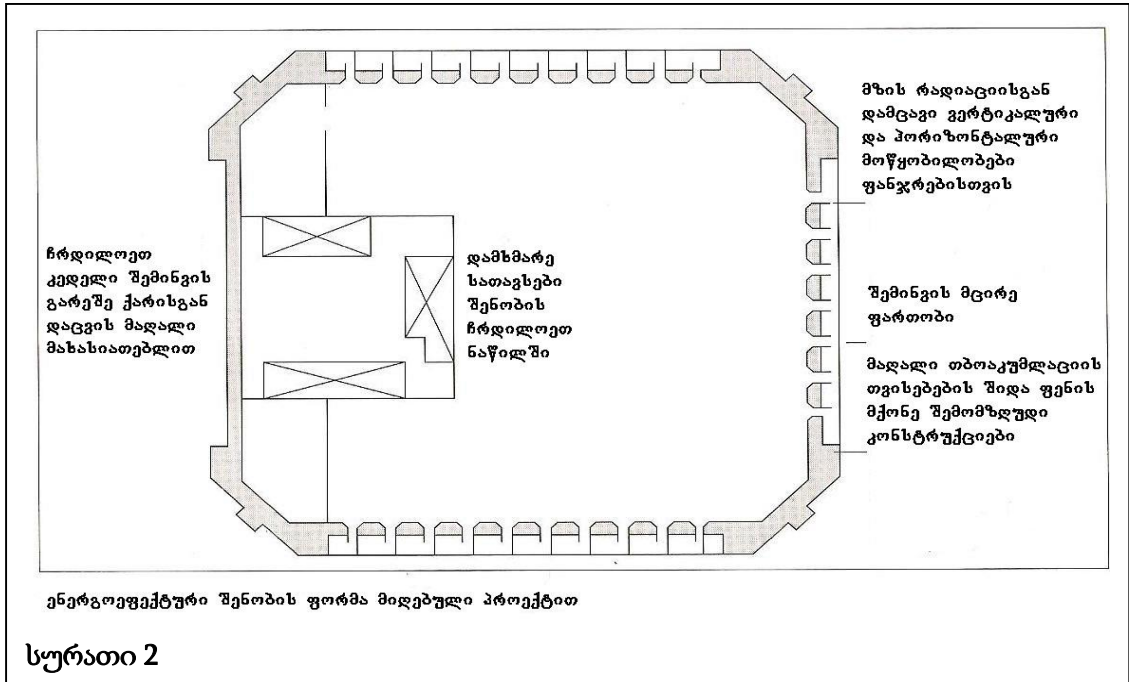


სურათი 1

გარე შემომზღული კონსტრუქციებისთვის გათვალისწინებული იყო აგურის წყობა, ან მსუბუქი თბოსაიზოლაციო პანელების შეკიდება. საწყისი პროექტით გათვალისწინებული იყო ვიწრო მარტკუთხა ფორმის შენობა მერიდიანული ორიენტაციით მზიანი დასავლეთის მიმართულებით გრძელი ფასადებით მიპყრობილი. შენობის ფორმა ახალი პროექტით შეიცვალა პრაქტიკულად კუბის ფორმით, რადგან მშენებლობის ფართის შეზღუდულობის გამო შეუძლებელი იყო შენობისათვის მიეცათ მარტკუთხა ფორმა, რომელიც ფასადით მიმართული იქნებოდა სამხრეთისაკენ, რაც განაპირობებდა მზის რადიაციის სითბოს უფრო

ეფექტურად გამოყენებას. კუბის ფორმის მქონე შენობის გარე შემომზღული კედლების ზედაპირის ფართი, რომელიც წარმოადგენს სითბოს დანაკარგების ერთ-ერთ მთავარ წყაროს, მინიმალურია.

ბოლოო ვარიანტში შენობა შედგება ორიარუსიანი გარაჟის, სამი საოფისე სართულის და ტექნიკური სხვენისაგან. შენობის ზომებია



40X33.5მ, საერთო ფართობით 16350მ². შემცირდა შემინვის კოეფიციენტი 12%-მდე დასავლეთის, აღმოსავლეთის და სამხრეთის ფასადებზე (ფანჯრები ზომით 0.6X1.5მ ყოველ 3 მეტრში), ხოლო ჩრდილოეთის ფასადი შემინვის გარეშეა სითბოს დანაკარგების შემცირების მიზნით. ყველა სართულზე ჩრდილოეთის კედელთან განლაგებულია დამხმარე და სამომსახურეო სათავსები, რომლებიც ნორმატივების მიხედვით არ თხოულობს ბუნებრივ განათებას. შემინვის კოეფიციენტის შემცირების გამო გარე ხილვადობის ასამაღლებლად ფანჯრის ღიობის ვიზუალური გადიდებისათვის ყოველი ფანჯრის კედლის გარე ნაწილზე გაკეთებულია 45°-ით დახრილი ნაწიბური.

ბუნებრივი განათების გამოყენება. ენერჯის ეკონომიაზე ბუნებრივი განათების გავლენის შესასწავლად ჩატარებულია დაკვირვება შემინვის პროცენტის გაზრდილის შემდეგ, 12%-დან 30%-დე. ფანჯრების ფორმისა და

მათი განლაგების ადგილის შერჩევასას სასურველია ვიხელმძღვანელოთ შემდეგით: ჭერთან ახლოს განლაგებული ფანჯრების შემთხვევაში, ჭერიდან არეკვლილი სინათლე, ზრდის სამუშაო ადგილის განათებულობას, მაგრამ ასეთი განლაგების შემთხვევაში გამორიცხულია ფანჯრიდან სასიამოვნო ხედი. კომპრომისული გადაწყვეტით ჭერთან ახლოს განლაგებული ფანჯრები შენაცვლებულია ვერტიკალური ფანჯრებით, რაც ქმნის ვიზუალურ კომფორტს.

ბუნებრივი განათების გამოყენებით ენერჯის მაქსიმალური ეკონომიის მისაღწევად გათვალისწინებულია სათავსის განათებულობის მართვის ავტომატური სისტემა. ამისათვის ჭერზე დგება ფოტოელექტრული გადამწოდები, რომლებიც ახორციელებენ ხელოვნური განათების ჩართვის რეგულირებას ბუნებრივი განათების ინტენსიურობის შესაბამისად. გარდამსახებს გააჩნიათ დროითი დაყოვნება (30წამი), რომ არ მოხდეს ხელოვნური განათების ჩართვა ან გამორთვა როცა იცვლება ბუნებრივი განათებულობა მცირე დროის განმავლობაში ღრუბლებით მზის დაჩრდილვის დროს.

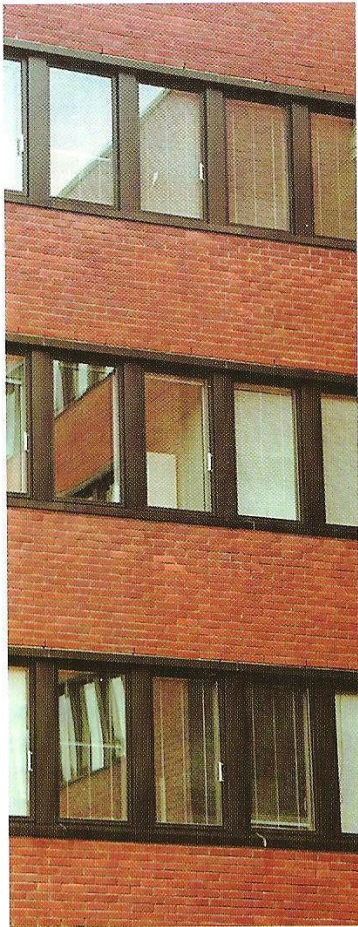
შენობაში საჭირო ბუნებრივი განათების უზრუნველსაყოფად დამუშავებულია შემინვის კოეფიციენტის ოპტიმიზაცია და ფანჯრების



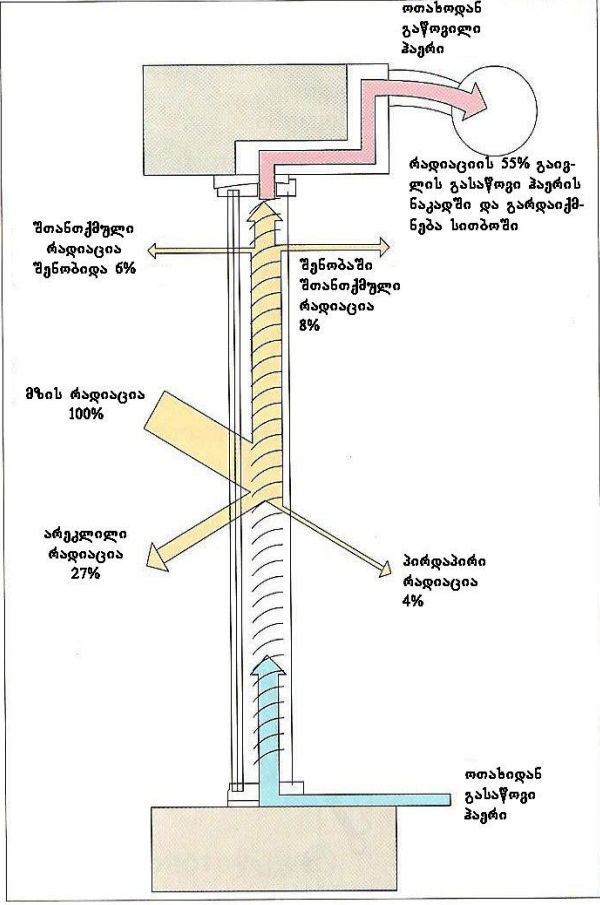
ფორმის შერჩევის საკითხი. აღნიშნული ღონისძიების მიზანია, რომ ექსპერიმენტულად შეფასდეს შემინვის კოეფიციენტის გაზრდით ბუნებრივი განათების ამაღლების წილი ენერჯის საერთო მოხმარებიდან. დადგენილია ფანჯრების დამატება, რომლებიც სასურველია იყოს გრძელი, ვიწრო, ჰორიზონტალური ფორმის და განლაგებული ჭერთან ახლოს ცალკეულად თუ ვერტიკალურ ფანჯრებს შორის.

ფანჯრების კონსტრუქცია წარმოადგენს მინაპაკეტს თბოგადაცემის თერმული წინააღობით 0.32 მ²·C/ვტ.

კლიმატიზაციის განსაკუთრებულ თავისებურებას წარმოადგენს სპეციალური კონსტრუქციის ფანჯრები ეგრეთ წოდებული **“ვენტილირებადი ფანჯრები”-ს** გამოყენება. ასეთი ფანჯრების გამოყენებით



შენობა "EKONO-house" - ის ფანჯრები



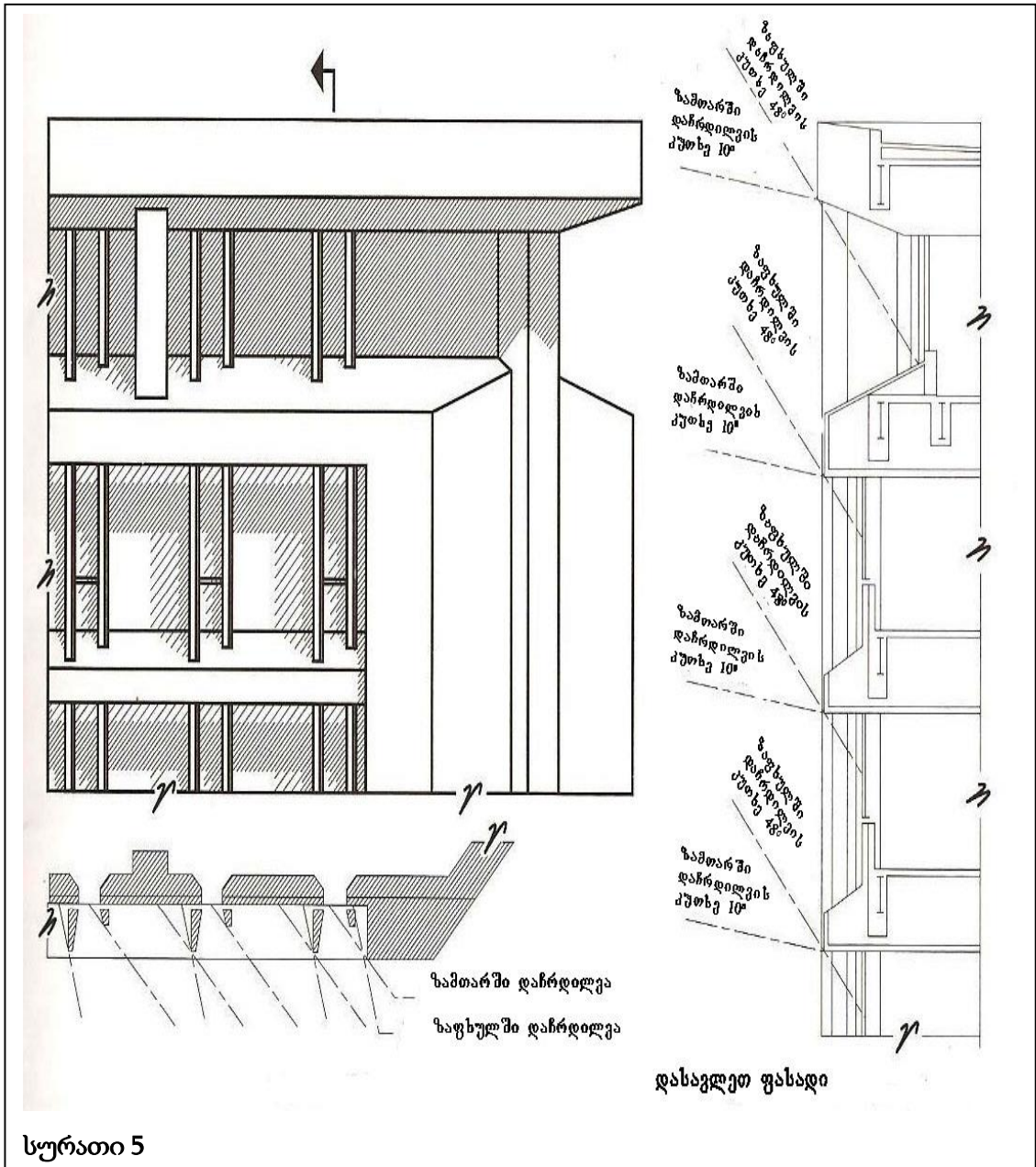
მზის რადიაციის სიბოთ განაწილების სქემა მიღებული ვენტილირებადი ფანჯრებიდან

სურათი 4

იზოგება ენერგია, რომელიც იხარჯება შენობის გასათბობად წლის ცივ პერიოდში და შენობის გასაგრილებლად წლის თბილ პერიოდში. ტრადიციული კონსტრუქციის ფანჯრებისგან განსხვავებით, რომლებსაც გააჩნია მინებს შორის ჩაკეტილი ჰაერის ფენა, ვენტილირებად ფანჯრებს ქვედა და ზედა ნაწილებში აქვთ ღრეჩოები, რომელთა გავლითაც მოძრაობს შიგა ჰაერი. წლის ცივ პერიოდში შიგა თბილი ჰაერი გაივლის რა მინებს შორის, ათბობს მათ, ხოლო წლის თბილ პერიოდში გაგრილებული შიგა ჰაერი, გაივლის რა მინებს შორის, აცივებს მათ. წლის ცივ პერიოდში ვენტილირებადი ფანჯრების კონსტრუქციიდან სითბოს დანაკარგები დაახლოებით 3-6 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ტრადიციული ფანჯრის კონსტრუქციიდან. გარდა ამისა, ვენტილირებადი ფანჯარა უზრუნველყოფს შესანიშნავ სითბოსა და ხმაურის იზოლაციას. ფანჯარასთან ჰაერის დაბლა მიმართული ცივი ნაკადების ლიკვიდაციის გამო ფანჯარასთან მიმდებარე სივრცე უფრო ეფექტურად გამოიყენება. ვენტილირებადი ფანჯრების გამოყენება შეზღუდულია ჰაერით გათბობის სისტემის მქონე შენობებისათვის და ჰაერის კონდიციონირების მქონე შენობებისათვის. შიგა ჰაერი არ უნდა იყოს მაღალი ტენის შემცველობით, რადგან ეს გამოიწვევს წლის ცივ პერიოდში კონდესატის წარმოშობას.

ვენტილირებადი ფანჯარა შედგება სამფენიანი მინაპაკეტისაგან გარე ალათაში და ერთმაგი მინისაგან შიგა ალათაში. შიგა ალათის ქვედა ნაწილში ვიწრო შესასვლელი ნახვრეტის გავლით ოთახის ჰაერი ხვდება მინებს შორის სივრცეში, სადაც შთანთქავს მზის რადიაციის მნიშვნელოვანი რაოდენობის სითბოს. ამრიგად ვენტილირებადი ფანჯარა მუშაობს, როგორც მზის კოლექტორები და შთანთქავს მზის რადიაციის სითბოს 55%-მდე, რომელიც მოიხმარება შენობის ჰაერის შესათბობად. შემდეგ ეს სითბო შეიძლება გამოყენებული იქნეს შენობის ჩრდილოვან ნაწილში მოთავსებულ სათავსებში, ან დაგროვდეს თბოტევად შემომზღულ კონსტრუქციებში.

მზისგან დამცავი მოწყობილობები. მზისგან დამცავი მოწყობილობების დანიშნულებაა ფანჯრის გავლით სათავსში გამოირიცხოს მზის პირდაპირი რადიაციის შეღწევა ზაფხულში, ხოლო ზამთარში მაქსიმალურად უზრუნველყს მზის პირდაპირი რადიაციის მოხვედრა. ამ მიზნით შენობის სამხრეთ ფასადზე სასურველია დაყენებული იყოს 90სმ სიღრმის ჰორიზონტალური ქუდები და ფანჯრის ყოველი მხრიდან ვერტიკალური



გაწიბოვნება. ზაფხულის პერიოდში ვერტიკალური წიბოები უზრუნველყოფენ მზის პირდაპირი რადიაციისაგან დაცვას მზის ამოსვლისას და ჩასვლისას, მაშინ როცა დღის მალლამდგომი მზის რადიაციისაგან დაცვას

ახდენს ჰორიზონტალური ქუდი. აღნიშნული მოწყობილობები ზამთარში ხელს არ შეუშლის მზის სხივების შესვლას შენობაში, რადგან წლის ამ პერიოდში მზე მდებარეობს ჰორიზონტის მიმართ დაბლა. გაწიბოვნება იმავდროულად ასრულებს ქარისგან დაცვის ფუნქციას. აღმოსავლეთის და დასავლეთის ფასადებზე დგება ანალოგიური დამჩრდილავი მოწყობილობები განსხვავებული სიღრმეებით, რაც განისაზღვრება მზის მოძრაობის ტრაექტორიით ზამთრის და ზაფხულის პერიოდებში.

შენობის სახურავზე ენერგოდაზოგვის მიზნით სასურველია სახურავის მთელ პერიმეტრზე შესრულდეს 60სმ სიმაღლის პარაპეტი, რომ თოვლი გამოყენებული იქნეს ზამთარში თბოიზოლაციის მიზნით.

მიწისქვეშა ავტოფარების შემომზღვედი კონსტრუქციები. პირველი სართულის იატაკის თბოიზოლაცია, თუ იმავდროულად წარმოადგენს გარაჟის გადახურვას, უმჯობესია განთავსდეს გარაჟის ჭერის ზედაპირზე, რაც პირველი სართულის იატაკისათვის იქნება გარე ზედაპირი (რადგან გარაჟში არ არის გათვალისწინებული გათბობა), მაგრამ გარაჟის ჭერში თბოიზოლაციის მოთავსებამ შეიძლება გაართულოს შენობის ტექნიკური მომსახურების პირობები.

შიგა შეთანწყობა. შენობის კონსტრუირების მოდელოური სისტემის მიხედვით ლიფტები, საკვანძეები და ვერტიკალური სავენტილაციო არხები კომპაქტურად განლაგდება შენობის ცენტრში, რითაც განხორციელდება შიგა სივრცის ეკონომია. სართულთაშორისი გადახურვისათვის გამოიყენება ღრუ რკინაბეტონის ფილები. ფილების სიცარიელებში განთავსდება სავენტილაციო არხები და საკაბელო სისტემა. სართულების სიმაღლე შემცირდება, რადგან სავენტილაციო აირსატარების მოთავსების აუცილებლობა შეკიდული ჭერის შიგნით გამოირიცხება. შედეგად ხუთ სართულიანი შენობის სიმაღლე იგივეა, რაც ტრადიციული კონსტრუქციის ოთხსართულიანი შენობისა. ასეთი გადაწყვეტა ამცირებს კაპიტალურ დანახარჯებს და მშენებლობის ხანგრძლივობას, აგრეთვე ამცირებს ენერჯის დანახარჯებს შენობის კლიმატიზაციაზე, რადგან მცირდება გარე

შემომზადებული კონსტრუქციების ფართი და შესაბამისად მცირდება გარემოში სითბოს დანაკარგები. მნიშვნელოვანია ისიც, რომ იზრდება შემომზადებული კონსტრუქციის სითბოტევადობა რეცირკულაციურ ჰაერზე სითბოს გადაცემის ზედაპირის ფართის გაზრდის გამო.

შენობაში ასევე შესაძლებელია არჩეული იქნეს “ღია შეთანწყობა”, რაც გულისხმობს მინიმალური რაოდენობის ტიხრების გამოყენებას. შენობის კლიმატიზაციის სისტემის მოწყობილობებისა და ჰაერსატარების განლაგების ოპტიმიზაციის მიზნით ოთახები უნდა დაჯგუფდეს მათი ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით: ოთახები რომლებიც თხოულობს მეტ განათებას განლაგდეს ფანჯრებთან ახლოს, ხოლო საკონფერენციო დარბაზები, ტუალეტები და დამხმარე ოთახები, რომლებსაც არ წაეყენება ბუნებრივი განათების მოთხოვნები, განთავსდეს ფანჯრებიდან მოშორებით.

1.4 საქვაბე აგრეგატების თბოტექნიკური გამოცდა

საქვაბე დანადგარების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში საქვაბე აგრეგატებს შეიძლება გააჩნდეთ გარკვეული დეფექტები, რომლებიც იწვევენ დანადგარის ეკონომიურობისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან გაუარესებას. დეფექტების ერთი ნაწილი აისახება უხეირო პროექტით ან ცუდად შესრულებული მონტაჟით, ხოლო მეორე ნაწილი – მოწყობილობათა ექსპლუატაციის დაბალი დონით. დეფექტების სრული გამოვლენა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ საქვაბე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე. საქვაბე აგრეგატის თბოტექნიკური საექსპლუატაციო გამოცდის მიზანია: ქვაბის მუშაობის რეჟიმის გამართვა; რეჟიმული რუკის შედგენა ქვაბის მუშაობის ყველა მახასიათებელი რეჟიმისათვის ოპტიმალური პარამეტრების მითითებით; ცალკეული თბური დანაკარგების გამოვლენა და მათი მინიმუმამდე დაყვანა ან ლიკვიდაცია; საქვაბე აგრეგატის მომსახურე პერსონალის მომზადება მუშაობის სწორი და რაციონალური მეთოდების შემუშავებით.

გაზომვის სიზუსტისა და სითბური ბალანსის შედგენის მეთოდის მიხედვით არჩევენ საქვაზე აგრეგატის გამოცდის ორ კლასს. გაზომვის სიზუსტის პირველი კლასით ტარდება ბალანსური, საგარანტიო, სამეცნიერო – კვლევითი და სპეციალური გამოცდები და გაზომვის შედეგების სიზუსტეს წაეყენება მაღალი მოთხოვნები [22,29].

ბალანსური გამოცდის შედეგად მყარდება შეთანხმება საქვაზე აგრეგატის ყველა ელემენტის სითბოს და საცეცხლეში სათბობის წვის შედეგად გამოყოფილ სითბოს შორის.

გაზომვის სიზუსტის მეორე კლასით ტარდება ბალანსური, საექსპლუატაციო, გამართვის, შედარებითი და სხვა გამოცდები, როცა გაზომვის შედეგების აბსოლუტურ მნიშვნელობებს არ წაეყენება მაღალი მოთხოვნები.

საქვაზე აგრეგატის მარგი ქმედების კოეფიციენტი განისაზღვრება ცდომილებით 2 – 3,5%.

ხსენებული სახის გამოცდების შედეგად შესაძლებელი ხდება გამოვავლინოთ საქვაზე აგრეგატის უწყისივრო მუშაობის გამომწვევი მიზეზები (დეფექტები), დავადგინოთ მუშაობის საუკეთესო – ხელსაყრელი პირობები და შევადგინოთ რეჟიმული რუკები.

თბოტექნიკური გამოცდების ჩატარების დროს საქვაზე აგრეგატის მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სითბოს პირდაპირი ან არაპირდაპირი ანუ შებრუნებული ბალანსების მეთოდები.

სითბოს პირდაპირი ბალანსის მეთოდის თანახმად უნდა გაიზომოს საქვაზე აგრეგატში მთლიანად მიწოდებული და სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოთა რაოდენობები, რაც თავისთავად გულისხმობს საქვაზე აგრეგატის მწარმოებლურობისა და სათბობის ხარჯის ექსპერიმენტულ განსაზღვრას. უმრავლეს შემთხვევაში აგრეგატის მწარმოებლურობისა და განსაკუთრებით სათბობის ხარჯის გაზომვა მნიშვნელოვან სიძნელეებთანაა დაკავშირებული, რის გამოც სითბოს პირდაპირი ბალანსის მეთოდი საკმაოდ რთული და შრომატევადი მეთოდია.

სითბოს შებრუნებული ბალანსის მეთოდი შედარებით მარტივი მეთოდია, იგი არ საჭიროებს საქვაზე აგრეგატის მწარმოებლურობისა და სათბობის ხარჯის განსაზღვრას და მარგი ქმედების კოეფიციენტის დადგენა ამ მეთოდის მიხედვით ხდება მხოლოდ საქვაზე აგრეგატის სითბოს დანაკარგების გაზომვის საფუძველზე [23].

1.5 საქვაზე აგრეგატის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზის გამარტივებული მეთოდის (პროფ. მ. რავიჩის მეთოდი)

საქვაზე აგრეგატის თბური ბალანსის შედგენის განხილული მეთოდები, მოითხოვენ დიდი რაოდენობით სხვადასხვაგვარი და რთული გაზომვების ჩატარებას. თხევად და აირად სათბობზე მუშაობის დროს შეიძლება ვისარგებლოთ პროფ. მ. რავიჩის მიერ შემუშავებული გამარტივებული მეთოდით, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შედარებით მარტივი გაზომვების საფუძველზე ჩავატაროთ საქვაზე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდა. გამარტივებული მეთოდით სარგებლობა შესაძლებელია მყარი სათბობის გამოყენების შემთხვევაშიც, თუ არასრული მექანიკური წვით სითბოს დანაკარგები არ შეადგენს დიდ სიდიდეს. მ. რავიჩის მეთოდი ეყრდნობა გარკვეული კონსტანტების გამოყენებას, რომლებიც უმნიშვნელოდ იცვლებიან სათბობის წვადი მასის ელემენტარული შემადგენლობის და აგრეთვე მისი ნაცრიანობისა და ტენიანობის მიხედვით [23].

1.5.1 გამარტივებული მეთოდის ძირითადი კონსტანტები

ქვემოთ ჩამოთვლილია ძირითადი კონსტანტები, რომლებსაც იყენებენ საქვაზე აგრეგატის გამარტივებული მეთოდით თბოტექნიკური გამოცდის დროს [23].

- სათბობის მხურვალმწარმოებლურობა - $t_{ა,ქ}$ სათბობის მხურვალმწარმოებლურობას უწოდებენ იმ მაქსიმალურ ტემპერატურას, რომელიც მიიღება სათბობის სრული დაწვით წვისათვის თეორიულად საჭირო ჰაერის რაოდენობის გამოყენების პირობებში, თუ სათბობისა და

ჰაერის ტემპერატურა ტოლია 0°C და სითბოს არავითარ დანაკარგს ადგილი არა აქვს.

- P – სითბოს რაოდენობა დაყვანილი 1 ნმ^3 მშრალი წვის პროდუქტზე, რომელიც მიიღება სათბობის სრული დაწვით. თეორიულად საჭირო ჰაერის გამოყენების შემთხვევაში.
- B – მშრალი წვის პროდუქტების მოცულობის ფარდობა ტენიანი პროდუქტების მოცულობასთან თეორიულად საჭირო ჰაერის პირობებში.
- H – მშრალი წვის პროდუქტების მოცულობის ცვლილება (თეორიულთან შედარებით), მისი ჰაერით განსაზღვებისა და არასრული წვის გამო.
- C' – ჰაერით განუზავებელი წვის პროდუქტების $0^{\circ}\text{C} \div t_{\text{გ.ა}}$ ტემპერატურის ინტერვალში საშუალო სითბოტევადობის ფარდობა სითბოტევადობაზე $0^{\circ}\text{C} \div t_{\text{ა.ქ}}$ ტემპერატურის ინტერვალში.

1.5.2 სითბოს დანაკარგები გამავალი აირებით

გამავალი აირებით სითბოს დანაკარგების განსაზღვრისათვის გამოიყენება B, K, h, C' და $t_{\text{ა.ქ}}$ უგანზომილებო კოეფიციენტები.

სათბობის სრული წვის შემთხვევაში, როცა ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი $\alpha=1$, გამავალი აირებით სითბოს დანაკარგები შეიძლება გამოვთვალოთ მარტივი ფორმულით [23]:

$$q_2 = \frac{t_{\text{გ.ა}}}{t_{\text{ა.ქ}}} C' \cdot 100\% \quad , \quad (1.5.1)$$

პრაქტიკულად სათბობის წვა მიმდინარეობს ჰაერის გარკვეული სიჭარბის კოეფიციენტის დროს, აღნიშნულის გათვალისწინებით საანგარიშო ფორმულა (1.5.2) ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$q_2 = \frac{t_{\text{გ.ა}}}{t_{\text{ა.ქ}}} [C' + (h-1) \cdot K \cdot B] \cdot 100 \quad , \quad (1.5.2)$$

სადაც $t_{\text{გ.ა}}$ არის ცდით განსაზღვრული გამავალი აირების ტემპერატურა;

$t_{აჟ}$ - აირის მხურვალმწარმოებლურობა; C' - შემასწორებელი კოეფიციენტი; K - შემასწორებელი კოეფიციენტი; h - კოეფიციენტი, რომელიც გაიანგარიშება წვის პროდუქტების ანალიზის საფუძველზე; B - კოეფიციენტი, რომელიც გაიანგარიშება ან მოცემულია;

q_2 -ის გაანგარიშების დროს საჭირო ხდება გამავალი აირებისა და ჰაერის ტემპერატურებს შორის სხვაობის გათვალისწინება, მაშინ საანგარიშო ფორმულები მიიღებს სახეს:

$$q_2 = \frac{t_{ბა} - t_{ა}}{t_{აჟ}} [C' + (h-1)BK] \cdot 100, \text{ როცა } h > 1, \quad (1.5.3)$$

$$q_2 = \frac{t_{ბა} - t_{ა}}{t_{აჟ}} hC' \cdot 100, \text{ როცა } h < 1, \quad (1.5.4)$$

$$q_2 = \frac{t_{ბა} - lt_{ა}}{t_{აჟ}} hC' \cdot 100, \text{ როცა } h < 1, \quad (1.5.5)$$

თხევადი სათბობის (მაზუთის) დაწვის შემთხვევაში (1.5.3) და (1.5.4) ფორმულებით მიღებული სიდიდეები მოითხოვს შესწორებას დამატებით სითბოს რაოდენობაზე, რომელიც იკარგება გარემოში გამავალ აირებთან ერთად, მაზუთის ორთქლის ფრქვევანაზე მიწოდებული ორთქლის სითბოს სახით - q_2' და სითბოს რაოდენობაზე, რომელიც იხარჯება მაზუთის შეთბობაზე - q_2'' .

მაღალი ტენიანობის მქონე მყარი სათბობის (შემა, ტორფი, მურა ნახშირი) დაწვის შემთხვევაში გამავალი აირებით სითბოს დანაკარგების შესაფასებლად $t_{აჟ}$ -ის და B-ს ანგარიშის დროს უნდა გავითვალისწინოთ სათბობის ტენიცი, ხოლო მყარი სათბობისათვის, რომელიც შეიცავს მცირე რაოდენობით ტენს (ანტრიციტი, ქვანახშირები) $t_{აჟ}$ -ის და B-ს ანგარიშის დროს შეიძლება შესწორება არ გავითვალისწინოთ სათბობის ტენზე.

ცხადია, რომ მყარი სათბობის წვის შემთხვევაში გამავალი აირებით სითბოს დანაკარგების შეფასების დროს უნდა გავითვალისწინოთ

შემასწორებელი კოეფიციენტი ($100 - q$), რომელიც აღრიცხავს სათბობის არასრული მექანიკური წვით სითბოს დანაკარგების გავლენას.

1.5.3 სათბობის არასრული ქიმიური წვით გამოწვეული სითბოს დანაკარგები

სითბოს დანაკარგები, გამოწვეული სათბობის არასრული ქიმიური წვით, განისაზღვრება როგორც გამავალ აირებში წვადი კომპონენტების მოცულობების შესაბამის თბოუნარიანობაზე ნამრავლთა ჯამი. გამარტივებული მეთოდის გამოყენებით სათბობის არასრული ქიმიური წვით გამოწვეული სითბოს დანაკარგები (q_3) გამოითვლება ფორმულით [23]:

$$q_3 = \frac{Q_{\text{წვ.არ}} \cdot h}{P} \cdot 100\% \quad , \quad (1.5.6)$$

სადაც $Q_{\text{წვ.არ}}$ არის 1 ნმ³ მშრალი წვის პროდუქტებში წვადი კომპონენტების თბოუნარი, კჯ/ნმ³; h და P - მახასიათებელი კომპონენტები;

$Q_{\text{წვ.არ}}$ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\text{წვ.არ}} = 0,01(CH_4' \cdot Q_{CH_4} + H_2' \cdot Q_{H_2} + CO' \cdot Q_{CO}), \text{ კჯ/ნმ}^3, \quad (1.5.7)$$

სადაც CH_4' , H_2' , CO' არის წვის პროდუქტებში წვადი კომპონენტების შემცველობა; Q_{CH_4} , Q_{H_2} , Q_{CO} ამ კომპონენტების თბოუნარები კჯ/ნმ³.

ამრიგად, სათბობის არასრული ქიმიური წვით გამოწვეული სითბოს დანაკარგები შეიძლება გავიანგარიშოთ სათბობის შემადგენლობის ანალიზის გარეშე, მხოლოდ წვის პროდუქტების ანალიზზე დაყრდნობით.

საქვამზე აგრეგატის თბოტექნიკური ანალიზი გამარტივებული პროფ. რავიჩის მეთოდის მიხედვით მოხერხებულია ჩავატაროთ ძირითადი კონსტანტების რიცხვითი მნიშვნელობების გამოყენებით [23].

1.6 ენერგოეკონომიკური ანალიზი

ენერგოეფექტურობის შესაძლო ღონისძიებების ანალიზისათვის საჭიროა ინვესტიციების რენტაბელობის ეკონომიკური ბაზის შექმნა. აუდიტორმა უნდა გამოიკვლიოს ენერჯის დაზოგვის შესაძლებლობის ,,

სასი-ცოცხლო ციკლის ღირებულება“. ენერგოეფექტური ღონისძიებების დანერგვის ფარდობითი ეკონომიკური ზემოქმედების დასადგენად ხარჯების საანგარიშო დაზოგვა შედარებულ უნდა იქნას განხორციელების ხარჯებთან. შედარების სტანდარტული მეთოდების უზრუნველსაყოფად განხილული იქნა მთელი რიგი მეთოდოლოგიები. ეკონომიკურ კომპიუტერულ პროგრამაში ხშირად გამოყენებულია ორი მოდელი: „რენტაბელობის გამოთვლები“ და „ფულადი სახსრების მოძრაობის გამოთვლები“.

რენტაბელობის გამოთვლის მეთოდები წარმოდგენილია შემდეგი კრიტერიუმების გამოყენებით: უკუგების პერიოდი (PB), წმინდა მიმდინარე ღირებულება (NPV), წმინდა მიმდინარე ღირებულების კოეფიციენტი (NPVQ), შიდა ამოგების განაკვეთი (IRR), ამოგების პერიოდი (PO) [24].

ღონისძიებების რენტაბელობა რანჟირებულია და ჩამონათვალი გაკეთებულია სხვადასხვა ცხრილებში. ქვემოთ ჩამოთვლილია მეთოდების უმრავლესობაში გამოყენებული პარამეტრები: ინვესტიცია I_0 ლარი; წლიური სუფთა დანაზოგი/შემოსავალი B ლარი/წ; ტექნიკური/ეკონომიკური ხანგამძლეობა n წელი; ნომინალური დისკონტური განაკვეთი $n r \cdot 100$ %; რეალური დისკონტური (საპროცენტო) განაკვეთი $r \cdot 100$ %; ინფლაციის ტემპი $b \cdot 100$ %.

რეალური დისკონტური (საპროცენტო) განაკვეთი გამოითვლება ნომინალურ საპროცენტო განაკვეთზე და ინფლაციის ტემპზე დაყრდნობით.

$$r = \frac{n_r - b}{1 + b} \quad (1.6.1)$$

სადაც: $r < n_r - b$

ეკონომიკური სასიცოცხლო ციკლი წარმოადგენს მოწყობილობა-დანადგარების პრაქტიკული მუშაობის ხანგრძლივობას, ანუ მუშაობის ხანგრძლივობას იქამდე, სანამ მათი ახალი დანადგარებით შეცვლა მომგებიანი გახდება. ტექნიკური ხანგამძლეობა არის ინვესტიციის ფიზიკური მუშაობის ხანგრძლივობა, ანუ დანადგარის ექსპლუატაციის

(ტექნიკური) ვადა. დისკონტის განაკვეთი გამოიყენება, მაგალითად, მომავალი დაზოგვების მიმდინარე ღირებულების გამოსათვლელად კაპიტალის ღირებულების (ინვესტიციიდან ამონაგების საჭირო მინიმუმის) გათვალისწინებით. დისკონტის დრო, რომლის დასრულების შემდეგ ინვესტირებული თანხა უნდა იყოს ამოღებული განაკვეთი შეიძლება იყოს რეალური და ნომინალური. რეალურ დისკონტურ განაკვეთში გათვალისწინებულია მოსალოდნელი ინფლაცია.

უკუგების პერიოდი წარმოადგენს დროის მონაკვეთს, რომელიც საჭიროა კაპიტალდაბანდების საწყისი ღირებულების ამოსაგებად. უკუგების პერიოდის, როგორც კაპიტალური ინვესტირების გადაწყვეტილების წესის გამოყენებით შეიძლება დადგინდეს, რომ ყველა დამოუკიდებელი პროექტი, გარკვეულ წლებზე ნაკლები უკუგების პერიოდით, მისაღები იქნება. როდესაც არჩევანი ურთიერთგამომრიცხავ პროექტებს შორის კეთდება, უპირატესობა ყველაზე მოკლე ამოგების პერიოდის მქონე პროექტს ენიჭება.

უკუგების პერიოდი გამოთვლება მოდერნიზაციის ღონისძიების ფასის გაყოფით ენერჯის წლიური ხარჯების დაზოგვაზე, სათბობის არსებული ფასების გათვალისწინებით, რათა დადგინდეს წლების რაოდენობა, რომლის შემდეგ შესაძლებელი იქნება ინვესტიციის სავარაუდო ამოგება.

$$PB = \frac{I_0}{B} \quad (1.6.2)$$

სადაც: **PB**- ამოგება; **I₀** – ინვესტიცია; **B** – წმინდა წლიური დაზოგვა.

ამოგების მეთოდის შეზღუდვებია: რეალური დისკონტის განაკვეთი უნდა იყოს დაბალი და ამოგების პერიოდი არ უნდა იყოს ძალიან ხანგრძლივი.

წმინდა მიმდინარე ღირებულება (NPV). წმინდა მიმდინარე ღირებულება არის ეკონომიკური ხანგამძლეობის პერიოდში მომავალი წლიური წმინდა

დაზოგის დღევანდელ (დისკონტირებულ) ღირებულებას გამოკლებული ინვესტიცია. ეს შეიძლება წარმოდგენილ იყოს შემდეგნაირად: წმინდა მიმდინარე ღირებულება = მომავალი წლიური წმინდა დაზოგვები/წმინდა შემოსავლების დისკონტირებული ღირებულება - ინვესტიცია, რაც ფორმულით გამოისახება:

$$NPV = \sum_{n=1}^N B_n / (1+r)^n = B_1 / (1+r)^1 + B_2 / (1+r)^2 + \dots + B_n / (1+r)^n - I_0 \quad (1.6.3)$$

სადაც: **NPV** - წმინდა მიმდინარე ღირებულება; **B** - წლიური წმინდა დაზოგვები; **n** - ეკონომიკური ხანგამძლეობა; **r** - რეალური დისკონტის (საპროცენტო) განაკვეთი; **I₀** – ინვესტიცია.

რენტაბელობის კრიტერიუმები: წმინდა მიმდინარე ღირებულება > 0, როდესაც არჩევანი ურთიერთგამომრიცხავ პროექტებს შორის კეთდება, უპირატესობა ყველაზე მაღალი დადებითი წმინდა მიმდინარე ღირებულების მქონე პროექტს ენიჭება.

წმინდა მიმდინარე ღირებულების კოეფიციენტი (NPVQ) არის წმინდა მიმდინარე ღირებულების შეფარდება მთლიან ინვესტიციასთან:

$$NPVQ = \frac{NPV}{I_0}, \quad (1.6.4)$$

მიუთითებს მაღალრენტაბელურ პროექტზე. ეს არის ღონისძიებების რანჟირების, ან ალტერნატიული გადაწყვეტილებების / პროექტების შეფასების საუკეთესო მეთოდი.

კაპიტალდაბანდების შიდა ამოგების განაკვეთი (IRR) პროექტში არის დისკონტის განაკვეთი, როდესაც პროექტის წმინდა მიმდინარე ღირებულება ნულის ტოლია. შიდა ამოგების განაკვეთის წესის გამოყენებით შეიძლება დადგინდეს, რომ ყველა დამოუკიდებელი პროექტი, რომელშიც შიდა ამოგების განაკვეთი კაპიტალის ღირებულებაზე მეტია, მისაღები იქნება. როდესაც არჩევანი ურთიერთგამომრიცხავ პროექტებს შორის კეთდება, უპირატესობა ყველაზე დიდი შიდა ამოგების განაკვეთის მქონე პროექტს ენიჭება (სადაც შიდა ამოგების განაკვეთი აუცილებლად კაპიტალის ღირებულებაზე მეტი უნდა იყოს).

$$B \frac{1 - (1 + r)^n}{r} - I_0 = 0 \quad (1.6.5)$$

სადაც: **B** – წლიური წმინდა დანაზოგი; **r** - შიდა ამოგების განაკვეთი; დისკონტის განაკვეთი, როდესაც წმინდა მიმდინარე ღირებულება = 0; **n** - ეკონომიკური ხანგამძლეობა; **I₀**– ინვესტიცია.

ამოგების პერიოდი (PO) არის დროის პერიოდი, სანამ წმინდა მიმდინარე ღირებულება = 0, როდესაც ყველა სხვა პარამეტრი მოცემულია:

$$B \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 = 0 \quad (1.6.6)$$

სადაც: **B**- წლიური წმინდა დაზოგვა; **r**- შიდა ამოგების განაკვეთი; **n**- ამოგების პერიოდი; **I₀**–ინვესტიცია.

ფულის დროითი ღირებულება. ენერგოდამზოგავი ღონისძიებების უმრავლესობის განსახორციელებლად საჭიროა კაპიტალდაბანდება. დღეს ენერჯის კონსერვაციაში ინვესტირებით შესაძლებელია წლიური საოპერაციო თანხის დაზოგვა ინვესტიციის ვადის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში ძველი ანდაზა “დღევანდელი კვერცხი გერჩივნოს ხვალინდელ ქათამს”, სრულიად სამართლიანად ჟღერს კაპიტალდაბანდებასთან მიმართებით, ამიტომ კომპანიიდან და კომპანიაში მოძრავ ფულად ნაკადებს (ტრანსაქციებს) დროითი ღირებულება უნდა გააჩნდეს. საინვესტიციო გადაწყვეტილებების მიღების დროს ასევე განიხილება ალტერნატიული საინვესტიციო შესაძლებლობები და ინვესტიციურებულ კაპიტალზე მინიმალური ამონაგები. იმისათვის, რომ გავიგოთ კაპიტალდაბანდების უკუგების მაჩვენებელი, საჭიროა ისეთი საპროცენტო განაკვეთის დადგენა, რომელიც მომავალ ხარჯებსა და შემოსავლებს მიმდინარე მნიშვნელობამდე დაიყვანს. ზემოთხსენებული მაჩვენებლის დასადგენი მეთოდი მოიხსენიება, როგორც დისკონტირებული ფულადი ნაკადების მიმოქცევა. ფულადი ნაკადების მიმოქცევის დიაგრამები ხშირად ხელს უწყობს ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესებაში ჩადებული ინვესტიციის ვადაში კაპიტალის მოძრაობის ვიზუალიზაციას.

ანგარიშის დაწერის ზოგადი პუნქტები. ანგარიში უნდა მოიცავდეს აუდიტის მიზნების და შინაარსის ზოგად მონახაზს, მოწყობილობების თუ სისტემების მახასიათებლების და საექსპლუატაციო პირობების აღწერას, აუდიტის შედეგად მიღებულ მონაცემებს, ენერჯის მართვის დადგენილ შესაძლებლობებს, შესაბამის დაზოგვებს და დანერგვის ხარჯებს, ენერჯის მართვის შესაძლებლობების განხორციელების რეკომენდაციებს და ნებისმიერ შემდგომ აქტიურობას. აუდიტის ანგარიშის დაწერის მიზანი, მხოლოდ ანგარიშის დაწერა არ უნდა იყოს. ანგარიშში უნდა გაკეთდეს მონახაზი, თუ როგორ უნდა იქნას მიღწეული ანგარიშში მოცემული რეკომენდაციების დანერგვა და ამგვარად, როგორ მიიღწევა ენერგოეფექტურობის ამაღლება და მომხმარებლებისთვის ენერჯის გადასახადის დაზოგვა. აუდიტის შედეგების, როგორც ასეთის, მოხსენება არ შეიძლება იყოს ანგარიშის დაწერის ამოცანა. თავისთავად ანგარიში ისე უნდა იყოს შედგენილი, რომ შეუქმნას მომხმარებელს მკაფიო წარმოდგენა იმის შესახებ, როგორ უნდა მოხდეს მასში მოყვანილი რეკომენდაციების რეალიზება და შესაბამისად გაზრდილი ენერგოეფექტურობა და დანახარჯების შემცირება.

II თავი. შენობის თბური ოპტიმიზაცია

2.1. ენერგოეფექტური შენობების პროექტირების ძირითადი პრინციპები

შენობის თბური დაცვის საკითხების- დანაკარგების (ზამთარში) და სითბოს მოდინების (ზაფხულში) ანალიზის საფუძველზე ძირითადი პრინციპები, რომელთა განხორციელება განაპირობებს ენერგოეფექტურობის ამაღლებას, შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ:

1. ენერგოეფექტური შენობების პროექტირების და მშენებლობის მიზანია შენობის მიკროკლიმატის შესაქმნელად ენერგორესურსების ხარჯვის ოპტიმიზაცია ინოვაციური გადაწყვეტების გამოყენებით, რომლებიც განხორციელებადია ტექნიკურად, ასევე ეკოლოგიური და სოციალური თვალსაზრისით არის მისაღები.

2. ენერგოეფექტური შენობის პროექტირების მეთოდოლოგია ეფუძნება შენობის სისტემურ ანალიზს, რომელიც მოიცავს სამ ეტაპს:

- ❖ შენობაში მიმდინარე თბომასააცვლის მათემატიკური მოდელის შექმნა;
- ❖ მიზნობრივი ფუნქციის შერჩევა;
- ❖ ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა მიზნობრივი ფუნქციის- დამოკიდებული ცვლადის მიმართ.

3. სისტემური ანალიზის პრინციპების შესაბამისად ენერგოეფექტური შენობის პროექტირების დროს განიხილება ორი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ქვესისტემა: გარე კლიმატი, როგორც ენერგიის წყარო და შენობა, როგორც ერთიანი ენერგეტიკული სისტემა;

4. შენობის თბური პროცესის მათემატიკური მოდელის აგების მიღებული მეთოდი გულისხმობს სისტემური მიდგომის შესაბამისად შენობის დეკომპოზიციას სამ ძირითად ერთმანეთზე დამოკიდებულ ქვესისტემებად: შენობის გარსაცმზე გარემო კლიმატის ენერგეტიკული ზემოქმედება; შენობის გარსაცმში ენერგიის დაგროვება; შენობის მოცულობის შიგნით, ანუ შიგა ჰაერში, შიგა მოწყობილობებში, შიგა შემომზღულ კონსტრუქციებში და სხვა ენერგიის დაგროვება. შესაბამისად

ენერგოეფექტური შენობის პროექტირება გულისხმობს სამი ენგოდამოკიდებული ქვესისტემის ოპტიმიზაციას: ოპტიმალური არქიტექტურულ-საინჟინრო პარამეტრების დადგენას;

5. რეალური პროექტირების დროს ენერგოეფექტური შენობის ინოვაციური არქიტექტურული და საინჟინრო გადაწყვეტები შეიძლება შეზღუდული იყოს ზოგიერთი მოთხოვნით, რომელიც ფიქსირებულია თავიდანვე, მაგალითად, შენობის სართულების რაოდენობა, შენობის რომელიმე გაბარიტული ზომა, სასარგებლო ფართის მნიშვნელობა და სხვა. ამ დროს დგება წინასწარი შეზღუდვების გათვალისწინებით ოპტიმიზაციის ამოცანა მოთხოვნით: ხვედრითი თბური დანაკარგების მინიმიზაცია;

6. საპროექტო გადაწყვეტის ეფექტურობა ფასდება კოეფიციენტით η , რომელიც ახასიათებს საპროექტო შენობის განსხვავებას შენობისაგან, რომელიც ყველაზე მეტად არის ეფექტური თბური თვალსაზრისით.

$$\eta = \frac{W_{\min}}{W}, \quad |0 < \eta \leq 1, \quad (2.1.1)$$

სადაც W_{\min} - არის შენობის თბური ენერგიის დანახარჯები, რომელიც ყველაზე უფრო ეფექტურია თბური თვალსაზრისით, ვტ; W - საპროექტო შენობის თბური ენერგიის დანახარჯები, ვტ. ამრიგად, η კოეფიციენტი ახასიათებს თუ საპროექტო შენობა კონკრეტული ინოვაციური გადაწყვეტებით, რამდენად განსხვავდება ოპტიმალურისაგან.

7. ენერგოეფექტური შენობის პროექტირების სისტემური მიდგომის საფუძველზე შეიძლება ჩაიწეროს:

$$\eta = \eta_A \cdot \eta_E, \quad (2.1.2)$$

სადაც, $\eta_A = \frac{Q_{\min}^A}{Q}$ და $\eta_E = \frac{Q_{\min}^E}{Q}$

Q_{\min}^A - არის შენობის ენერგიის დანახარჯები ოპტიმალური არქიტექტურული გადაწყვეტებით;

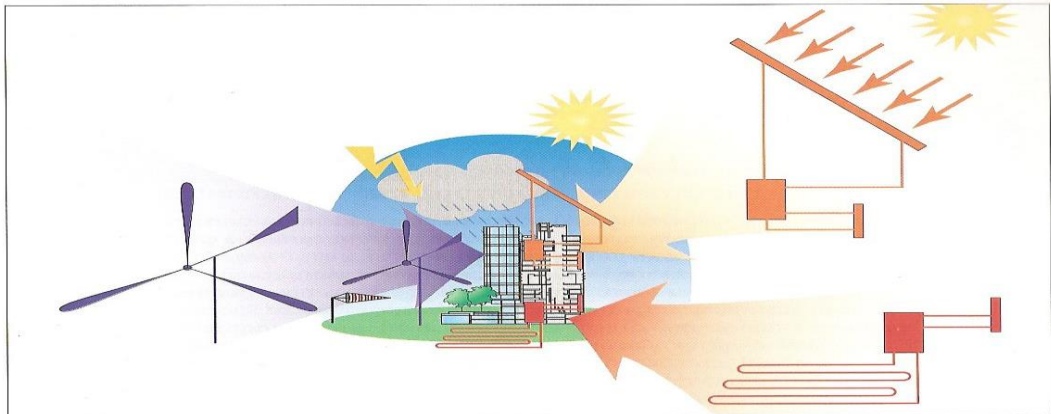
Q_{\min}^E - შენობის ენერჯის დანახარჯები ოპტიმალური საინჟინრო გადაწყვეტებით.

2.2. ენერგოეფექტური შენობა, როგორც არქიტექტურული და საინჟინრო გადაწყვეტების სინთეზი

შენობის პროექტირების დროს შეიძლება გამოყოფილი იქნეს შემდეგი არქიტექტურული და საინჟინრო გადაწყვეტები:

არქიტექტურული გადაწყვეტები		საინჟინრო გადაწყვეტები	
1.	შენობის ადგილმდებარეობის შერჩევა კლიმატური თავისებურებების, ადგილმდებარეობის რელიეფის და მშენებლობის სავარაუდო რაიონის არსებული განაშენიანების გეგმის მხედვით.	1.	თბომომარაგების წყაროების შერჩევა (მათ შორის არატრადიციული ენერჯის წყაროების: მზის, გეოთერმალური, ქარის და სხვა ენერჯების გამოყენება.
2.	შენობის საერთო არქიტექტურული კონცეფცია	2.	შენობის გათბობის სისტემის, ვენტილაციის და კონდიციონერების სისტემების შერჩევა
3.	შენობის ფორმისა და ორიენტაციის განსაზღვრა	3.	შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციების და მათი მასალების შერჩევა
4.	შენობის შემინვის (ფართობები და განლაგება) და მზისდამცავი სისტემის შერჩევა	4.	შენობის საინჟინრო მოწყობილობების ავტომატიზირებული მართვის სისტემის შერჩევა
5.	გარე მოპირკეთების კონსტრუქციისა და მასალის შერჩევა		
6.	შენობის შიგა სისტემის დაგეგმვა		
7.	განათების სქემის შერჩევა		

სურ.6-ზე ნაჩვენებია გარემო კლიმატის ენერგეტიკული შესაძლებლობები შენობის თბომომარაგების კუთხით. შენობის ზედაპირზე მზის რადიაციის მოდინება დიდ შესაძლებლობებს იძლევა წლის ცივი პერიოდისათვის შენობის გათბობისათვის საჭირო ენერჯის და წლის ცხელი პერიოდისათვის გაგრილებისათვის საჭირო ენერჯების შესამცირებლად. შენობის გათბობისა და გაგრილების პროექტირებისათვის გამოყოფილია წლის შემდეგი პერიოდები: ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო; გათბობის პერიოდი, ყველაზე ცხელი პერიოდი, გაგრილების პერიოდი; საანგარიშო პერიოდი. სურ.7-ზე ნაჩვენებია საანგარიშო პერიოდების მახასიათებლები და ოპტიმიზაციის მიზნები.



გარე კლიმატის ენერგეტიკული შესაძლებლობები

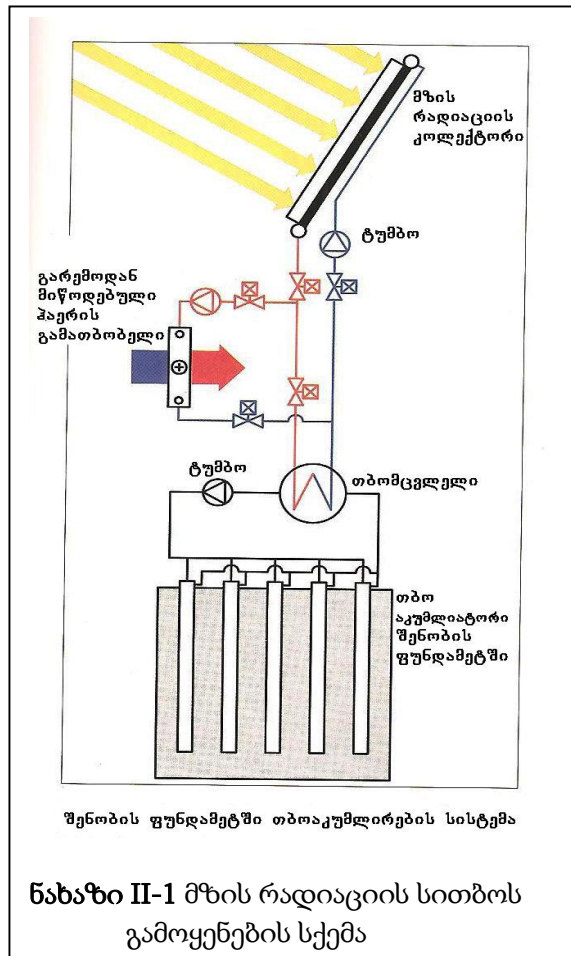
სურათი 6

საანგარიშო პერიოდი	ოპტიმიზაციის მიზანი
 <p>ყველაზე ცივი ხუთდღიანი პერიოდი</p>	<p>დამონტაჟებული გათბობის სისტემის სიმძლავრის შემცირება</p>
 <p>გათბობის პერიოდი</p>	<p>გათბობაზე ენერჯის ხარჯის შემცირება</p>
 <p>ყველაზე ცხელი თვე</p>	<p>დამონტაჟებული გაგრილების სისტემის სიმძლავრის შემცირება</p>
 <p>გაგრილების პერიოდი</p>	<p>გაგრილებაზე ენერჯის დანახარჯის შემცირება</p>
 <p>საანგარიშო წელი</p>	<p>შენობის გათბობაზე და გაგრილებაზე ენერჯო ხარჯების შემცირება</p>

სურათი 7

შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის შერჩევა ხდება ისეთნაირად, რომ მაქსიმალურად გამოყენებული იქნეს გარე კლიმატის დადებითი ზემოქმედება შენობის თბურ ბალანსზე და უარყოფითი ზემოქმედება განეიტრალებული.

ენერგომომარაგება მზის რადიაციის სითბოს გამოყენებით შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი სქემით: სახურავზე დადგმულია მზის



კოლექტორები. ზაფხულის პერიოდში მზის რადიაციის სითბო გროვდება მზის კოლექტორებში და თხევადი თბომტარის გამოყენებით მიდის შენობის საძირკველში მოთავსებულ თბომცვლელში. შენობის მასიურ საფუძველში გათვალისწინებულია სიცარიელები, რომლებშიც ასევე ცირკულირებს თხევადი თბომტარი, რომელიც ცხელდება მზის რადიაციის სითბოთი. ამრიგად შენობის მასიური საძირკველი ასრულებს სითბოს ბუნებრივი აკუმლიატორის როლს. საფუძველში დაგროვილი მზის

რადიაციის სითბო გამოიყენება მოდინებითი ჰაერის შესათბობად. გარდა ამისა, მოდინებითი ჰაერის შესათბობად გამოყენებულია უშუალოდ მზის პანელები. ზაფხულში, როცა გრუნტის ტემპერატურა დაბალია ვიდრე გარე ჰაერის ტემპერატურა, შენობის შედარებით ცივი საფუძველი შეიძლება გამოყენებული იქნეს აგრეთვე შიგა ჰაერის გასაცივებლად.

შესაბამისად ობიექტზე შესაძლებელია დაყენებული იქნეს მზის ენერგოსისტემა. მზის კოლექტორების მოდულები განთავსდება სახურავზე.

მზის კოლექტორების ორიენტაცია აუცილებელია სამხრეთის მიმართულებით, დახრა ჰორიზონტისადმი 20°-დან 80°-მდე დიაპაზონში. დახრის კუთხის ცვლა შესაძლებელია სეზონის შესაბამისად სპეციალური მექანიზმით. დახრის კუთხე 20°-ს შეესაბამება ზაფხულის პერიოდს, როცა მზე იმყოფება ყველაზე მაღლა ჰორიზონტის მიმართ.

შენობის კლიმატიზაციისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს: დაბალტემპერატურიანი თბომტარი - 43°C ტემპერატურის წყალი (გათბობის სიტემისათვის); რამდენიმე რეზერვუარი საჭირო ტევადობით; ამათგან ერთი რეზერვუარი განკუთვნილი უნდა იყოს გაცივებული ან გაგრილებული წყლის შესანახად, ხოლო დანარჩენი მხოლოდ ცხელი წყლის შესანახად; თბური ტუმბოები გათბობის ან გაგრილებისათვის; ღრუბლიანი ამინდის და გარემო ჰაერის დაბალი ტემპერატურის პერიოდში თბური ტუმბოების გამოყენებით შესაძლებელია წყლის ტემპერატურის ამაღლება 43°C -მდე.

ზაფხულის პერიოდში მზის კოლექტორებში ხდება წყლის უფრო მაღალ ტემპერატურამდე გაცხელება, რაც უზრუნველყოფს აბსორბციული თბური ტუმბოს მუშაობას ჰაერის კონდიციონირებისათვის. ზაფხულის პერიოდში რეზერვუარები, რომლებიც ჩართულია კლიმატიზაციის სქემაში, უზრუნველყოფს კოლექტორებიდან მიღებული ისეთი რაოდენობის ცხელი წყლის შენახვას, რომელიც საკმარისია სისტემის კვებისათვის რამდენიმე (სამი) ღრუბლიანი დღის განმავლობაში.

ზამთრის პერიოდში სისტემის წყლის გაყინვისაგან დასაცავად კოლექტორების პირველად კონტურში შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ეთილენგლიკოლისა და წყლის 50%-იანი ნარევი თბომტარი. ასეთ შემთხვევაში სითბოს გადაცემა კოლექტორიდან შენობის კლიმატიზაციის სქემაში განხორციელებულია თბომცვლელი აპარატის გამოყენებით. ზაფხულის პერიოდში ანტიფრიზის ხსნარი ჩამოიცლება სპეციალურ რეზერვუარში, ხოლო კოლექტორები ბაიპასის ხაზით უშუალოდ

უერთდება კლიმატიზაციის სისტემას. ასეთ შემთხვევაში გამოირიცხება სითბოს დანაკარგები თბომცვლელი აპარატიდან გარემოში.

მზით ენერგომომარაგების სისტემა გათვლილია როგორც დამხმარე ენერგომომარაგების სისტემა. იდეალური ამინდის პირობებში ამ სისტემას შეეძლება გაგრილებისა და გათბობის დატვირთვის 100%-იანი დაკმაყოფილება, მაგრამ რეალურად ტემპერატურის რხევების და ამინდის პირობების შეცვლის გათვალისწინებით მზის სისტემით შესაძლებელია გაგრილებისა და გათბობის დატვირთვის 30%-ით დაკმაყოფილება.

ენერგოეფექტური შენობების დაპროექტების და მშენებლობის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას ძირითადად შემდეგი რეკომენდაციები:

- შენობის საინჟინრო სისტემების ენერგომომხმარება გაანალიზებული უნდა იყოს სისტემური მიდგომის საფუძველზე;
- აღრიცხვის მიზანია – შენობის ენერგომომხმარებელი ელემენტების ურთიერთდამოკიდებულების დადგენა და საუკეთესო პარამეტრების გამოვლენა;
- შენობის მშენებლობის პროგრამაში ძირითად ფაქტორად უნდა ჩაიდოს ენერგოდამზოგი ღონისძიებები, რისთვისაც საჭიროა შენობის დაწვრილებითი სისტემური ანალიზი მათემატიკური და ფიზიკური მოდელირების გამოყენებით;
- ყველა რეკომენდაცია ეხება შენობების პროექტირების ყველაზე ადრეულ სტადიას.
- შენობის შიგა მოცულობის ეფექტურად გამოყენება გარე შემომზლული კონსტრუქციების ფართის მინიმუზაციით და მათი გავლით გარემოში სითბოს დანაკარგების შემცირების მიზნით;
- გარემოში თბოდანაკარგების შემცირების მიზნით გარე შემომზლული კონსტრუქციების ეფექტური თბოიზოლაციის გამოყენება;
- გარე შემომზლული კონსტრუქციების მაღალი სითბოტევადობა (დაბალი ტემპერატურაგამტარობა) შენობის თბომდგრადობის ასამაღლებლად;

- შენობის საფუძველში მზის რადიაციის სითბოს აკუმულირება გათბობის დატვირთვის შესამცირებლად;
- ვენტილირებადი ფანჯრების გამოყენება ზაფხულის პერიოდში სითბოს მოდინების, ხოლო ზამთარში სითბოს დანაკარგების შესამცირებლად;
- შენობის მაღალი ჰერმეტიულობა (ჰაერის მინიმალური გაპარვები) და გარე ჰაერის დაბალი ხარჯი ვენტილაციის სისტემაში შენობის გათბობისათვის ენერჯის ხარჯის შესამცირებლად;
- ეფექტური განათება ელექტროენერჯის დანახარჯების შესამცირებლად;
- კლიმატიზაციის მოწყობილობებისა და განათების ავტომატური მართვა ენერჯის აღრიცხვისა და მოხმარების ოპტიმიზაციის მიზნით.

2.3. შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმალური შერჩევა (თბილისის საბავშო ბაღის მაგალითზე)

ენერგოეფექტური შენობების პროექტირებისა და მშენებლობის მიზანია შენობის ენერგომომარაგებისათვის საჭირო ენერგორესურსების უფრო ეფექტურად გამოყენება ინოვაციური მეთოდებისა და გადაწყვეტების გამოყენების გზით. აღნიშნული ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება შესაძლებელი უნდა იყოს ტექნიკურად, დასაბუთებული ეკონომიკურად, ასევე მისაღები უნდა იყოს ეკოლოგიურად და სოციალური თვალსაზრისით, რაც არ შეცვლის ცხოვრების ჩვეულ წესს. ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიების შერჩევის დროს პრიორიტეტი ენიჭება ისეთ ტექნიკურ გადაწყვეტებს, რომლებიც ერთდროულად ხელს შეუწყობს შენობის მიკროკლიმატის და იმავდროულად გარემოს დაცვის გაუმჯობესებას.

შენობაზე ზემოქმედებას ახდენს გარემო პირობები: მზე, ქარი, წვიმა, თოვლი, გარემო ჰაერის ტემპერატურა და სხვა. შენობის პროექტირების დროს საჭიროა გადაიჭრას ამოცანა: საუკეთესოდ გამოყენებული იყოს შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი და მაქსიმალურად

ნეიტრალიზებული უარყოფითი ზემოქმედებები. ცნობილია, რომ მზის გამოსხივების ინტენსიობა, ქარის სიჩქარე და მიმართულება, გარემო ჰაერის ტემპერატურა იცვლება დიდ დიაპაზონში გეოგრაფიული მდებარეობის, ოროგრაფიის, ადგილმდებარეობის მიკრორელიეფის და წლის პერიოდის მიხედვით. გარემო კლიმატის გავლენა შენობის გარე შემომზღულ კონსტრუქციაზე მიზანშეწონილია დახასიათდეს მეტეოროლოგიური გრადიენტით, რომელიც ითვალისწინებს გარემო კლიმატის მახასიათებლების მიმართულებას, სიდიდეს და განმეორადობას. ქარის, მზის რადიაციისა და გარემო ჰაერის ტემპერატურას ერთობლივი ზემოქმედება სხვადასხვანაირად ორიენტირებულ შენობებზე განაპირობებს შენობის მნიშვნელოვნად განსხვავებულ თბოდანაკარგებს ან თბოშეთვისებას. შენობის თბოდანაკარგების გაანგარიშების დროს ხშირად არ ითვალისწინებენ შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციების ორიენტაციის მიხედვით მათ მიერ მზის გამოსხივებით განპირობებული შენობის შევსებული ღიობების გავლით ენერჯის ათვისებას. შედეგად თბური დანაკარგების კომპენსაციისთვის გაანგარიშებული გათბობის წყაროს სიმძლავრის მნიშვნელოვანი მარაგით შეირჩევა. დადგმული სიმძლავრის დაუსაბუთებელი გაზრდა უშუალოდ დაკავშირებულია კაპიტალდაბანდებების გაუმართლებელ ზრდასთან.

შენობის თბოდანაკარგების გაანგარიშებებში მზის რადიაციის გათვალისწინება მოცემულია თბილისის მაგალითზე: გათბობის სეზონისათვის ხუთდღიანი ცივი პერიოდის საანგარიშო ტემპერატურა ტოლია -8°C ; საშუალო ტემპერატურა $+3.2^{\circ}\text{C}$; გათბობის დღეების რაოდენობა 151დღ.დ; 2536.8 გრად.დღე (სათავსის შიგა ჰაერის 20°C ტემპერატურის პირობებში) [11].

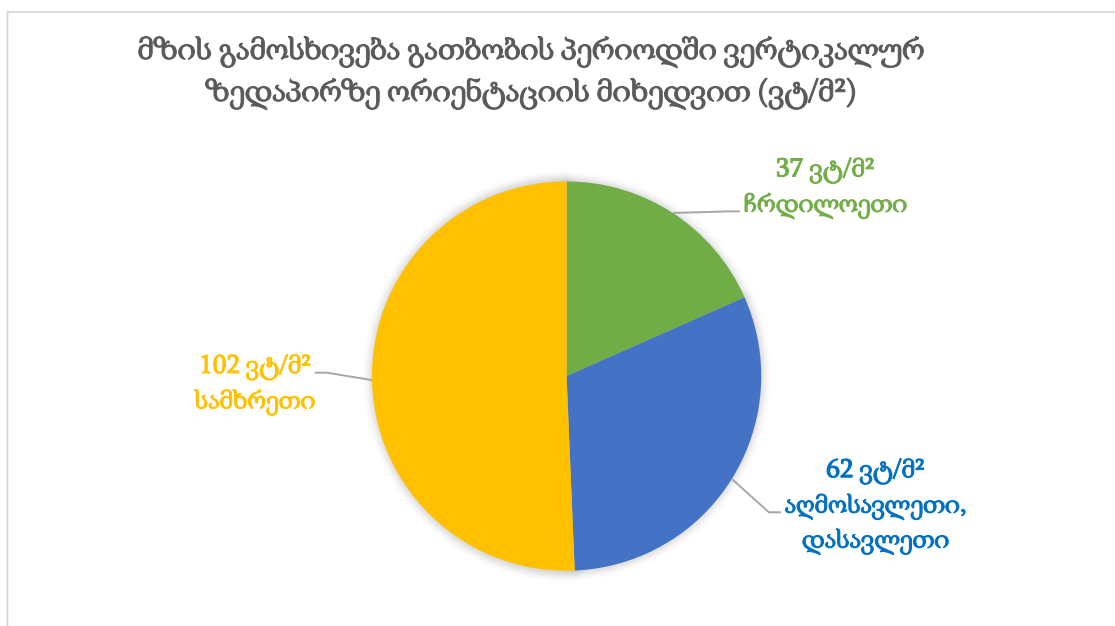
ცხრილ 2.1 მოცემულია ჩრდილოეთის, აღმოსავლეთის, დასავლეთის და სამხრეთის ორიენტაციის მქონე ვერტიკალური ზედაპირის ერთ კვ. მეტრზე (შენობის გარე შემომზღული კედელი) მზის ჯამური გამოსხივების ენერჯის საშუალო მნიშვნელობები გათბობის სეზონის თვეების მიხედვით და ასევე ჯამური მნიშვნელობები გათბობის სეზონისათვის.

ცხრილი II.1 მზის ჯამური გამოსხივება ვერტიკალურ ზედაპირზე

თვე	ღარი	ორიენტაცია					
		ჩრდილოეთი		აღმოსავლეთი, დასავლეთი		სამხრეთი	
		მგჯ/(დღე*მ²)	* ვტ/მ²	მგჯ/(დღე*მ²)	ვტ/მ²	მგჯ/(დღე*მ²)	ვტ/მ²
I	31	2.37	27.43	3.83	44.33	7.97	92.25
II	28	3.23	37.38	5.23	60.53	9.17	103.13
III	31	4.23	48.96	7.27	84.14	10.25	118.63
IV	15	5.23	60.53	9.14	105.79	9.94	115.05
XI	15	2.22	25.69	3.82	44.21	8.32	96.30
XII	31	1.89	21.88	3.03	35.07	7.24	83.80
		465,38 მგჯ/ (გათ.სეზ. მ²)	37 ვტ/მ² საშ. გათ. სეზ..	937.36 მგჯ/ (გათ.სეზ.მ²)	62.35ვტ/მ² საშ. გათ. სეზ..	1319.92 მგჯ/ (გათ.სეზ.მ²)	102.03ვტ/მ² საშ. გათ. სეზ..

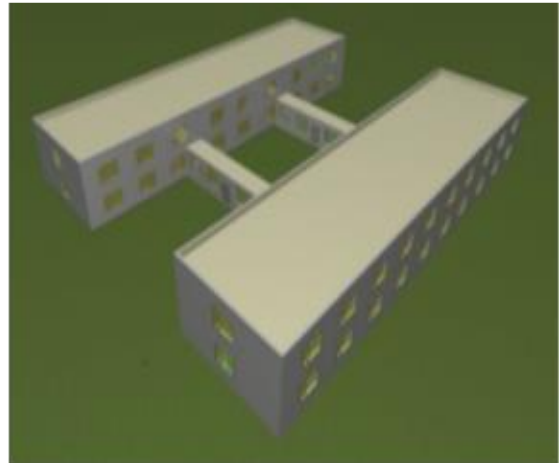
შენობის თბურ დანაკარგებში მზის გამოსხივების გასათვალისწინებლად შენობის კედლების ორიენტაციების მიხედვით საშუალო მნიშვნელობებია: 37 ვტ/მ² (ჩრდილოეთი); 62.35 ვტ/მ² (აღმოსავლეთი, დასავლეთი); 102.03 ვტ/მ² (სამხრეთი); 49.67 ვტ/მ² (ჩრდილოეთ-აღმოსავლეთი, ჩრდილოეთ-დასავლეთი); 82.19 ვტ/მ² (სამხრეთ-დასავლეთი, სამხრეთ-აღმოსავლეთი).

გრაფიკი 1



შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქცია წარმოადგენს გარე შემომზღული კედლისა და შუქლიობის ერთობლიობას. მზის დღიური რადიაცია მნიშვნელოვნად იცვლება წლიურ ციკლში და ამასთან ერთად შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციის ორიენტაციის მიხედვით. მზის რადიაციის გათვალისწინება (შუქფანჯრებიდან შენობაში შეღწევით) მნიშვნელოვნად ამცირებს გათბობის დადგმულ სიმძლავრეს, შედეგად კაპიტალდაბანდებებს გათბობაზე და შესაბამისად საექსპლუატაციო ხარჯებსაც.

შენობის ვერტიკალურ კონსტრუქციაზე მზის რადიაციის ზემოქმედების საანალიზოდ აღებულია მართკუთხა ფორმის თბილისში არსებული ტიპური ორსართულიანი საბავშვო ბაღის შენობა საბაზისო ზომებით: სიგრძე – 52მ (გარე შემომზღული კონსტრუქციები A და C); სიგანე – 13მ (გარე შემომზღული კონსტრუქციები B და D); სიმაღლე – 7მ; გასათბობი ფართი შეადგენს 1352 კვ.მ. [32,33].



სურათი 8

შენობის ორიენტაცია დიაგონალურია. გარე შემომზღული კონსტრუქციის კედლის თბოგადაცემის თერმული წინაღობა ტოლია $0.66 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$, ხოლო შემინვის თბოგადაცემის თერმული წინაღობა შეადგენს $0.17 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$, სახურავის და გადახურვის (სარდაფის) თბოგადაცემის თერმული წინაღობებია: $1.8 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$ და $0.65 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$ შესაბამისად. გარე შემომზღული კონსტრუქციის შემინვის კოეფიციენტია: 39% (A), 36% (C), 6-6% (B, D). თბოგადაცემის კოეფიციენტი სათავსის შიგა ჰაერიდან შიგა კედელზე ტოლია $8.7 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$, ხოლო გარე კედელზე – $23 \text{ მ}^2\text{C/ვტ}$.

შენობის თბური დანაკარგების გაანგარიშება გათბობის წყაროს სიმძლავრის შესარჩევად ჩატარებულია გათბობის საანგარიშო ტემპერატურის -8°C (ხუთდღიანი ცივი პერიოდი), ხოლო შენობის ენერგეტიკული პასპორტის შესადგენად გათბობის პერიოდის ჰაერის საშუალო ტემპერატურის $+3.2^{\circ}\text{C}$ პირობებისთვის. ცხრილ 2.2-ში მოცემულია შენობის დიაგონალური, მერიდიანული და განედური ორიენტაციებისთვის საანგარიშო ტემპერატურების -8°C და $+3.2^{\circ}\text{C}$ პირობებისათვის ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები საბაზისო შენობისათვის (ფაქტიური ზომებით) მზის ინსოლაციის გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით. მოყვანილია A, C, B და D გარე შემომზღული კონსტრუქციებიდან ხვედრითი თბური დანაკარგების (ვტ/მ^2), გათბობის მოთხოვნილი

სიმძლავრეების (კვტ) და გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები (ვტ/მ²).

ცხრილი II.2 საბაზისო შენობა ფაქტიური ზომებით 52X13, მზის ინსოლაციის გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით

გათბობის საანგარიშო ტემპერატურა	შენობის ორიენტაცია	ხვედრითი თბური დანაკარგი a (52) შემ. კონსტრუქციისათვის q _a (ვტ/მ ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი c (52მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q _c (ვტ/მ ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი b (13მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q _b (ვტ/მ ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი d (13მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q _d (ვტ/მ ²)	გათბობის სიმძლავრე კვტ	გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები q _რ (ვტ/მ ²)
1	2	3	4	5	6	7	8
ხუთ დღიანი ცივი პერიოდი -8 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	96.39	92.44	53.57	53.57	113.97	84.30
	დიაგონალური	64.34	74.57	48.33	50.40	95.03	70.29
	მერიდიანული	72.08	70.00	47.06	51.21	96.14	71.11
	განედური	56.60	79.13	49.59	49.59	93.91	69.46
გათბობის პერიოდი 3.2 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	60.41	57.93	33.57	33.57	73.10	54.07
	დიაგონალური	28.35	40.05	28.33	30.40	54.16	40.06
	მერიდიანული	36.09	35.49	27.06	31.21	55.28	40.89
	განედური	20.62	44.61	29.59	31.40	53.21	39.36

ცხრილი 2.2-დან ჩანს, რომ შემომზადებული კონსტრუქციიდან ხვედრითი თბური დანაკარგები მზის ინსოლაციის გათვალისწინებით მცირდება და განსხვავებულია შენობის ორიენტაციის მიხედვით (ცხრილი 2.3-ის შესაბამისად). შედეგად საბაზისო შენობის გათბობის დადგენილი სიმძლავრე -8°C პირობებში შემცირებულია 113.97 კვტ-დან 95,03 კვტ-მდე. ასევე გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები შემცირებულია 84,30 ვტ/მ²-დან 70.29 ვტ/მ² -მდე. ანალოგიური სიდიდეების

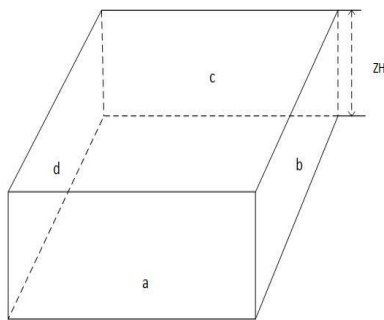
მნიშვნელობები გაანგარიშებული გათბობის პერიოდის საშუალო ტემპერატურის +3.2°C მიხედვით შემცირებულია: 71.10 კვტ-დან 54.60 კვტ-მდე და 54.07 ვტ/მ²-დან 40.06 ვტ/მ²-მდე. ცხადია, ინსოლაციის გაუთვალისწინებლად შენობის სხვადასხვა ორიენტაცია შედეგებზე გავლენას არ მოახდენს. ანალოგიური ინფორმაცია მოცემული ცხრილ 2.3 –ში. დადგენილია შენობის ოპტიმალური ზომების მიზნობრივი ფუნქციის – თბური დანაკარგების მინიმიზაციის მოთხოვნით. პრიორიტეტი (ზომების გადიდებით) ენიჭება კონსტრუქციებს, რომლებსაც გააჩნიათ შედარებით მცირე თბოდანაკარგები. შენობის გარე შემომზღული (a, b, c, d) ხვედრითი სითბოს დანაკარგების მნიშვნელობების (ვტ/მ²) იგივეა, რაც ცხრილი 2.2-ის შემთხვევაში.

ცხრილი II.3 შენობა ოპტიმალური ზომებით მზის ინსოლაციის გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით

გათბობის საანგარიშო ტემპერატურა	შენობის ორიენტაცია	a და c კონსტრუქციების ოპტიმალური ზომები	b და d კონსტრუქციების ოპტიმალური ზომები	გათბობის სიმძლავრე კვტ	მინიმალური თბური დანაკარგები დაყვანის გასათბობ ფართზე qf (ვტ/მ ²)
1	2	3	4	5	6
ხუთ დღიანი ცივი პერიოდი -8 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	19.58	34.52	87.26	64.54
	დიაგონალური	21.92	30.84	78.11	57.77
	მერიდიანული	21.62	31.26	78.49	58.06
	განედური	22.23	30.42	77.72	57.48
გათბობის პერიოდი ჰაერის საშუალო ტემპერატურით 3.2 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	19.58	34.52	56.36	41.69
	დიაგონალური	24.09	28.06	46.99	34.76
	მერიდიანული	23.46	28.82	47.43	35.08
	განედური	25.14	26.89	46.88	34.67

ცხრილი 2.3-დან ჩანს, რომ შენობის ზომების ოპტიმიზაციის შედეგად დადგმული სიმლავრე -8°C დროს მცირდება 113.97 კვტ-დან 87.26 კვტ-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 78.11 კვტ-მდე. გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები შენობის ზომების ოპტიმიზაციით მცირდება 84.30 ვტ/მ -დან 64,54 ვტ/მ² -მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 57.77 ვტ/მ²-მდე. ანალოგიურად მცირდება $+3.2^{\circ}\text{C}$ დროს: 73.10 კვტ-დან 56.36 კვტ-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 46.99 კვტ-მდე. გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები შენობის ზომების ოპტიმიზაციით მცირდება 54.07 ვტ/მ² -დან 41.69 ვტ/მ² -მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 34.76 ვტ/მ² -მდე.

შენობის ოპტიმალური ზომები გაანგარიშებულია შემდეგი ფორმულით [2]:



“a” და “c” კონსტრუქციის ზომა (მ):

$$a = \sqrt{\frac{F_0 (q_b + q_d)}{Z (q_a + q_c)}} \quad (2.3.1)$$

“b” და “d” კონსტრუქციისათვის:

$$b = \frac{F_0}{az} \quad (2.3.2)$$

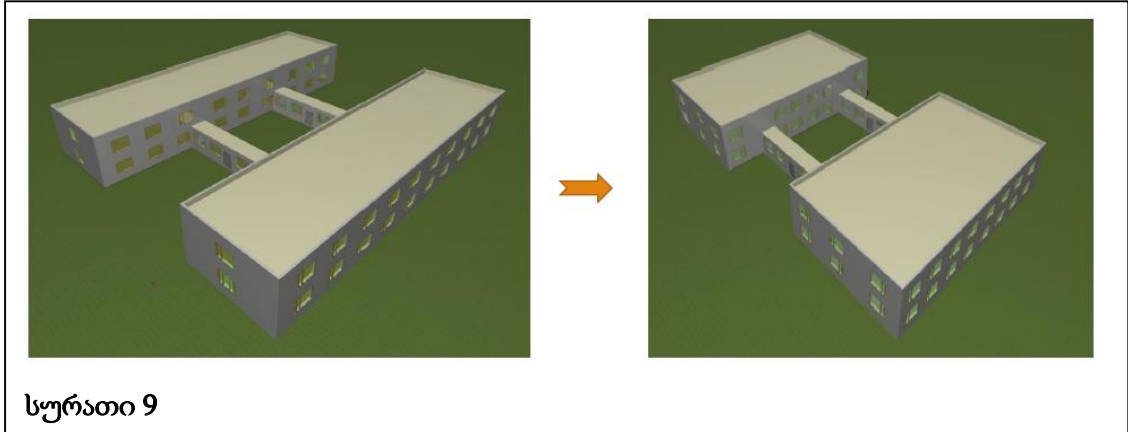
გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური ხვედრითი თბური დანაკარგები:

$$q_F = \frac{q_{gad} + q_{sax}}{z} + 2 \sqrt{\frac{H^z}{F_0} Z (q_a + q_c)(q_b + q_d)} \quad (2.3.3)$$

სადაც F_0 – არის შენობის საერთო ფართი, მ²; q_a , q_b , q_c , q_d , q_{gad} , q_{sax} – მახასიათებელი თბური დანაკარგები, შესაბამისად გარე შემომზღლული კონსტრუქციები q ზომებით a , b , c , d და გადახურვისა და სახურავით ვტ/მ²; $Z=2$ – სართულების რაოდენობა.

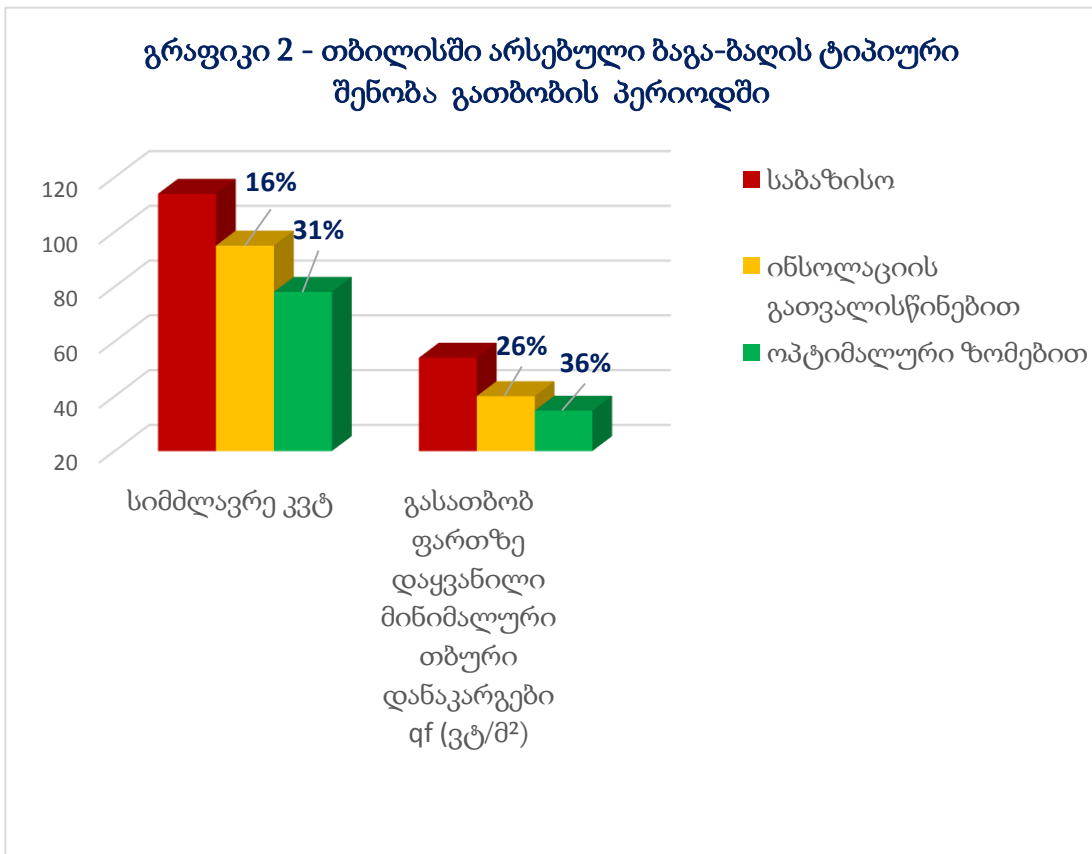
შენობის ფორმა, ზომები და ორიენტაცია უნდა შეირჩეს ისეთნაირად, რომ მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი ზემოქმედება და მოხდეს ნეიტრალიზება უარყოფითი

ზემოქმედებების. ოპტიმიზაციის დროს იცვლება შენობის ზომები, განგარიშებით საბაზისო შენობის გვერდების თანაფარდობა 52/13 შეიცვალა 31/23-ით. ასევე მზის დასხივების ანგარიშში გათვალისწინებით მცირდება



სურათი 9

გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები და შენობის გათბობის დადგმული სიმძლავრე 31%-ით.



სურათ 10-ზე მოცემულია ფორმულები რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმის შენობის ოპტიმალური ზომის დადგენა.

სხვადასხვა ფორმის შენობაში მინიმალური თბოდანაკარგებისთვის ან სიბოთს გამოყენებისთვის ოპტიმალური ზომის გამოსათვლელი ფორმულები					
შენობის ფორმა	დაწესებული შეზღუდვა	შენობის ოპტიმალური ზომები		სართულების რაოდენობა	მინიმალური თბოდანაკარგი q_F ვც/წ
		განზომილება, მ	განზომილება, მ		
		a	b		
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$	$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} (q_b + q_d)^2}$	$\sqrt[3]{\frac{HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})} (q_a + q_c)^2}$	$\frac{F_0}{ab}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} (q_{fl} + q_{roof}) (q_a + q_c)(q_b + q_d)}$
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$ $Z = \text{const}$	$\sqrt{\frac{F_0}{Z} (q_b + q_d)}$	$\frac{F_0}{aZ}$	Z	$\frac{(q_{fl} + q_{roof})}{Z} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} Z (q_a + q_c)(q_b + q_d)}$
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$ $b = \text{const}$	$\sqrt{\frac{HF_0}{b} (q_b + q_d)}$	b	$\frac{F_0}{ab}$	$\frac{H(q_b + q_d)}{b} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} b (q_b + q_d)(q_{fl} + q_{roof})}$
	$F_0 = \text{const}$ $H = \text{const}$ $a = c$ $b = d$ $a = \text{const}$	a	$\sqrt{\frac{HF_0}{a} (q_a + q_c)}$	$\frac{F_0}{ab}$	$\frac{H(q_b + q_d)}{a} + 2\sqrt{\frac{H^2}{F_0} a (q_a + q_c)(q_{fl} + q_{roof})}$
	$F_0 = \text{const}$ $a = \text{const}$	$\sqrt[3]{\frac{q_{vert} HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$		$\frac{F_0}{a^2}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2}{F_0} q_{vert} (q_{fl} + q_{roof})}$
	$F_0 = \text{const}$ $a = b$	$\sqrt[3]{\frac{(\sqrt{2}q_c + q_a + q_b) 2HF_0}{(q_{fl} + q_{roof})}}$	$\sqrt{2}a$	$\frac{2F_0}{a^2}$	$3\sqrt[3]{\frac{H^2 (q_a + q_b + \sqrt{2}q_c)^2 (q_{fl} + q_{roof})}{2F_0}}$

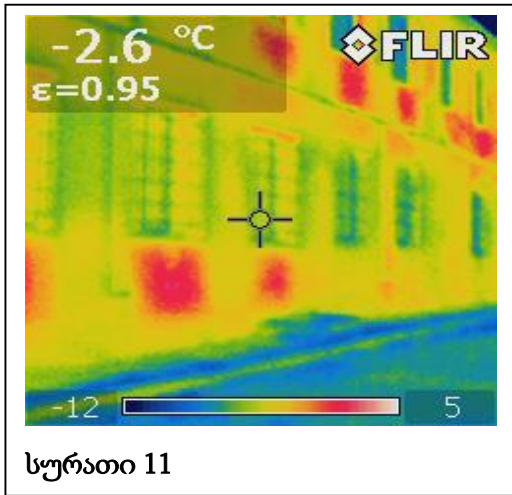
სურათი 10

2.3.1. საბავშვო ბაღის შენობის ენერგოეკონომიკური ანალიზი

თბილისის 107-ე და 190-ე ბავა-ბაღები, რომლების შენობები წარმოადგენს ქალაქ თბილისში არსებული ტიპური ბაღის შენობებს, თითოეული ემსახურება 580 ბავშვს 15 ჯგუფით. შენობის მონაცემები და მდგომარეობა შემდეგია: შენობის კონსტრუქცია კარკასულია, კედლები ანაკრებ პანელოვანი (აღნიშნება მცირე დეფექტები, კედლებიდან ბათქაში ალაგ-ალაგ ჩამოყრილი), სისქით 43სმ, შენობა შედგება ორი ორსართულიანი ბლოკისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ორი გადასასვლელით, სართულშუა გადახურვა სიმკარები (მდგომარეობა ნორმალური), შენობას არ აქვს სარდაფი, სახურავი ბრტყელი გადახურვა (აღნიშნება დაზიანებები). აღნიშნული შენობის ორივე სართულის საერთო გასათბობი ფართი (კორიდორებთან ერთად) წარმოადგენს 2792მ², მოცულობით 10374მ³ (დამატებით მიწისქვეშ მოცულობაა 863მ³). პირველი სართულის და სახურავის ფართობებია 1439მ². შენობის შემომზღუდი გარე კედლების ფართობია 2124 მ², მათ შორი ფანჯრები-შემინვა 30% 630მ². შენობის გარე

კედლები ორიენტაციის მიხედვით შემდეგ ნაირად ნაწილდება: ჩრდილოეთით 333მ², მათ შორი ფანჯრები 17% 57მ², აღმოსავლეთით 720მ², მათ შორის ფანჯრები 35% 252მ², სამხრეთით 333მ², მათ შორის ფანჯრები 19% 63მ², დასავლეთით 738მ², მათ შორი ფანჯრები 35% 257მ².

გათბობის სისტემა ორმილოვანია, ქვედა განაწილებით გათბობის



ხელსაწყოდ მიღებულია პანელური ტიპის რადიატორი მარეგულირებელი ვენტლით, საერთო თბოდატვირთვაა 205,5კვტ. აქედან გათბობაზე 142,5კვტ. ცხელ წყალზე 63კვტ. საქვაბეში ორი გაზის საწვავი სანთურა, თითოეულის წარმადობა 107კვტ.

2014 წლის თებერვალში (გათბობის პერიოდი) ტიპიური ბაღების შენობებში

კედლების თერმული წინაღობის შეფასება. გამოყენებული იქნა FLIR-ის თერმული კამერა და ИТП_МГ4 სპეციალური თბური ნაკადის ელექტრული ხელსაწყო. გაზომილი იქნა თბური ნაკადი და გამოთვლილი იქნა ექსპლუატაციაში მყოფი კედლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი λ (ვტ/მ²*К) ფორმულით:

$$\lambda = \frac{q\delta}{\Delta t} \quad (2.3.4)$$



კედლის თბოგამტარობის კოეფიციენტის მაჩვენებელი გაზომვის და გამოთვლის შედეგად მიღებული იქნა $\lambda_{კედ} = 1,25$ ვტ/მ²*K, თერმული წინაღობა $R_{კედ} = 1/8.72 + .43/1.25 + 1/24.5 = 0.49$ მ²K/ვტ

თბოგადაცემი სიდიდე, რომელიც არის თერმული წინაღობი შებრუნებული სიდიდე, ვლებულობთ: $U_{კედ} = 1/R = 1/0.49 = 2.04$ ვტ/მ²K.

მეტალოპლასტმასის ფანჯრები, რომელიც გარე კედლების 30%-ს შეადგენს, თბოგადაცემის მაჩვენებელია $U_{ფანჯ} = 2.9$ ვტ/მ²K

შენობის კუთრი თბური მახასიათებელი ეწოდება შენობის 1მ³ მოცულობაზე მოსული სითბოს (კკალორია) კარგვას 1 საათის განმავლობაში, როდესაც სხვაობა შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურებს შორის 1°C ტოლია. გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$q = \frac{Q}{V \Delta t} \quad \text{კკალ/მ}^3 \text{ სთ } ^\circ\text{C} \quad (2.3.5)$$

სადაც,

Q - შენობის საერთო თბოდანაკარგი ;

V - შენობის მოცულობა;

Δt - ტემპერატურათა სხვაობა შიგა და გარე ჰაერებს შორის.

ენერგეტიკული კუთრი მოხმარება (შენობის გათბობისთვის და ვენტილაციისთვის) შესაძლებელია განსაზღვრული იყოს როგორც შენობის მოცულობის 1მ³-ზე, ასევე შენობის ფართობის 1მ² - ზე, ერთი გრადუსი დღის განმავლობაში ვტ*სთ/მ²*°C დღე ან ვტ*სთ/მ³*°C.

გრადუს დღეები ანგარიშდება შემდეგი ფორმულირებით: შენობის შიდა ტემპერატურის და გათბობის სეზონის საშუალო ტემპერატურის სხვაობა გამრავლებული გათბობის სეზონში მდებარეობის მიხედვით დღეების რაოდენობაზე.

$$\text{თბილისისთვის: გრადუს დღე} = (18 - 4,1) * 146 = 2030$$

ძველი საბჭოური სტანდარტებით დადგენილი ნორმების მიხედვით, საბავშვო ბაღებისთვის შენობების კუთრი თბური მახასიათებელი გათბობისთვის 1მ³-ზე შეადგენს 0,34 კკალორიას, ხოლო ვენტილაციისთვის 0,10 (გასათბობი მოცულობა-10374მ³) ანგარიშით გათბობისთვის საჭიროა 505

ათასი კილოვატ საათი ენერჯია (10374*2322*24), რაც ექვივალენტურია 59000მ³ ბუნებრივი აირის (505000/860). შესაბამისად გათბობის სეზონის პერიოდისთვის 1მ² მოდის 185-230 კვტ.სთ ენერჯია.

2014 წლის 18 იანვრიდან ჩაერთო გათბობა თბილისის #190-ე საბავშვო ბაგა-ბაღში, რომელთანაც დაკავშირებულმა ბუნებრივი აირის ხარჯმა შეადგინა 19730მ³ ბუნებრივი აირი 90 დღის განმავლობაში, რაც ექვივალენტურია 183500 კვტ.სთ ენერჯიის და 1მ²-ზე შეადგენს 109კვტ.სთ ენერჯიას გათბობის სეზონის სრული პერიოდისთვის. აღნიშნული შედეგი მიღწეულია ენერგო ეფექტური ფანჯრების მონტაჟის საფუძველზე.

საბავშვო ბაღის შენობისთვის რეკომენდირებული ენერგოეფექტური ღონისძიება: შენობის გარე კედლების დასათბუნებელი ფართი შეადგენს 1500მ²-ს. დასათბუნებელი მასალა XPS 30მმ რომლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda=0,035$ ვტ/მ²*K. ჩვენს მიერ განხილული შენობის გარე კედლების სრულად დათბუნების და ფასადის შეღებვის ჯამური ინვესტიცია შეადგენს 33000ლარს.

დათბუნების ღონისძიების შემდეგ შენობის გარე კედლების თერმული წინაღობა იქნება:

$$R_{კედ} = 1/8.72 + 0.43/1.25 + 0,03/0,035 + 0,02/0,93 + 1/24.5 = 1,38 \text{ მ}^2\text{K}/\text{ვტ}$$

გარე კედლების თბოგადაცემის სიდიდე, რომელიც არის თერმული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე, ვღებულობთ: $U_{კედ} = 1/R = 1/1,38 = 0,73$ ვტ/მ²K.

მეტალოპლასტმასის ფანჯრები, რომელიც გარე კედლების 30%-ს შეადგენს, თბოგადაცემის მაჩვენებელია $U_{ფანჯ} = 2.9$ ვტ/მ²K

აღნიშნული ღონისძიების განხორციელების შემდგომ დანაზოგი შეადგენს:

- გათბობის პერიოდში (151დღე) ენერჯიის დანაზოგი მიაღწევს 82850კვტ.სთ-ს, რომელიც ექვივალენტურია 8900მ³/წ ბუნებრივი აირის;
- დათბუნების ღონისძიების ინვესტიცია შეადგენს 33000ლარს;
- მარტივი უკუგების პერიოდი 4,9 წელი;
- წმინდა დანაზოგი 6675 ლარი;
- NPVQ – 1,1;
- CO₂ ემისის შემცირება 17ტ/წ.

2.4. შენობის გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაცია

გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის პირობებში ენერჯის ხარჯის ოპტიმიზაცია გულისხმობს გათბობის ხარჯის ისეთ მართვას, რომელიც დააკმაყოფილებს შენობის თბური ბალანსის განტოლებას და ცალსახობის გარკვეულ პირობებს. აქტუალურია გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა გათბობაზე დახარჯული ენერჯის მინიმიზაციის მიზნით[38;51].

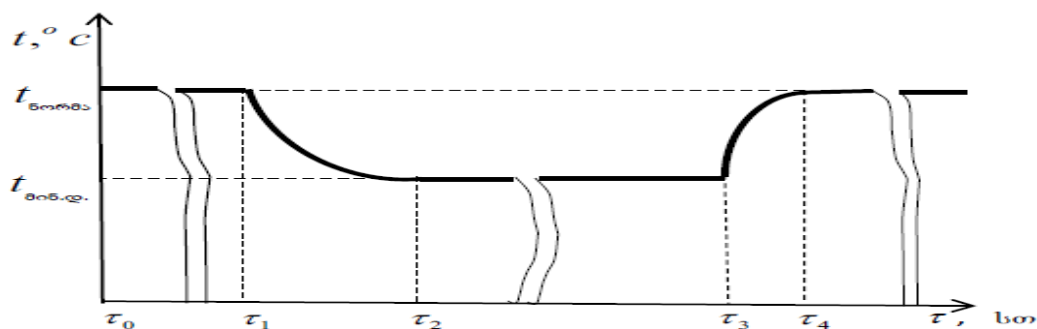
გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმი მოიცავს სითბოს მიწოდების და შესაბამისად სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების 4 ერთმანეთთან დაკავშირებულ პერიოდს (ნახ.2-2):

1. სტაციონარული პერიოდი, რომლის დროსაც სათავსში უზრუნველყოფილია სანიტარულ-ჰიგიენური ან ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისი ნორმატიული თბური მაჩვენებლები (შიგა ჰაერის ტემპერატურა, გარემოში სითბოს დანაკარგები);

2. გაგრილების პერიოდი- დროის შუალედი, რომლის განმავლობაშიც შიგა ჰაერის ტემპერატურა მცირდება ნორმირებულ მინიმალურ დასაშვებ ტემპერატურამდე;

3. პერიოდი მინიმალური დასაშვები ტემპერატურით (სტაციონარული მდგომარეობა დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე);

4. ინტენსიური გათბობის პერიოდი- რომლის განმავლობაშიც შენობის თბური რეჟიმი აღწევს საწყის სტაციონარულ მდგომარეობას ნორმატიული თბური მახასიათებლებით.



ნახაზი II-2 შიგა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სამაგალითო გრაფიკი “წყვეტილი” რეჟიმით გათბობისას

τ_1 არის დროის მომენტი როცა ხდება სათავსში სითბოს მიწოდების შემცირება ან შეწყვეტა; τ_2 -დროის მომენტი საიდანაც იწყება სათავსში ჰაერის მინიმალური დასაშვები ტემპერატურის შენარჩუნება; τ_3 -დროის მომენტი, როცა იწყება სათავსის ინტენსიური გათბობა; τ_4 -დროის მომენტი როცა სათავსში მყარდება ჰაერის ნომინალური ტემპერატურა; t_6 და t_{906} - ნომინალური და სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმებით ან ტექნოლოგიური ნორმებით დასაშვები მინიმალური ტემპერატურები შესაბამისად.

შეიძლება ადგილი ქონდეს ისეთ შემთხვევასაც, როცა შიგა ჰაერის ტემპერატურის შემცირება არ ხდება ნორმირებულ მინიმალურ ტემპერატურამდე, მაშინ ამ პერიოდს უშუალოდ ესაზღვრება ინტენსიური გათბობის პერიოდი.

გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის პირობებში ენერგიის ხარჯის ოპტიმიზაცია გულისხმობს გათბობის ხარჯის- $Q(\tau)$ ისეთ მართვას, რომელიც დააკმაყოფილებს შენობის თბური ბალანსის განტოლებას და ცალსახობის გარკვეულ პირობებს (საწყისი თბური პირობები და ზოგიერთი შეზღუდვა - შიგა ჰაერის მაქსიმალური და მინიმალური ნორმატიული ტემპერატურები).

ოპტიმიზაციის ამოცანა გულისხმობს გათბობის ენერგიის (E) მინიმიზაციას:

$$E = \int_{t_1}^{t_4} Q(\tau) d\tau \rightarrow \min \quad (2.4.1)$$

ენერგიის მაქსიმალური დაზოგვის კუთხით განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პროცესის მეოთხე პერიოდი. რეკომენდაციების შესამუშავებლად საჭიროა შიგა ჰაერის თბური ბალანსის საფუძველზე ანალიზის ჩატარება.

ინტენსიური გათბობის პერიოდში მიწოდებული სითბო- $Q(\tau)$ იხარჯება შიგა ჰაერის გათბობაზე- $Q_{ჰაერო}$, ჰაერის ინფილტრაციის სითბოს კომპენსაციაზე $Q_{ინფ.}$, შემომზღუდი კონსტრუქციების გათბობაზე - $\sum Q_i$, შენობის შიგნით მოთავსებულ ავეჯის ან მოწყობილობის გაცხელებაზე - $Q_{ავეჯ.მოწყ.}$. შიგა ჰაერის თბურ ბალანს აქვს სახე:

$$Q(\tau) = Q_{\text{ჰაერი}} + Q_{\text{ინფ.}} + \sum Q_i + Q_{\text{აკვეჯ.მოწყ.}} \quad (2.4.2)$$

ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმუმაცია მიიღწევა ორი ძირითადი პირობის შესრულებით:

1. შენობაში სითბოს მიწოდება საჭიროა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით;

2. ინტენსიური გათბობის პერიოდში საჭიროა გათბობის სისტემის მობილური სქემის ამუშავება (“სწორი” ორგანიზება), რაც გულისხმობს შენობის შიგნით ენერჯის ოპტიმალურ განაწილებას.

თბური ბალანსის აღნიშნული კომპონენტები $\sum Q_i$ და $Q_{\text{აკვეჯ.მოწყ.}}$ მნიშვნელობებით ერთმანეთის თანაზომადია და გაცილებით აღემატებიან $Q_{\text{ინფ.}}$ და $Q_{\text{ჰაერი}}$ მდგენელებს.

აღნიშნულის გამო შიგა ჰაერის ტემპერატურა საკმაოდ სწრაფად აღწევს მის ნორმატიულ მნიშვნელობას, მაშინ როცა შიგა ზედაპირის გაცხელებას კედლის შესაბამის ნორმატიულ ტემპერატურამდე სჭირდება მნიშვნელოვნად მეტი დრო. ამიტომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმუმაციისათვის საჭიროა პირველ რიგში, და რაც შეიძლება სწრაფად, უზრუნველყოფილი იქნეს თბური ბალანსის უფრო თბოტევადი მდგენელების გათბობა, როგორებიცაა შემომზღუდი კონსტრუქციები და ავეჯი. ეს პირობა აუცილებელია, მაგრამ არასაკმარისი პროცესის სრული ოპტიმიზაციისათვის.

სამშენებლო მასალების და კონსტრუქციების თბოაკუმულაციის მაჩვენებლები და მათი გავლენა გაცხელების სიჩქარეზე განხილულია ცხრილში 2.6 მოყვანილი მასალების მაგალითზე. ცხრილში მოცემულია მასალების თბოფიზიკური მაჩვენებლების მნიშვნელობები: სიმკვრივე - ρ , მასური სითბოტევადობა - $c_{\text{მას}}$ და თბოგამტარობის კოეფიციენტი - λ მოცულობითი სითბოტევადობის მნიშვნელობები მიიღება გამოსახულებით $c_{\text{მოც}} = c_{\text{მას}} \cdot \rho$, რაც ახასიათებს მასალების აკუმულაციის უნარს. თუ მასალის თერმული წინაღობა $R = \delta / \lambda = 1$. მაშინ მასალის სისქე

რიცხოვრივად თბოგამტარობის კოეფიციენტის ტოლია.

ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ ახაიათებს მასალაში

ტემპერატურის გათანაბრების სიჩქარეს (არასტაციონარულ პროცესს),

ცხრილი II.4 ზოგიერთი სამშენებლო მასალის თბოფიზიკური თვისებები და თბოაკუმულაციის მაჩვენებლების შეფასება

№	მასალა	სიმკვრივე, კგ/მ ³	მასიური სითბოტევადობა, კჯ/კგ/კ	თბოგამტარობის კოეფიციენტი ვტ/მ/კ	ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი, x10 ⁷	მასალის ერთი გრადუსით გასათბობად საჭირო სითბო, კჯ	ტემპერატურის ცვლილება x 10 ³ გრად/წთ	მასალის თბოშეთვისების კოეფიციენტი 24 საათი პერიოდისათვის, ვტ/მ ² /კ	დრო საჭირო ტემპერატურის ასაწევად 10 °C -დან 16 °C-დე, სთ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ბეტონი ხრეშის ღორღზე	2400	0.84	2	9.92	4032	1.4	17.12	67.2
2	წიდაბეტონი	1800	0.84	0.81	5.36	1225	4.89	9.43	20.4
3	აგური გამომწვარი	1800	0.88	0.75	4.73	1188	5	9.29	19.8
4	ნახვრეტებიანი აგური	1300	0.88	0.48	4.2	549	10.9	6.32	9.2
5	ხის ბოჭკოვანი ფილები	600	2.51	0.145	0.96	218	27.4	3.98	3.6
6	წიდაპემზაბეტონი	800	0.84	0.25	3.72	168	35.7	3.49	2.8
7	თაბაშირის ფილა	700	1.05	0.22	2.99	162	37.1	3.43	2.7
8	პემზაბეტონი	700	0.96	0.21	3.13	141	42.5	3.20	2.4
9	კერამზიტობეტონი	600	0.84	0.21	4.17	106	56.7	2.77	1.8
10	პერლიტბეტონი	400	0.84	0.13	3.87	44	137.4	1.78	0.73
11	მინერალური ბამბის ფილა	200	0.75	0.065	4.33	10	615.4	0.84	0.16
12	მინერალური ბამბა	150	0.75	0.05	4.44	5.6	1066.7	0.64	0.09
13	პოლიმერი მიპორა	20	1.47	0.05	17	1.5	4082	0.33	0.02
14	ჰაერი	1.293	1	0.025	193	0.03	185614	0.05	0.0005

შესაბამისი ნიშნულობები მოცემულია 6 სვეტში. განსახილველი ზედაპირის ფართობი უდრის 1 მ², ხოლო მასზე მოქმედი თბური ნაკადი უდრის

100ვტ. მასალის ერთი გრადუსით გათბობისათვის საჭირო სითბოს მნიშვნელობები მოცემულია სვეტში 7.

მე-8 სვეტში მოცემულია მასალის ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე, როცა მასზე მოქმედებს 100 ვტ სიმძლავრის სითბოს წყარო.

მე-9 სვეტში მოყვანილია მასალის თბოშეთვისების კოეფიციენტების - S_{24} მნიშვნელობები გაანგარიშებული ფორმულით:

$$S_{24} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda C\rho}{24 \cdot 3.6}}, \text{კგ/მ}^2 / \text{კ} \quad (2.4.3)$$

მე-10 სვეტში მოცემულია შედეგები, რომელიც ასახავს მასალების მიხედვით დროის ინტერვალს (სთ), რომელიც საჭიროა შემომზადი კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის ასამაღლებლად ინტენსიური გათბობის რეჟიმიდან დაწყებული ნორმატიული რეჟიმის შესაბამის ტემპერატურამდე 16 °C (წყვეტილი გათბობის რეჟიმის დროს კედლის ტემპერატურა შემცირდა 10 °C –დ).

ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმიზაციისათვის საჭიროა პირველ რიგში, და რაც შეიძლება სწრაფად, უზრუნველყოფილი იქნეს თბური ბალანსის უფრო თბოტევადი მდგენელების, როგორებიცაა შემომზადი კონსტრუქციები და ავეჯი, გათბობა. მასალების თბოფიზიკური თვისებების და თბოაკუმლაციის მაჩვენებლების შეფასებიდან ცნობილია, რაც უფრო მცირეა მასალის თბოაკუმლაციის მაჩვენებელი ($c_{\text{მოც}} = c_{\text{ას}} \cdot \rho$), მით მეტია გაცხელების სიჩქარე და მით ნაკლები ენერჯიაა საჭირო მის გასაცხელებლად.

გათბობაზე დახარჯული ენერჯის მინიმიზაციის მეორე პირობის თანახმად ინტენსიური გათბობის პერიოდში (მეოთხე პერიოდი), საჭიროა გათბობის სისტემის მობილური სქემის ამუშავება (“სწორი” ორგანიზება), რაც გულისხმობს შენობის შიგნით ენერჯის ოპტიმალურ განაწილებას და შიგა ჰაერიდან შემომზადი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე თავისუფალი კონვექციის პირობებში თბოგაცემის კოეფიციენტის 4 - 5

ვტ/მ²/კ - დან მნიშვნელოვან გაზრდას 15-20 ვტ/მ²/კ – დე აღნიშნულის განხორციელება შესაძლებელია მაღალი თბოტევადობის მქონე ელემენტების პრიორიტეტული გათბობით. მაგალითად შეიძლება კომბინაციები: ჰაერით და წყლით გათბობა; ჰაერით და შიგა შემომზღული კონსტრუქციების შიგა ზედაპირების გამოსხივებელი-კონვექციური ელემენტებით გათბობა; შეთბობა ჰაერის მიმართული ჭავლებით და სხვა.

2.5. თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი შენობის გათბობაზე გათბობის სეზონისათვის

შემომზღული კედლის თბოგადაცემის თერმული წინააღმდეგობის შერჩევის სამომხმარებლო მიდგომა ეყრდნობა იმის დასაბუთებას, რომ საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობების სითბოს ხვედრითი ხარჯი გათბობის სეზონზე არ აღემატება ცხრილში მოყვანილ მნიშვნელობებს.

ცხრილი II.5 შენობის გათბობისათვის გათბობის სეზონზე საჭირო თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი (კვტ.სთ/მ ² გათ.სეზ.)								
შენობის ტიპი	შენობის სართულიანობა							
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10, 11	12 და მეტი
საცხოვრებელი შენობები, სასტუმროები, საერთო საცხოვრებლები	ცხრილი ///			120	110	105	100	95
საზოგადოებრივი შენობები (გარდა 3-6)	190	175	160	145	140	135	130	125
პოლიკლინიკები, სამკურნალო დაწესებულებები, ინტერნატები	170	165	160	155	150	145	140	-
სკოლამდელი დაწესებულებები	230			-	-	-	-	-
ადმინისტრაციული დანიშნულების (ოფისები)	165	155	145	125	110	100	90	90
სერვისული მომსახურების და კულტურული დანიშნულების დაწესებულებები ჰაერის ტემპერატურის დროს: 20 °C	140	135	130	125	125	-	-	-
18 °C	130	125	120	115	115	-	-	-
16 °C	120	115	110	105	105	-	-	-

ცხრილი II.6 შენობის გათბობისათვის გათბობის სეზონზე საჭირო თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი (კვტ.სთ/მ²გათ.სეზ.) მცირე სართულიანი სახლებისათვის

სახლის გასათბობი ფართი, მ ²	შენობის სართული			
	1	2	3	4
60 და ნაკლები	195	-	-	-
100	170	185	-	-
150	150	165	180	-
250	135	145	150	160
400	-	125	130	150
600	-	110	115	125
1000 და მეტი	-	95	105	110

¹ მოთხოვნილი ხვედრითი ენერჯო მოხმარებები q_F დადგენილია იმ ანგარიშით, როცა საცხოვრებელი შენობის და სასტუმროს ჭერის სიმაღლე ტოლია 2,8-3 მ; ადმინისტრაციული (ოფისი) და სხვა საზოგადოებრივი შენობის -3,3მ; სერვისული დანიშნულების -4,5მ.

III თავი. შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგია

3.1. ელემენტარული რეგულარული უჯრედი

ნაშრომში დამუშავებულია არაერთგვაროვან სისტემაში სითბოს გადაცემის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგია. გამოყენებულია ელემენტარული რეგულარული უჯრედის იზოთერმული და ადიაბატური მკვეთი სიბრტყეებით დაყოფის მათემატიკური მიდგომა. ჩატარებულია საცხოვრისად გამოსაყენებელი სხვენის სახურავის ვარიანტული თბური გათვლები და დაგენილია კონკრეტული პირობებისათვის თბური იზოლაციის სახე და საჭირო სისქე.

შენობის სხვენის სახურავი არაერთგვაროვანი სისტემაა, რომელიც წარმოადგენს სხვადასხვა სამშენელო მასალების კომპოზიციას. გამოყენებულია: გარე სახურავის ფენა -თუნუქი, კრამიტი, ტოლი და სხვა; ხის კონსტრუქცია; ჰაერის ფენა-უძრავი ან ვეტილირებადი; წყალგაუმტარი აფსკი; ორთქლგაუმტარი აფსკი, თაბაშირ-მუყაო და სხვა. გავრცელებულია კომპონენტების შეთანწყობის სხვადასხვა ვარიანტი, განსხვავებული გეომეტრიული პარამეტრებით. ამასთან მდგენელი კომპონენტების თბოფიზიკური თვისებები ერთმანეთისაგან შეიძლება მკვეთრად განსხვავებული იყოს. ასეთ არაერთგვაროვან სისტემაში სითბოს გადაცემის პროცესი რთული მექანიზმით ხორციელდება და მისი ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დამუშავება აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

ხშირია შენობების სხვენის რეკონსტრუქცია მისი საცხოვრისად გამოყენების მიზნით. საცხოვრისში ნორმალური მიკროკლიმატის შესაქმნელად აუცილებელია სახურავის დაგეგმარება ენერგოეფექტური ღონისძიებების გათვალისწინებით.

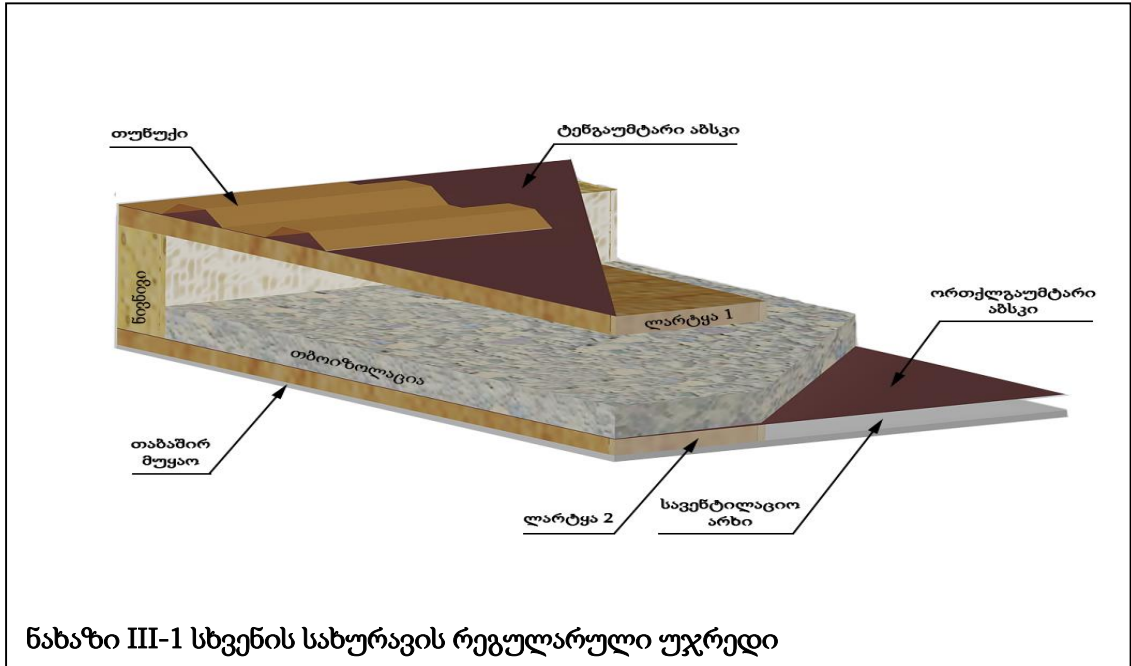
სხვენის სახურავიდან სითბოს ხვედრითი დანაკარგები შენობის სხვა შემომზღუდი კონსტრუქციებთან შედარებით მაღალია. ასევე რთულდება პირობები ზაფხულში სახურავის (განსაკუთრებით თუნუქის) მაღალ

ტემპერატურამდე (70°C) შესაძლო გაცხელების გამო. ამასთან ერთად სხვენის სახურავი ხმაურის გამომწვევი ძლიერი წყაროა (სეტყვა, წვიმა). აღნიშნული უარყოფითი ფაქტორების მინიმუმამდე შემცირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როცა სხვენში საცხოვრისის სასარგებლო მოცულობის გადიდების მოტივით გადახურვა არ სრულდება.

არსებობს მრავალი კვლევა, რომელიც ეძღვნება მყარ, თხევად და აირად სისტემებში და მათ კომპოზიციებში თბოცვლის შესწავლას. ნაშრომში განხილულია სხვენის სახურავის სისტემა, რომელიც შედგება ერთმანეთთან მექანიკურად დაკავშირებული ცალკეული ერთგვაროვანი კომპონენტებისაგან. შესაძლებელია მათი სხვადასხვა კომბინატორიკა, რაც გარკვეულ სტრუქტურას იძლევა, რომელშიც ხორციელდება რთული თბოცვლის პროცესი. დამუშავებულია სხვენის სახურავის მოდელი, რომელიც მოიცავს ისეთ კომპონენტებს, რაც უზრუნველყოფს გარემოში სითბოს დანაკარგების და სათავსში ხმაურის შემცირებას, ამასთან გათვალისწინებულია გამოყენებული თბოიზოლაციის, გარემო ატმოსფერული ნალექის და სათავსის ჰაერში ორთქლის მაღალი პარციალური წნევის გამო, დასველებისაგან დაცვა. დასმული ამოცანის რაოდენობრივი გადაწყვეტისათვის აუცილებელია სახურავის გავლით თბოგადაცემის კოეფიციენტის გაანგარიშება და ვარიანტული თბური გათვლებისათვის ინჟინრული მეთოდის დამუშავება[52-56].

სხვენის სახურავის ელემენტარული უჯრედის მაგალითი ნაჩვენებია ნახ. 3.1 ელემენტარული უჯრედის ეფექტური თერმული წინაღობის (ან გამტარობის) დასადგენად შეიძლება გამოყენებული იყოს სხვადასხვა მათემატიკური მიდგომა. სხვენის სახურავის შერჩეული სისტემა, წარმოადგენს სხვადასხვა საჭირო კომპონენტების ერთობლიობით შედგენილ კონსტრუქციას. მისი სტრუქტურა ხასიათდება დიდ მანძილზე შორი წესრიგით (განმეორადობით). ასეთ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ ელემენტარული უჯრედი, რომლის გეომეტრული და ფიზიკური თვისება იგივე იქნება, რაც მთლიანად სახურავისათვის. ნაშრომში სხვენის სახურავის

ელემენტარული უჯრედის ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტის დასადგენად გამოყენებულია რელეის კვეთების მეთოდი. ელემენტარული უჯრედის მიმდევრობით გამოორება იძლევა სახურავის მთლიან სტრუქტურას და ამდენად ელემენტარული უჯრედი წარმოადგენს რეგულარულ უჯრედს [53, 59].



განვიხილოთ თბური ნაკადის მოძრაობა ამ სისტემის გავლით და განვსაზღვროთ მისი ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტი. ზამთარში თბური ნაკადი მიმართული იქნება საცხოვრისის ჰაერიდან გარემო ჰაერისაკენ (ზაფხულში პირიქით). დავყოთ ელემენტარული უჯრედი უსასრულოდ თხელი დამატებითი ზედაპირებით: ვერტიკალური ადიაბატური სიბრტყეებით და ჰორიზონტალური იზოთერმული სიბრტყეებით. ელემენტარული უჯრედი (ნახ.3.1) ჰორიზონტალური სიბრტყეებით კვეთის შემთხვევაში მოიცავს რვა შედგენილ ფენას: თუნუქი; ტენგაუმტარი აფსკი; ლარტყა 1 და ჰაერის ფენა; ნივნივის ნაწილი და ჰაერის ფენა; ნივნივის ნაწილი და თბოიზოლაციის ფენა; ორთქლგაუმტარი აფსკი; ლარტყა 2 და ჰაერის ფენა; თაბაშირ-მუყაო. ელემენტარულ უჯრედში გავლილი თბური ნაკადის მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება სხვენის სახურავის ცალკეული ფენის და შიგა და გარე ზედაპირების თერმულ წინააღობების მნიშვნელობებზე.

მკვეთი სიბრტყეები ისეა გატარებული, რომ თითოეული ფენა დაყოფილია ოთხ მახასიათებელ ფართობად ($f_1..f_4$). ცალკეული ელემენტის თერმული წინაღობა (r) იანგარიშება გამოსახულებით $r_i = h_i / \lambda_i$ °Cმ²/ვტ, სადაც h_i და λ_i არის ელემენტის სისქე (სიმაღლე) და თბოგამტარობის კოეფიციენტი შესაბამისად. ელემენტის დაყვანილი თერმული წინაღობა (თბური ნაკადის მართობული სიბრტყის) ფართობის ერთეულზე გამოითვლება $R = r_i / f_i$ °C/ვტ. ელემენტარული უჯრედის ფენაში არსებული ოთხი ელემენტის თერმული წინაღობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამი (ელექტრული ანალოგიის მიხედვით) წარმოადგენს კონკრეტული ფენის თერმული წინაღობის შებრუნებულ სიდიდეს (ელემენტების პარალელური შეერთება), ხოლო ცალკეული ფენის თერმული წინაღობების ჯამი (მიმდევრობითი შეერთება) იძლევა ელემენტარული უჯრედის ჯამურ თერმულ წინაღობის მნიშვნელობას R . ელემენტარული უჯრედის ადიაბატური სიბრტყეებით კვეთის შემთხვევაში მიიღება ცალკეული ელემენტის (8-8 ასეთი ელემენტი) ოთხი პარალელური შტო, რაც იძლევა ადიაბატური დაყოფის შემთხვევაში ჯამური თერმული წინაღობის მნიშვნელობას - $R_{\text{კვ}}$. ელემენტარული უჯრედის იზოთერმული და ადიაბატური სიბრტყეებით დაყოფის წესით მიღებული თერმული წინაღობების საშუალო მნიშვნელობა გაიანგარიშება:

$$R = (R_{\text{კვ}} + 2R_{\text{თბ}}) / 3, \quad (3.1.1)$$

მეორეს მხრივ, ელემენტარული უჯრედის ეფექტური თერმული წინაღობა ($R_{\text{ეფ}}$) შეიძლება გამოვსახოთ ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტით ($R_{\text{ეფ}}$), მაშინ, $R_{\text{ეფ}} = H / (\lambda_{\text{ეფ}} F_{\text{სტ}})$, სადაც H და $F_{\text{სტ}}$ არის ელემენტარული უჯრედის საერთო სიმაღლე (სისქე) და თბური ნაკადის მართობული მიმართულებით ფართობი. $R_{\text{ეფ}} = R$ ტოლობიდან განისაზღვრება ელემენტარული უჯრედის ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც მახასიათებელი იქნება სხვენის სახურავისათვის. კედლის ჯამურ თერმულ წინაღობასთან ერთად შიგა და გარე ჰაერზე თბოგაცემის თერმული წინაღობების გათვალისწინებით

შეიძლება საცხოვრისის შიგა ჰაერიდან გარემო ჰაერზე სხვენის სახურავის გავლით თბოგადაცემის კოეფიციენტის და გარემოში ხვედრითი თბური დანაკარგების განსაზღვრა.

შენობის სხვენის სახურავის კონსტრუქციის ელემენტების თბური ბალანსების საფუძველზე დამუშავებულია სახურავიდან თბური დანაკარგების ინჟინრული გაანგარიშების მეთოდის ექსპლესის პროგრამული უზრუნველყოფით. გაანგარიშება ტარდება შემდეგი ალგორითმით:

1. სახურავის ძირითადი ელემენტების და თბოსაი-ზოლაციო მასალის შერჩევა;
2. ცალკეული ელემენტების შეთანწყობის დამუშავება, საიზოლაციო მასალის დატენიანებისაგან (გარე და საცხოვრისის შიგა ტენი) დაცვის გათვალისწინებით (სპეციალური ტენგაუმტარი და ორთქლგაუმტარი აფსკების გამოყენება);
3. კონსტრუქციის სიმტკიცეიდან გამომდინარე ცალკეული ელემენტების გეომეტრული ზომების და ასევე საჭირო თბოფიზიკური მონაცემების დადგენა;
4. კლიმატური ზონის შესაბამისი სახურავის მოთხოვნილი თბური წინაღობის ნორმის დადგენა;
5. ვარიანტული გათვლების საფუძველზე კონკრეტული თბოსაიზოლაციო მასალის საჭირო სისქის დადგენა, რომელიც დააკმაყოფილებს თბური დაცვის პირობას პუნქტი 4);
6. საჭიროების შეთხვევაში ვარიანტული გამოთვლების ჩატარება სხვადასხვა თბოსაიზოლაციო მასალის გამოყენებით (ოპტიმიზაციის ამოცანა);
7. ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება კონსტრუქციული გადაწყვეტის ოპტიმალური ვარიანტის დადგენა.

შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების დამუშავებული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია სანიმუშო გაანგარიშება ნახ. 3.1 -ზე მოყვანილი ელემენტარული რეგულარული უჯრედის მაგალითზე, რომლის ფართობია $0,564\text{მ}^2$. საცხოვრისის შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურების მნიშვნელობებია 20°C და -8°C შესაბამისად. თბოგადაცემის კოეფიციენტები შიგა ჰაერიდან შიგა კედელზე არის $8,7 \text{ ვტ}/(\text{მ}^2\text{K})$, ხოლო გარე ზედაპირიდან გარემო ჰაერზე 23°C შესაბამისად.

ჰაერის ელემენტარული უჯრედის ფარგლებში კომპონენტების გეომეტრული და თბური მონაცემები მოყვანილია ცხრილში 3.1

ცხრილი III.1 ჰაერის ელემენტარული უჯრედის ფარგლებში კომპონენტების გეომეტრული და თბური მონაცემები

#	ელემენტის დასახელება	სიმაღლე (სისქე), მმ	სიგანე, მმ	სიგრძე, მმ	ინტერვალი, მმ	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ ² /K
1	თუნუქი	0,7	600	940	-	58
2	ტენგაუმტარი აფსკი	1	600	940	-	0,17
3	ლარტყა1	30	200	940	400	0,14
4	ნივნივა	160	90	600	850	0,14
5	ჰაერის ფენა	110	600	850	-	0.15(მK)/ვტ
6	თბოიზოლაცია	50	600	850	-	0,035
7	ორთქლგაუმტარი აფსკი	1	600	940	-	0,17
8	ლარტყა2	25	200	940	-	0,14
9	თაბაშირ-მუყაო	10	600	940	-	0,19

მაგალითისათვის, მოცემული კლიმატური ზონისათვის (ქ.თბილისი) თუ მოთხოვნილია შენობის სახურავისათვის ეფექტური თერმული წინაღობის მნიშვნელობა $-2 \text{ მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$, ვარიანტული გათვლებით მისი უზრუნველყოფა შესაძლებელი იქნება 50 მმ სისქის თბოიზოლაციის გამოყენებით რომლის თბოგამტარობის კოეფიციენტია $0,035 \text{ ვტ}/\text{მ}^2/\text{K}$. ასეთ პირობებში ელემენტარული უჯრედის იზოთერმული სიბრტყეებით დაყოფის შემთხვევაში თბოგადაცემის ჯამური თერმული წინაღობამ შეადგინა $3,42\text{K}/\text{ვტ}$ ($1,929\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$), ხოლო ადიაბატური დაყოფის დროს $3,76 \text{ K}/\text{ვტ}$ ($2,121\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$). უჯრედის კომბინირებული დაყოფის შემთხვევაში შესაბამისად მიღებულია მნიშვნელობა $3,53 \text{ K}/\text{ვტ}$ ($1,99\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$).

შენობის სხვენის სახურავის ეფექტური თბოგადაცემის კოეფიციენტი ტოლია 0,5ვტ/მ²°C , ხოლო გარემოში სითბოს ხვედრითი დანაკარგები შეადგენს 14,05 ვტ/მ².

3.2. შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მაგალითი

გაანგარიშების ნიმუში (სხვენის სახურავის იზოთერმული და ადიაბატური სიბრტყეებით დაყოფა) მოცემულია ექსელის ცხრილებში:

ცხრილი III.2 სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მაგალითი

კოჭი სიმაღლე-სისქე(მმ)	h_3	160	0.16	მ
კოჭის სიგანე(მმ)	a_3	90	0.09	მ
კოჭის სიგრძე(მმ)	l_3	600	0.6	მ
კოჭებს შორის მანძილ მმ	C_3	850	0.85	მ
კოჭის თბოგ.კოეფ	λ_3	0.14	0.14	ვტ/მ/გრად
ლარტყა 1 სისქე (მმ)	h_1	30	0.03	მ
ლარტყის სიგანე (მმ)	a_1	200	0.2	მ
ლარტყის სიგრძე (მმ)	l_1	940	0.94	მ
ლარტ.შორის მანძილიმმ	C_1	400	0.4	მ
ლარტყის თბოგ.კოეფ	λ_1	0.14	0.14	ვტ/მ/გრად
თაბაშირ-მუყაო სისქე	h_7	10	0.01	მ
თაბ.-მუყაოს თბოგ.კოეფ	λ_7	0.19	0.19	ვტ/მ/გრად
ლარტყა 2 სიმაღლე (მმ)	h_2	25	0.025	მ
ლარტყის სიგანე (მმ)	a_2	200	0.2	მ
ლარტყის სიგრძე (მმ)	l_2	940	0.94	მ
ლარტ.შორის მანძ.(მმ)	C_2	400	0.4	მ
ლარტყის თბოგ.კოეფ	λ_2	0.14	0.14	ვტ/მ/გრად
თუნუქი სისქე (მმ)	h_9	0.7	0.0007	მ
თბოგამტარობის კოეფ.	λ_9	58	58	ვტ/მ/გრად

თბოიზოლაცია სისქე(მმ)	h8	50.0	0.050 მ
თბოიზ. თბოგამტ.კოეფ.	λ8	0.035	0.035 ვტ/მ/გრად
ჰაერის ფენა სისქე(მმ)	h6	110.0	0.110 მ
ჰაერ დაყვან.თერმ წინაღობა		0.150	0.15 მ²გრად/ვტ
ტენგაუმტარი აფსკის სისქე	h4	1	0.001 მ
ტენგაუ აფსკის თბოგ.კოეფ.	λ4	0.170	0.17 ვტ/მ/გრად
ორთქლგაუმტ. აფსკის სისქე	h5	1	0.001 მ
ორთქლგაუმტ აბს.თბოგ.კ.	λ5	0.170	0.17 ვტ/მ/გრად
თბოგაც. კოეფ. გარე ზედაპ.	α2	23	23 ვტ/მ²გრად
თბოგაც. კოეფ. შიგაზედაპირ	α1	8.7	8.7
ჰაერის ტემპერატ. სათავსში	t ₁	20	20 °C
ჰაერის ტემპერატ. გარემოში	t ₂	-8	-8 °C

დაწვრილებითი შედეგები								
	იზოთერმული დაყოფა		ადიაბატური დაყოფა		კომბინირ. დაყოფა	შედეგები		
						თერმ.წინაღობა	იზოლ.სისქე	
თბოგადაცემის ჯამური თერმული წინაღობა რეგულ.უჯრედის ფართი (ნაკადის მართობულად)	3.42	გრად/ვტ	3.76	გრად/ვტ	3.53	ტ	მმ	
თბოგადაცემის ეფექტური თერმული წინაღობა	0.564	მ²	0.564	მ²	0.564	მ²	მმ	
თბოგადაცემის ეფექტური კოეფიციენტი	1.929	მ²გრად/ვტ	2.121	მ²გრად/ვტ	1.99	ვტ/მ²	50.00	
რეგულარული უჯრედის სიმაღლე (სისქე)	0.519	ვტ/მ²გრად	0.472	ვტ/მ²გრად	0.502	ვტ/მ²გრად	მმ	
ჰაერის ტემპერატურა სათავსში	227.7	მმ	227.7	მმ	227.7	მმ	2.31	
ჰაერის ტემპერატურა გარემოში	20	°C	20	°C	20	°C	თბოგადაც.	თბო.დანაც.
ხვედრითი თბური დანაკარგები	-8	°C	-8	°C	-8	°C	ვტ/მ²გრად	ვტ/მ²
თბოიზოლაციის სისქე	14.5	ვტ/მ²	13.2	ვტ/მ²	14.1	ვტ/მ²	0.50	14.05
	50.0	მმ	50.0	მმ	50.0	მმ		

იზოთერმული		ადიაბატური			
გრად/ვტ		1	2	3	4
ტ		გრად/ვტ	გრად/ვტ	გრად/ვტ	გრად/ვტ
Rგარ	0.07708 91	2.4155	1.2077	0.2558	0.1279
R9	2.14E-05	0.0007	0.0003	0.0001	0.0000
R4	0.01042 97	0.3268	0.1634	0.0346	0.0173
R1-6	0.36982 25	11.9048	4.1667	1.2605	0.6303
R13-14-15-16	0.40586 41	43.6508	3.2506	0.8824	1.0000
R3-8	1.96772 92	19.8413	9.9206	8.4034	4.2017
R5	0.01042 97	0.3268	0.1634	0.0346	0.0173
R26	0.28094 1	9.9206	4.1667	1.0504	0.4412
R7	0.09331 84	2.9240	1.4620	0.3096	0.1548
Rშიგა	0.20379 88	6.3857	3.1928	1.0504	0.3381
	3.41944	97.6969	27.6943	13.2817	6.9285
გრად/ვტ	39				
მ²გრად/ვტ	1.929	გრად/ვტ	3.7599		
		მ²გრად/ვტ	2.121		

ადიაბატური და იზოთერმული კვეთა			
თბოგაცემა გარე ზედაპირზე			
თბოგაცემის კოეფიციენტი გარე ზედაპირზე	23	ვტ/მ²გრად	
1/23	0.0435	მ²გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ნაწილის ფართობი	0.018	მ²	
გარე ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	Rგარ1 2.415	გრად/ვტ	
თბოგაცემის კოეფიციენტი გარე ზედაპირზე	23	ვტ/მ²გრად	
	0.0435	მ²გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ნაწილის ფართობი	0.036	მ²	
გარე ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	Rგარ2 1.208	გრად/ვტ	
თბოგაცემის კოეფიციენტი გარე ზედაპირზე	23	ვტ/მ²გრად	
	0.0434	მ²გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ნაწილის ფართობი	0.17	მ²	
გარე ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	Rგარ3 0.256	გრად/ვტ	

თბოგაცემის კოეფიციენტი გარე ზედაპირზე	23	ვტ/მ ² გრად
	0.0434	მ ² გრად/ვტ
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ნაწილის ფართობი	0.34	მ ²
გარე ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	R_{გარ4} 0.128	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R_{გარ} 0.07709	0.0435 მ ² გრად/ვტ

სახურავის საფარი (თუნუქი)			
დაყვანილი თერმული წინაღობა	1.21E-05	მ ² გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი თუნუქის ზონაში	0.018	მ ²	
პირველი ზოლის-სახურავის (თუნუქი) თერმული წინაღობა	R₉₁ 0.00067	გრად/ვტ	
დაყვანილი თერმული წინაღობა	1.207E-05	მ ² გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი თუნუქის ზონაში	0.036	მ ²	
პირველი ზოლის-სახურავის (თუნუქი) თერმული წინაღობა	R₉₂ 0.00034	გრად/ვტ	
დაყვანილი თერმული წინაღობა	1.207E-05	მ ² გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი თუნუქის ზონაში	0.17	მ ²	
პირველი ზოლის-სახურავის (თუნუქი) თერმული წინაღობა	R₉₃ 0.00007	გრად/ვტ	
დაყვანილი თერმული წინაღობა	1.207E-05	მ ² გრად/ვტ	
რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი თუნუქის ზონაში	0.34	მ ²	
პირველი ზოლის-სახურავის (თუნუქი) თერმული წინაღობა	R₉₄ 3.55E-05	გრად/ვტ	
იზოთერმული, გრად/ვტ	R₉ 2.13989E-05	1.2069E-05	მ ² გრად/ვტ

ტენგაუმტარი აბსკი (ტოლი, რუბეროიდი და სხვა)			
დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში	0.00588	მ ² გრად/ვტ	
ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად	0.018	მ ²	
ლარტყის თერმული წინაღობა	R₄₁ 0.3268	გრად/ვტ	
დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში	0.00588	მ ² გრად/ვტ	
ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად	0.036	მ ²	
ლარტყის თერმული წინაღობა	R₄₂ 0.1634	გრად/ვტ	
დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში	0.00588	მ ² გრად/ვტ	
ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად	0.17	მ ²	

ლარტყის თერმული წინაღობა		R43	0.0346	გრად/ვტ
დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში			0.00588	მ²გრად/ვტ
ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად			0.34	მ²
ლარტყის თერმული წინაღობა		R44	0.0173	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R4	0.01042970	0.00588	მ²გრად/ვტ

ლარტყა1 და ჰაერის ფენა				
ლარტყა 1	დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში		0.2143	მ²გრად/ვტ
	ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად		0.018	მ²
	ლარტყის თერმული წინაღობა	R11	11.9	გრად/ვტ
ჰაერის ფენა	დაყვანილი თერმული წინაღობა ჰაერის ზონაში		0.15	მ²გრად/ვტ
	უჯრედის ზედაპირის ფართობი ჰაერის ზონაში		0.036	მ²
	ჰაერის ფენის თერმული წინაღობა	R61	4.167	გრად/ვტ
ლარტყა 1	დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში		0.2143	მ²გრად/ვტ
	ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად		0.17	მ²
	ლარტყის თერმული წინაღობა	R12	1.261	გრად/ვტ
ჰაერის ფენა	დაყვანილი თერმული წინაღობა ჰაერის ზონაში		0.2143	მ²გრად/ვტ
	უჯრედის ზედაპირის ფართობი ჰაერის ზონაში		0.34	მ²
	ჰაერის ფენის თერმული წინაღობა	R62	0.630	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ		R1-6	0.369822485	0.2086 მ²გრად/ვტ

ნივნივის ნაწილი და ჰაერის ფენა				
ნივნივის ნაწილი	ნივნივის სიმაღლე ზონაში		0.11	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა ნივნივის ნაწ. ზონაში		0.78571	მ²გრად/ვტ
	ნივნივის ზონაში ფართობი		0.018	მ²
	ნივნივის თერმული წინაღობა	R31	43.651	გრად/ვტ
	ნივნივის სიმაღლე ზონაში		0.11	მ
ნივნივის ნაწილი	დაყვანილი თერმული წინაღობა ნივნივის ნაწ. ზონაში		0.11702	მ²გრად/ვტ
	ნივნივის ზონაში ფართობი		0.036	მ²
	ნივნივის თერმული წინაღობა	R32	3.2506	გრად/ვტ

ჰაერის ფენა	ჰაერის ფენის სიმაღლე ზონაში		0.11	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა		0.15	მ ² გრად/ვტ
	ჰაერის ზონაში		0.17	მ ²
	ნივნივის თერმული წინაღობა	R₆₁	0.8824	გრად/ვტ
	ჰაერის ფენის სიმაღლე ზონაში		0.11	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა		0.34	მ ² გრად/ვტ
	ჰაერის ზონაში		0.34	მ ²
	ჰაერის ფენის თერმული წინაღობა	R₆₂	1.0	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R₃₋₆	0.4058641	0.228907	მ ² გრად/ვტ

ნივნივის ნაწილი და თბოიზოლაციის ფენა				
ნივნივის ნაწილი	ნივნივის ფენის სიმაღლე ზონაში		0.05	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა ნივნივის ნაწ. ზონაში		0.3571	მ ² გრად/ვტ
	ნივნივის ზონაში . ფართობი		0.018	მ ²
	ნივნივის თერმული წინაღობა	R₃₋₁	19.841	გრად/ვტ
ნივნივის ნაწილი	ნივნივის ფენის სიმაღლე ზონაში		0.05	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა ნივნივის ნაწ. ზონაში		0.3571	მ ² გრად/ვტ
	ნივნივის ზონაში ფართობი		0.036	მ ²
	ნივნივის თერმული წინაღობა	R₃₋₂	9.9206	გრად/ვტ
თბოიზ. ფენა	თბოიზოლაციის ფენის სიმაღლე ზონაში		0.05	მ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა იზოლაციის ნაწ. ზონაში		1.4286	მ ² გრად/ვტ
	იზოლაციის ზონაში ფართობი		0.17	მ ²
	თბოიზოლაციის თერმული წინაღობა	R₈₋₁	8.4034	გრად/ვტ
თბოიზოლაციის ფენის სიმაღლე ზონაში	დაყვანილი თერმული წინაღობა იზოლაციის ნაწ. ზონაში		1.4286	მ ² გრად/ვტ
	იზოლაციის ზონაში ფართობი		0.34	მ ²
	იზოლაციის თერმული წინაღობა	R₈₋₂	4.2017	გრად/ვტ
	იზოთერმული, გრად/ვტ	R₃₋₈	1.96772924	1.10980

ორთელგაუმტარი აბსკი				
ორთ. გაუ აბსკი	ორთელგაუმტ. აბსკის დაყვან. თერმული წინაღობა		0.005882	მ ² გრად/ვტ
	ორთელგაუმტარი აბსკის ფართობი		0.018	მ ²
		R₅₁	0.3268	გრად/ვტ
ორთ. გაუ აბსკი	ორთელგაუმტ. აბსკის დაყვან. თერმული წინაღობა		0.0058823	მ ² გრად/ვტ
	ორთელგაუმტარი აბსკის ფართობი		0.036	მ ²
		R₅₂	0.1634	გრად/ვტ
ორთელგაუმტ. აბსკის დაყვან. თერმული წინაღობა		0.0058823	მ ² გრად/ვტ	

ორთქლგაუმტარი აბსკის ფართობი		0.17 მ ²		
		R₅₃	0.0346	გრად/ვტ
ორთქლგაუმტ. აბსკის დაყვან. თერმული წინაღობა		0.0058823		მ ² გრად/ვტ
ორთქლგაუმტარი აბსკის ფართობი		0.34 მ ²		
		R₅₄	0.0173	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R₅	0.010429704	0.005882	მ ² გრად/ვტ

ლარტყა2 და ჰაერის ფენა				
ლარტყა 2	დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში		0.17857	მ ² გრად/ვტ
	ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად		0.018	მ ²
	ლარტყის თერმული წინაღობა	R₂₋₁	9.9206	გრად/ვტ
ჰაერის ფენა	დაყვანილი თერმული წინაღობა ჰაერის ზონაში		0.15	მ ² გრად/ვტ
	უჯრედის ზედაპირის ფართობი ჰაერის ზონაში		0.036	მ ²
	ჰაერის ფენის თერმული წინაღობა	R₆₋₁	4.1667	გრად/ვტ
ლარტყა 2	დაყვანილი თერმული წინაღობა ლარტყის ზონაში		0.17857	მ ² გრად/ვტ
	ლარტყის ფართობი ნაკადის მართობულად		0.17	მ ²
	ლარტყის თერმული წინაღობა	R₂₋₂	1.0504	გრად/ვტ
ჰაერის ფენა	დაყვანილი თერმული წინაღობა ჰაერის ზონაში		0.15	მ ² გრად/ვტ
	ჰაერის ზონაში ფართობი		0.34	მ ²
	ჰაერის თერმული წინაღობა	R₆₋₂	0.4412	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R₂₆	0.280940965	0.1585	მ ² გრად/ვტ

თაბაშირ-მუყაო				
თაბაშირ-მუყაო	დაყვანილი თერმული წინაღობა თაბაშ.-მუყ. ზონაში		0.05263	მ ² გრად/ვტ
			0.018	მ ²
		R₇₁	2.9240	გრად/ვტ
თაბაშირ-მუყაო	დაყვანილი თერმული წინაღობა თაბაშ.-მუყ. ზონაში		0.052632	მ ² გრად/ვტ
			0.036	მ ²
		R₇₂	1.4620	გრად/ვტ
თაბაშირ-მუყაო	დაყვანილი თერმული წინაღობა თაბაშ.-მუყ. ზონაში		0.052632	მ ² გრად/ვტ
			0.17	მ ²

		R₇₃	0.3096	გრად/ვტ
	დაყვანილი თერმული წინაღობა თაბაშ.-მუყ. ზონაში		0.052632	მ ² გრად/ვტ
			0.34	მ ²
		R₇₄	0.1548	გრად/ვტ
იზოთერმული, გრად/ვტ	R₇	0.093318	0.03863	მ ² გრად/ვტ

თბოგაცემა შიგა ზედაპირზე					
თბოგაცემა შიგა ზედაპირზე	თბოგაცემის კოეფიციენტი შიგა ზედაპირზე		8.7	ვტ/მ ² გრად	
			0.11494	მ ² გრად/ვტ	
	რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი		0.018	მ ²	
	შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	R_{შიგა1}	6.3857	გრად/ვტ	
	თბოგაცემის კოეფიციენტი შიგა ზედაპირზე		8.7	ვტ/მ ² გრად	
			0.11494	მ ² გრად/ვტ	
	რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი		0.036	მ ²	
	შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	R_{შიგა2}	3.1928	გრად/ვტ	
	თბოგაცემის კოეფიციენტი შიგა ზედაპირზე		8.7	ვტ/მ ² გრად	
			0.11494	მ ² გრად/ვტ	
	რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი		0.17	მ ²	
	შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	R_{შიგა3}	0.6761	გრად/ვტ	
	თბოგაცემის კოეფიციენტი შიგა ზედაპირზე		8.7	ვტ/მ ² გრად	
			0.11494	მ ² გრად/ვტ	
	რეგულარული უჯრედის ზედაპირის ფართობი		0.34	მ ²	
	შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის თერმული წინაღობა	R_{შიგა4}	0.3381	გრად/ვტ	
	იზოთერმული, გრად/ვტ	R_{შიგა}	0.20379881	0.1149	მ ² გრად/ვტ

ცხრილი III.3 ჰაერის ვენტილირებადი შრიანი სახურავის გაანგარიშება

**სხვენის სახურავის (სხვენის გადახურვის გარეშე) გაანგარიშება
ჰაერის ვენტილირებადი შრის შემთხვევაში**

ჰაერის შრის ვენტილირება განხორციელებულია გარემო ჰაერის ტემპერატურის პირობებში ვენტილირება ერთ-ერთი ეფექტური ღონისძიებაა მასში შესაძლო მოხვედრილი ტენის კონდენსაციის წინააღმდეგ. გარე ჰაერი გაივლის, რა შემომზღუდ კონსტრუქციაში აართმევს მას სითბოს, იწვევს შემომზღუდი კონსტრუქციის გავლით თბოცვლის გაძლიერებას. ეს იწვევს კონსტრუქციის თბოდაცვის გაუარესებას და სათავსის შიგა ჰაერიდან გარე ჰაერზე თბოგადაცემის კოეფიციენტის გაზრდას.

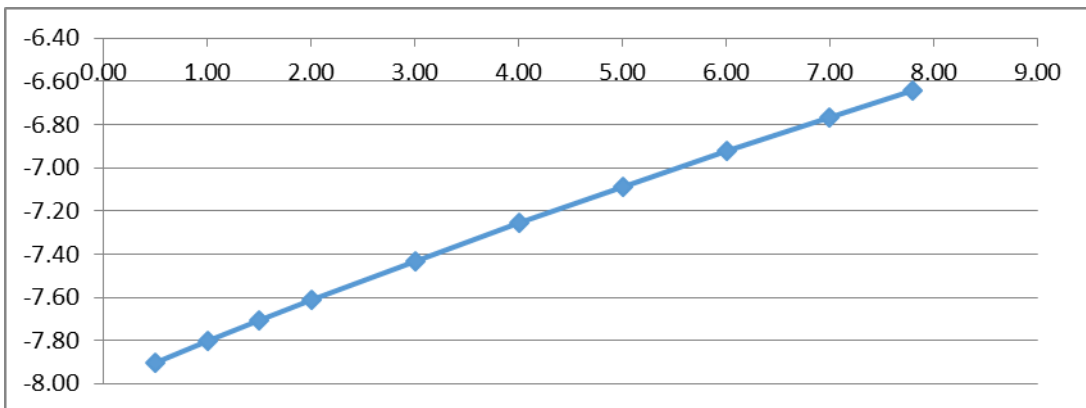
ვენტილირებადი ჰაერის შრის მქონე შემომზღუდი კონსტრუქციის გაანგარიშების მიზანია ჰაერის შრის ტემპერატურის და თბოგადაცემის ნამდვილი თერმული წინაღობის და თბოგადაცემის კოეფიციენტის დადგენა.

შიგა ჰაერის ტემპერატურა		20 °C	
გარე ჰაერის ტემპერატურა		-8 °C	
ქარის სიჩქარე (შემომზღუდი კონსტრუქციის მართობულად)		2.7	მ/წმ
ჰაერის შრის სისქე		0.11	მ
ჰაერის შრის სიგრძე		7.8	მ
ჰაერის შრის სიგანე (სავენტილაციო არხებს შორის დაშორება)		0.85	მ
ჰაერის შრის განიკვეთის ფართობი		0.0935	მ ²
ეკვივალენტური დიამეტრი		34.5	სმ
აეროდინამიკური წინაღობა შესასვლელ კვეთთან		0.65	
გამოსასვლელ კვეთთან		-0.4	
ჰაერის ხვედრილი წონა		1.335	კგ/მ ³
ქარის დაწნევა		0.521	მმ.წყ.სვ
ჰაერის სიჩქარე შრეში		0.2	მ/წმ
სავენტილაციო კვეთის ფართობი	15%	ჰ.შრის ფართობიდან	0.0140 მ ²
სავენტილაციო კვეთებში ჰაერის სიჩქარე		1.333	მ/წმ
ადგილობრივი წინაღობების კოეფიციენტები ჰაერის მძრაობის გზაზე		3.5	
შესასვლელი გისოსის წინაღობის კოეფიციენტი		1	
გადასვლა ნახვრეტიდან შრეში		0.75	

გადასვლა შრიდან ნახვრეტში გამოსასვლელი გისოსის წინაღობის კოეფიციენტი			0.75 1	
არხებში წინაღობები:			0.035 მმ	
შესასვლელ და გამოსასვლელ ხვრელებში როცა სიჩქარეა 1.333 მ/წმ			0.017 მმ	
ჰაერის ფენაში, როცა სიჩქარეა 0.2 მ/წმ			0.035 მმ	
სიჩქარის <input type="text" value="1.333"/> მ/წმ დროს და <input type="text" value="3.5"/>	წინაღ ობა=		0.5 მმ	
ჯამური წინაღობა			0.54 მმ	
დასკვნა: ჯამური წინაღობა ტოლია ქარის შესაძლო დაწნევის. ე.ი. შრეში 0.2 მ/წმ სიჩქარე სწორადაა შერჩეული				
კონსტრუქცია დაყოფილია ორ ზონად: სათავსის ჰაერიდან ჰაერის შრემდე და ჰაერის შრიდან გარემოზე				
თბოგადაცემის კოეფიციენტი სათავსის ჰაერიდან შრეში ჰაერზე				
თბოგადაცემის კოეფიციენტი ჰაერის შრიდან გარემო ჰაერზე				
შემომზადდი კონსტრუქციის ქვედა ზონაში:თერმული წინაღობები:				მ ² გრ.სთ/ კკალ
თაბაშირ-მუყაოს ზედაპირზე	0.115	მ ² გრ/ვტ		0.133
თაბაშირ-მუყაო	0.039			0.045
ლარტყა2-ჰაერის ფენა	0.158			0.184
ორთქლგაუმტარი აბსკი	0.006			0.007
თბოიზოლაცია	1.110			1.287
თბოგაც. თერმ. წინაღ. თბოიზოლაციიდან ჰაერის შრეზე	0.10			0.116
თბოგადაც. თერმ. წინაღ. სათავსის ჰაერიდან ჰაერის შრეზე	1.528	მ ² გრ/ვტ		1.772
თბოგად. კოეფ. სათავსის ჰაერიდან ჰაერის შრეზე K₁	0.655	ვტ/მ ² გრ		0.759
შემომზად. კონსტრ. ზედა ზონაში თერმული წინაღობები:				მ ² გრ.სთ/ კკალ
თბოგაც თერმ. წინაღ. ჰაერ.შრიდან ლარტყაზე1	0.1	მ ² გრ/ვტ		0.116
ლარტყა 1 და ჰაერი	0.209	მ ² გრ/ვტ		0.242
ტენგაუმტარი აბსკი	0.006	მ ² გრ/ვტ		0.007
თუნუქი	0.000 012	მ ² გრ/ვტ		0.000014
თბოგაც. თერმ. წინაღ. თუნუქიდან გარე ზედაპირზე	0.043	მ ² გრ/ვტ		0.0504

თბოგად. თერმ. წინაღ. ჰაერის შრიდან გარემო ჰაერზე	0.358	მ ² გრ/ვტ	0.415
თბოგად. კოეფ. ჰაერი შრიდან გარემო ჰაერზე K_2	2.794	ვტ/მ ² გრ	3.241
		K_1+K_2	
		4.00	კკალ/მ ² გრ.სთ
ჰაერის ხვედრითი წონა	1.335	კგ/მ ³	
ჰაერის ხარჯი	105.732	კგ/სთ	
კოეფიციენტი A	-10.74	კკალ/მ ² .სთ	

L	t_x	K	K
მ	°C	კკალ/მ ² გრ.	ვტ/მ ² გრ.
0.50	-7.90	0.76	0.65
1.00	-7.80	0.75	0.65
1.50	-7.71	0.75	0.65
2.00	-7.61	0.75	0.65
3.00	-7.43	0.74	0.64
4.00	-7.26	0.74	0.64
5.00	-7.09	0.73	0.63
6.00	-6.92	0.73	0.63
7.00	-6.77	0.73	0.63
7.80	-6.65	0.72	0.62
	-73.1	7.4	6.4
საშუალო	-7.3	0.74	0.64

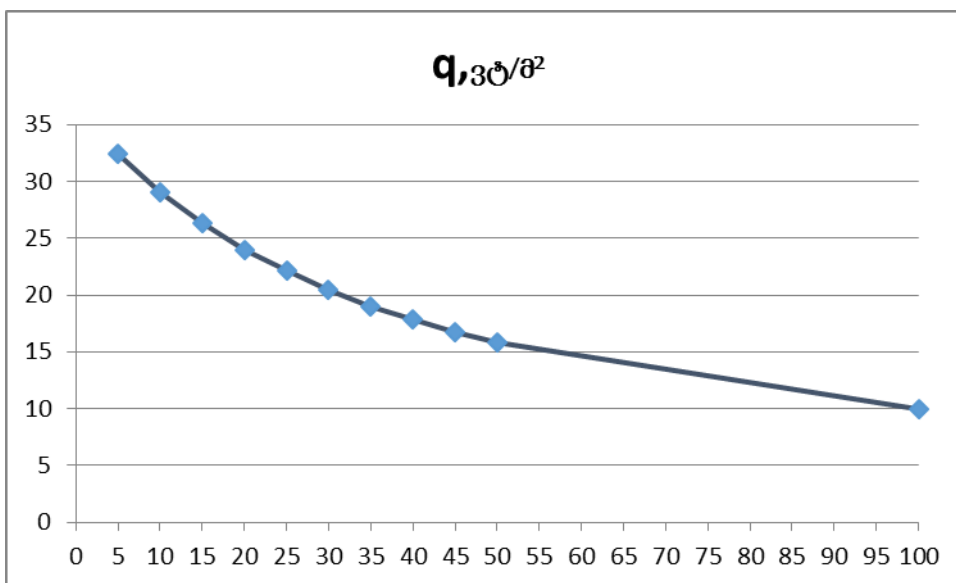
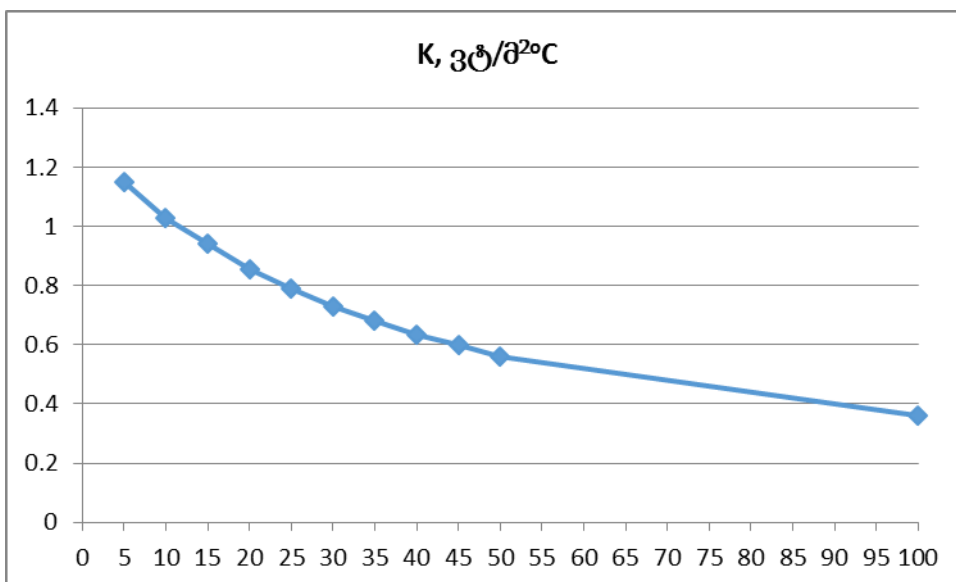
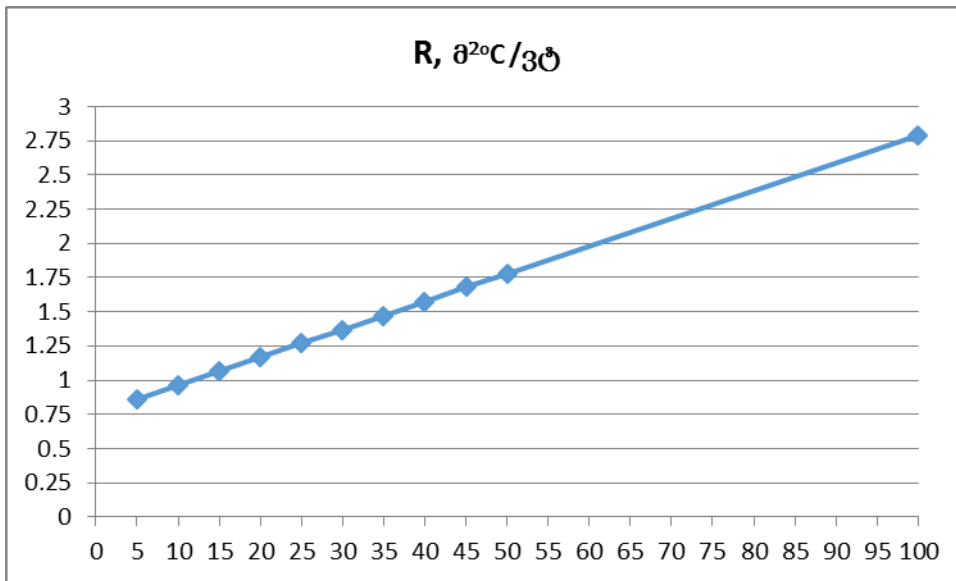


თბოგადაცემის თერმული წინაღობა მთლიანი კონსტრუქციის	1.3501	მ ² გრ.სთ/კკალ
ოგოვე	1.5717	მ ² გრ./ვტ
როცა ვენტილაცია არ ხდება მაშინ თბოგად. თერმ. წინაღობა ტოლია	2.1874	მ ² გრ.სთ/კკალ
ოგოვე	2.5373	მ ² გრ./ვტ

თბოგადაცემის კოეფიციენტი		0.4572	კკალ/მ ² გრ.სთ
იგივე		0.3941	ვტ/მ ² გრ
თბოდაცვა გაუარესდა	80.2	%-ით	80.22 %
შესაბამისად საჭიროა თერმ. წინაღ. გადიდება . თბო იზოლაციის სისქის გადიდებით.			
თერმული წინაღობის უნდა იყოს	1.34	2.41	მ ² გრ./ვტ
საჭირო სისქე თერმო იზოლაციის იქნება		68.8	მმ
იზოლაციის სისქე უნდა გაიზარდოს		38	%-ით

განგარიშება ნომოგრამით			
	ჰაერის ხარჯი	105.732	კგ/სთ
	ჰაერის შრის სიგრძე	7.8	მ
	ჰაერის სითბოტევადობა	0.24	კკალ/კგ°C
	კოეფიციენტი	B 6.507	კკალ/(მ ² გრ.სთ)
	თბოგაცემა ჰაერის შრეში	10	კკალ/მ ² გრ.სთ
	თბოგაცემის თერმული წინაღობა	0.100	კკალ/მ ² გრ.სთ
კოეფ.	1.772 გარე თერმ.წინ. ქვედა	K1	0.60
კოეფ.	0.415 შიგა თერმ.წინ. ზედა	K2	3.17

იზ.სისქე,მმ	R, მ ² °C /ვტ	K, ვტ/მ ² °C	q, ვტ/მ ²
5	0.863	1.15	32.4
10	0.965	1.03	29
15	1.067	0.94	26.3
20	1.17	0.856	24
25	1.27	0.79	22.1
30	1.37	0.73	20.4
35	1.473	0.68	19
40	1.574	0.635	17.8
45	1.68	0.6	16.7
50	1.78	0.56	15.8
100	2.79	0.36	10



ელემენტარული რეგულარული უჯრედის ფენების თემული წინაღობები (K/ვტ) გაანგარიშებულია შემდეგი გამოსახულებებით.

I. ფენა- თუნუქი. $R_I = h_I / (\lambda_I F)$, (3.2.1)

II. ფენა -ტემგაუმტარი აფსკი. $R_{II} = h_{II} / (\lambda_{II} F)$, (3.2.2)

III. ფენა- ლარტყა1 და ჰაერის ფენა(ჩაკეტილი)

$$R_{\text{ლ1}} = h_{III} / (\lambda_{\text{ლ1}} F_1); \quad (3.2.3)$$

$$R_{\text{ლ4}} = h_{III} / (\lambda_{\text{ლ1}} F_4); \quad (3.2.4)$$

$$R_{\text{ჰ}} = h_{III} / \lambda_{\text{ჰ}} = 0.15 \delta^2 k / \text{ვტ}; \quad (3.2.5)$$

$$R_{\text{ჰ2}} = 0.15 / F_2; \quad (3.2.6)$$

$$R_{\text{ჰ3}} = 0.15 / F_3; \quad (3.2.7)$$

ფენა-ლარტყა1 და ჰაერის ფენა(ჩაკეტილი) გამტარებლობა:

$$1/R_{\text{ლ1-ჰ}} = 1/R_{\text{ლ1}} + 1/R_{\text{ლ4}} + 1/R_{\text{ჰ2}} + 1/R_{\text{ჰ3}}, \quad (3.2.8)$$

$$R_{\text{ლ1-ჰ}} = \frac{1}{\frac{\lambda_{\text{ლ1}}}{h_{III}}(F_1 + F_4) + \frac{1}{0.15}(F_2 + F_3)} = R_{III} \quad (3.2.9)$$

IV. ფენა-ნივნივის ნაწილი და ჰაერის ფენა (ჩაკეტილი ან ვენტლირებადი)

ნივნივის ნაწილის სიმაღლე (სისქე) IV ფენაში $h_{\text{ნივნივი.IV}}$

$$R_{\text{ნივნივი.IV.1}} = h_{\text{ნივნივი.IV}} / (\lambda_{\text{ნივნივი.IV}} F_1); \quad (3.2.10)$$

$$R_{\text{ნივნივი.IV.2}} = h_{\text{ნივნივი.IV}} / (\lambda_{\text{ნივნივი.IV}} F_2); \quad (3.2.11)$$

$$R_{\text{ჰ.IV.3}} = 0.15 / F_3; \quad (3.2.12)$$

$$R_{\text{ჰ.IV.4}} = 0.15 / F_4; \quad (3.2.13)$$

$$1/R_{\text{ნივნივი}} = 1/R_{\text{ნივნივი.IV.1}} + 1/R_{\text{ნივნივი.IV.2}} + 1/R_{\text{ჰ.IV.3}} + 1/R_{\text{ჰ.IV.4}} \quad (3.2.14)$$

$$R_{\text{ნივნივი}} = \frac{1}{\frac{\lambda_{\text{ნივნივი.IV}}}{h_{\text{ნივნივი.IV}}}(F_1 + F_2) + \frac{1}{0.15}(F_3 + F_4)} = R_{IV} \quad (3.2.15)$$

V. ფენა-ნივნივის ნაწილი და თბოიზოლაციის ფენა.

ნივნივის ნაწილის სიმაღლე (სისქე) V ფენაში $h_{\text{ნივნივი.V}}$

$$R_{6-თბიბ} = \frac{1}{\frac{\lambda_{6v}}{h_{6v}}(F_1 + F_2) + \frac{\lambda_{6v}}{h_{6v}}(F_3 + F_4)} = R_V; \quad (3.2.16)$$

VI. ფენა-ორთქლგაუმტარი აფსკი

$$R_{VI} = h_{VI} / (\lambda_{VI} F) \quad (3.2.17)$$

VII. ლარტყა 2 და ჰაერის ფენა (ჩაკეტილი)

$$R_{ლ2} = h_{VII} / (\lambda_{ლ2} F_1); \quad (3.2.18)$$

$$R_{ლ4} = h_{VII} / (\lambda_{ლ2} F_4); \quad (3.2.19)$$

$$R_{3} = h_{VII} / \lambda_3 = 0.15 \text{ მ}^2 \text{ კ} / \text{ვტ}; \quad (3.2.20)$$

$$R_{32} = 0.15 / F_2; \quad (3.2.21)$$

$$R_{33} = 0.15 / F_3; \quad (3.2.22)$$

ფენის გამტარებლობა:

$$1 / R_{ლ2-3} = 1 / R_{ლ2} + 1 / R_{ლ4} + 1 / R_{32} + 1 / R_{33} \quad (3.2.23)$$

$$R_{ლ2-3} = \frac{1}{\frac{\lambda_{ლ2}}{h_{VII}}(F_1 + F_4) + \frac{1}{0.15}(F_2 + F_3)} = R_{VII} \quad (3.2.24)$$

VIII. ფენა-თაბაშირ-მუყაო

$$R_{VIII} = h_{VIII} / (\lambda_{VIII} F) \quad (3.2.25)$$

ელემენტარული რეგულარული უჯრედის ჯამური თერმული წინაღობა ტოლია

$$R = R_I + R_{II} + R_{III} + R_{IV} + R_V + R_{VI} + R_{VII} + R_{VIII} = \sum_{i=I}^{VIII} R_i \quad (3.2.26)$$

გამოსახულებებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები a_1 – ნივნივის სიგანე; a_2 – ლარტყა 1-ის სიგანე; a_3 – ლარტყებს შორის ინტერვალი; a_4 – ნივნივებს შორის ინტერვალი.

$$\text{მახასიათებელი კვეთის ფართობი } F_1 = a_1 \cdot a_2 \quad (3.2.27)$$

$$\text{მახასიათებელი კვეთის ფართობი } F_2 = a_1 \cdot a_3 \quad (3.2.28)$$

$$\text{მახასიათებელი კვეთის ფართობი } F_3 = a_3 \cdot a_4 \quad (3.2.29)$$

$$\text{მახასიათებელი კვეთის ფართობი } F_4 = a_4 \cdot a_2 \quad (3.2.30)$$

თბური ნაკადის მართობული ელემენტარული რეგულარული უჯრედის

$$\text{სრული ფართობი } F = \sum_{i=1}^4 F_i = (a_2 + a_3) \cdot (a_1 + a_4) \quad (3.2.31)$$

ცხრილში 3.4 მოცემულია ჰაერის შრის თერმული წინაღობის მნიშვნელობები ჰაერის შრის სისქის მიხედვით. ჰაერის შრის უძრავი ფენის

ცხრილი III.4 ჰაერის შრის თერმული წინაღობის მნიშვნელობები ჰაერის შრის სისქის მიხედვით

შრის სისქე, მმ	თერმული წინაღობა, მ ² °C /ვტ	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ/K
0.01	0.13	0.077
0.02	0.14	0.143
0.03	0.14	0.21
0.05	0.14	0.36
0.1	0.15	0.67
0.15	0.15	1
0.2-0.3	0.15	1.67

შემთხვევაში (კონვექციის არ არსებობა) თბოგამტარობის კოეფიციენტი ტოლია 0,035 ვტ/ (მ² °C). ჰაერის შრის სისქის ზრდასთან დაკავშირებით ადგილი აქვს კონვექციის აღმვრას, რაც იწვევს თბოგამტარობის ეფექტური კოეფიციენტის გაზრდას. რადგან თერმული წინაღობა წარმოადგენს სისქის შეფარდებას თბოგამტარობის კოეფიციენტთან, კონკრეტულ შემთხვევაში შრის თერმული წინაღობა პრაქტიკულად არა რის დამოკიდებული შრის სისქეზე განხილული სისქის ინტერვალში და მიღებულია 0,15 ვტ/ (მ²°C)-ის ტოლად.

3.3. შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციების თერმული წინაღობები საქართველოს კლიმატური ზონებისათვის.

შენობის გათბობის, ვენტილაციისა და ჰაერის კონდიციონირების ტექნიკა მჭიდრო კავშირშია სამშენებლო ტექნიკასთან. მშენებლობის ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს ისეთი საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობის დაპროექტება და გამოყენება, როდესაც უფრო სრულყოფილად განხორციელდება შენობის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობები და კომფორტულად შესრულდება ადამიანის დაცვა, გარემოდან არასასურველ ზემოქმედებისგან.

საქართველოს ტერიტორიის დასახლებულ პუნქტებისათვის გათბობისათვის გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა იცვლება ფართო ზღვრებში. ადგილობრივი პირობებისათვის საცხოვრებლივი შენობების თბური მდგომარეობის თანამედროვე დიფერენცირებული ნორმების დადგენა და რეალიზება, ადამიანების კომფორტული პირობების გაუმჯობესების გათვალისწინებით, მეტად აქტუალური საკითხია.

შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციების თბური დაცვის დონის ამალღებით გამოწვეული ნორმების ძირითადი ცვლილება უნდა მოხდეს შენობათა გარე შემომზღული კონსტრუქციების თბოდაცვის გაუმჯობესების მიმართულებით. ნორმები დგინდება გათბობის სეზონის გრადუს-დღეების პერიოდის (ანუ მშენებლობის კლიმატური რაიონის) მიხედვით [25].

შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციის საჭირო მინიმალური თერმული წინაღობა $R_{საჭ.}$ განისაზღვრება ფორმულით [26,27]:

$$R_{საჭ.} = R_{\text{ფ}} \frac{(t_{\text{ფ}} - t_{\text{გ}})n}{(t_{\text{ფ}} - t_{\text{გ}})} m, \quad (m^2 \cdot \text{კ}) / \text{ვტ}, \quad (3.3.1)$$

სადაც,

$R_{\text{ფ}}$ არის კედლის შიდა ზედაპირთან თბოგაცემის თერმული წინაღობა, $(m^2 \cdot \text{კ}) / \text{ვტ}$;

$t_{\text{ფ}}$ - სათავსის ჰაერის ტემპერატურა, რომლის მნიშვნელობაც აიღება ცხრილებიდან სათავსის დანიშნულების მიხედვით, °C;

t_g - გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა, რომლის მნიშვნელობაც აიღება ცხრილებიდან მშენებლობის რაიონისა და კედლის მასიურობის მიხედვით, °C;

τ_g - გარე კედლის შიდა ზედაპირის ტემპერატურა, °C;

$(t_g - \tau_g)$ - სანიტარული ნორმებით გათვალისწინებული აუცილებელი ტემპერატურული სხვაობა, რომელიც უნდა არსებობდეს სათავსის ჰაერისა და გარე კედლის შიდა ზედაპირს შორის, რომლის მნიშვნელობაც აიღება ცხრილებიდან კომფორტული პირობების მიხედვით, °C;

n - შესწორების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარე ჰაერისადმი გარე კედლის განლაგებას, რომლის მნიშვნელობაც აიღება ცხრილებიდან. როდესაც გარე კედელი უშუალოდ ეხება გარე ჰაერს, მაშინ $n = 1$;

m - შესწორების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარე გადამღობის კონსტრუქციის თბურ ინერციულობას, რომლის მნიშვნელობაც აიღება ცხრილებიდან.

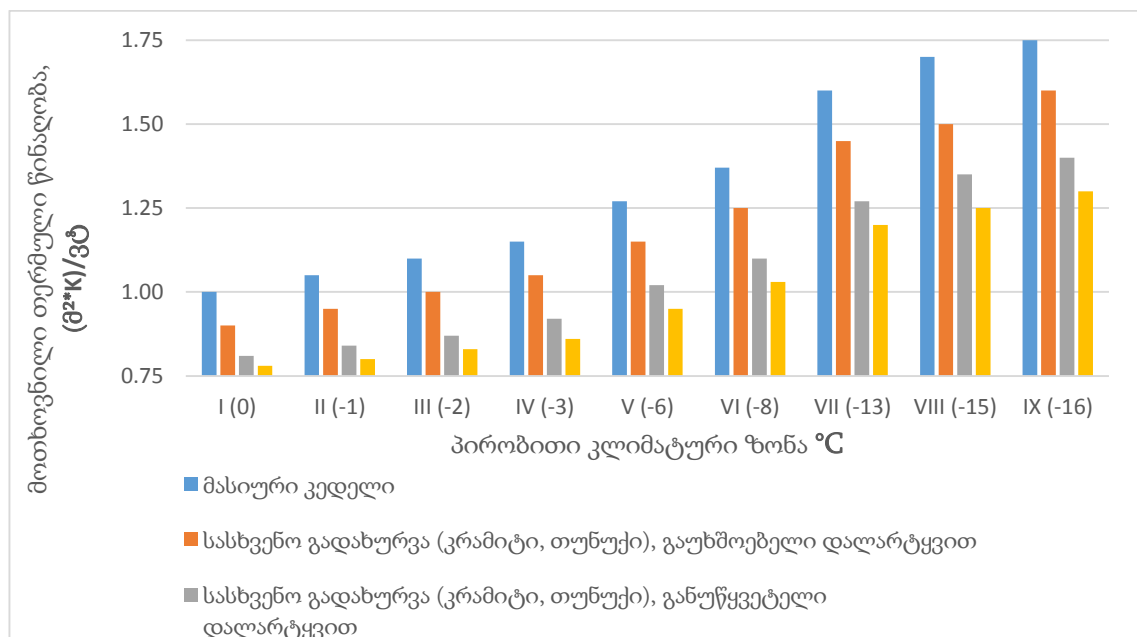
გრაფიკ 1-ზე მოცემულია შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციების საჭირო თბოგადაცემის თერმული წინაღობის საორიენტაციო სიდიდეები საქართველოს პირობითი კლიმატური ზონების მიხედვით [25]. I ზონად ჩათვლილია რაიონი, სადაც გათბობისათვის ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა 0°C; II ზონად- -1°C; III ზონად- -2°C; IV ზონად- -3°C; V ზონად- -6°C; VI ზონად- -8°C; VII ზონად- -13°C; VIII ზონად- -15°C; IX ზონად- -16°C.

განგარიშებები ჩატარებულია შემდეგი პირობებისათვის: სათავსში ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად შეიძლება მივიღოთ 22°C. ასევე, ტემპერატურული სხვაობა სათავსის ჰაერსა და გარე კედლის შიდა ზედაპირს შორის $(t_g - \tau_g) = 2.5$ °C; მასიური კედლისათვის $m=1$; სასხვენო გადახურვის შემთხვევაში (კრამიტი, თუნუქი) გაუხშობელი დალარტყვით $n=0.9$, იგივე უწყვეტი დალარტყვის დროს $n=0.8$ და სასხვენო გადახურვისას რულონური მასალით $n=0.75$.

რადგან აგური მნიშვნელოვნად გამოიყენება შემომზღულ კონსტრუქციებში, შევაფასოთ აგურის კედლის ოპტიმალური სისქე წარმოდგენილი ნორმების მოთხოვნების მიხედვით. გაანგარიშებები აჩვენებს, რომ თბოგადაცემის მოთხოვნილი თერმული წინაღობის უზრუნველსაყოფად, მაგალითად $R = 1,1; 1,4; 1,8 \text{ (მ}^2\text{°C)/ვტ}$, რომლებიც შეესაბამება საქართველოს ზოგიერთ კლიმატურ რეგიონს, აგურის კედლის სისქე კერამიკული აგურისათვის უნდა იყოს 0,5; 0,66; 0,85 მ და თიხის აგურისათვის კი 0,77; 0,98; 1,2 მ. შესაბამისად.

ამრიგად, აგურის კედლებისათვის თბოგადაცემის მოთხოვნილი თერმული წინაღობის მიღწევა ტრადიციული მეთოდებით იწვევს მასალატევადობისა და შრომატევადობის მკვეთრ ზრდას, ამრიგად რეკომენდირებულია ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენება.

გრაფიკი 1 კლიმატური ზონების მიხედვით შენობის კონსტრუქციების რეკომენდირებული თერმული წინაღობები



გარემო ტემპერატურის ცვლილებისას შემომზღული კონსტრუქციის სისქეშიც იცვლება ტემპერატურა, მხოლოდ მნიშვნელოვნად ნაკლები ამპლიტუდითა და გარკვეული დაგვიანებით. ეს ცვლილებები დამოკიდებულია მასალების თბოფიზიკურ თვისებებზე, შემომზღული

კონსტრუქციის სახეზე და შენობის არქიტექტურულ ფორმაზე. იმასთან დაკავშირებით, რომ მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება ახალ ახალი მსუბუქი მასალები და თხელკედლიანი კონსტრუქციები, ეს საკითხი იძენს დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობას, რადგან ასეთ შემთხვევაში შენობაში ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე უფრო მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გარემო ჰაერის ტემპერატურის ყოველდღიურ ცვალებადობაზე.

აღნიშნულის გამო, შემომზადდი კონსტრუქციის მოცულობითი სითბოტევადობა და თბოგამტარობა (კომპლექსურად ტემპერატურაგამტარობა) დიდ გავლენას ახდენს შენობის თბურ ინერციაზე.

სამშენებლო პრაქტიკაში, გარემო ტემპერატურის დიდი ცვალებადობის დროს, ხშირად გვხვდება შემთხვევები, როდესაც აუცილებელია შენობის სათავსის დაცვა მნიშვნელოვანი გაცივებისა ან, პირიქით, გადახურებისაგან. ამისათვის შემომზადდი კონსტრუქციებში ითვალისწინებენ თბოიზოლაციის შრეს. ასეთ შემთხვევაში შემომზადდი კონსტრუქციის გაცხელება განისაზღვრება თბოიზოლაციის შრის არა მხოლოდ თბოგამტარობით, არამედ მისი კომპლექსური მახასიათებლით - ტემპერატურული ველის გავრცელების სიჩქარით, ანუ ტემპერატურაგამტარობით. ყველაზე უფრო ხელსაყრელ თბოსაიზოლაციო მასალად ითვლება მასალა მცირე ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტით. ზოგიერთ შემთხვევაში ცუდად შერჩეული თბოსაიზოლაციო მასალა შეიძლება აღმოჩნდეს პრაქტიკულად არახელსაყრელი. ასე, მაგალითად, თბოსაიზოლაციო მასალას „მიპორა“ აქვს მცირე თბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda=0,043$ ვტ/(მ²·°C) და ამავე დროს არასასურველი მაღალი ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი $a= 1,22 \cdot 10^{-6}$ მ²/წმ. ამიტომ თბოიზოლაციის მასალის შერჩევისას უნდა ვიხელმძღვანელოთ არა მარტო თბოგამტარობის კოეფიციენტის მიხედვით, როგორც ეს მიღებულია მშენებლობის პრაქტიკაში, არამედ მისი ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტიც და რაც ნაკლებია ამ

უკანასკნელის სიდიდე, მით ნაკლებად შეაღწევს მასალაში გარე ტემპერატურული ტალღები.

ფოროვან სამშენებლო თბოიზოლაციის მასალების ჩონჩხი განსხვავებულია ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობით [28]. ეს უკანასკნელი ხასიათდება მნიშვნელოვანი არაერთგვაროვნებით, რაც განპირობებულია მისი შემადგენელი ნაწილაკების ფორმებითა და ზომებით, ერთმანეთთან შემხები ნაწილაკების კონტაქტების ფორმითა და სიდიდით, ანუ ჩონჩხის სტრუქტურული თვისებებით. ეს აიხსნება მისი შემავსებელი ჰაერის მოცულობის მინიმუმითა და მაქსიმუმით. შედეგად მასალების ფორიანობა და მათი ფიზიკური თვისებები მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სამშენებლო მასალების თბოფიზიკურ შეფასებისას. ფორიანობა ხშირად განსაზღვრავს მასალის გამოყენების არეს. მასალის ამ მახასიათებელზეა დამოკიდებული მისი ზოგიერთი ძირითადი თვისება: სიმკვრივე, ტენშთანთქმა, თბოგამტარობა, ყინვამედეგობა და სხვა. წვრილფორიანი მასალები ხასიათდება ჰაერიდან ტენის შეწოვის უნარით (კაპილარული დიფუზიით).

სამშენებლო მასალების სხვადასხვაგვარი ჩონჩხის თბური თვისებები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან. ფოროვანი თბოსაიზოლაციო მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტის ქვედა ზღვარია უძრავი ჰაერის თბოგამტარობა ($\lambda=0,026$ ვტ/(მ[°]C) და $\rho=1,2$ კგ/მ³). მასთან ახლოსაა პენოპლასტის თბოგამტარობის კოეფიციენტი ($\lambda=0,031$ ვტ/(მ[°]C) და $\rho=35$ კგ/მ³) და „მიპორა“ ($\lambda=0,043$ ვტ/(მ[°]C) და $\rho=31$ კგ/მ³). ასეთ მასალებში მასალის მყარი ნაწილის თბოგამტარობა მინიმალურია, რადგან ცალკეულ ნაწილაკებს შორის არის წერტილოვანი კონტაქტები, რაც ქმნის დიდ თერმულ წინაღობას. მასალის ძირითადი ჩონჩხის გავლენა საერთო პროცესზე მოქმედებს უმნიშვნელოდ და გადამწყვეტ როლს თამაშობს მასალის ფორიანობა. მასალის ტემპერატურაგამტარობის ზედა ზღვარი არის უძრავი ჰაერის ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი ($a=21,4 \cdot 10^{-6}$ მ²/წმ. და $\rho=1,2$ კგ/მ³). აღსანიშნავია, რომ ეს სიდიდე უახლოვდება ფოლადის

ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტს ($a = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$ და $\rho = 7870 \text{ კგ/მ}^3$). ამიტომ შენობის აგების დროს შემომზღულ კონსტრუქციებში ფართოდ გამოყენებულ ჰაერის ფენებმა არასტაციონალურ რეჟიმებში შეიძლება იმუშაოს, როგორც ლითონმა, რის გავლითაც ტემპერატურული ველი სწრაფად ვრცელდება. ეს კი, თავის მხრივ, უარყოფითად მოქმედებს შემომზღული კონსტრუქციის საექსპლუატაციო მაჩვენებელზე (ხარისხზე), განსაკუთრებით თხელკედლა პანელური მშენებლობის დროს.

ამრიგად, თუ სტაციონალურ პირობებში შემომზღულ კონსტრუქციაში ყველაზე კარგი თბოიზოლატორია უძრავი ჰაერის ფენა, არასტაციონალურ პირობებში იგი წარმოადგენს ყველაზე ცუდ თბოიზოლატორს. ამიტომ, თბოსაიზოლაციო მასალები, რომლებიც გამოიყენება სამშენებლო კონსტრუქციებში, უნდა შევავასოთ არა მარტო თბოგამტარობის კოეფიციენტით, არამედ ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტითაც. ზოგადად, მსუბუქი მასალები ($\rho = 15-35 \text{ კგ/მ}^3$) წარმოადგენს კარგ თბოსაიზოლაციო მასალებს სტაციონალურ რეჟიმში თბოგამტარობის მიხედვით შეფასებისას, და იმავე დროს, ცუდ თბოსაიზოლაციო მასალებს არასტაციონალურ რეჟიმში ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტით შეფასებისას.

თბოსაიზოლაციო მასალების თვისებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თბოსაიზოლაციო მასალები სიმკვრივეთა ინტერვალში $\rho = 150-850 \text{ კგ/მ}^3$ ტემპერატურაგამტარობის და თბოგამტარობის კოეფიციენტების ერთდროული გათვალისწინებით, წარმოადგენს ყველაზე მეტად ეფექტურ თბოსაიზოლაციო მასალებს. სიმკვრივეთა ამ საზღვრებში მასალების ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი მიისწრაფვის მუდმივ სიდიდისკენ (პრაქტიკულად იცვლება საზღვრებში $a = 0,17 \cdot 10^{-6} \div 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$), ხოლო თბოგამტარობის კოეფიციენტი სწრაფად იცვლება მასალის მოცულობითი წონისა და ფორიანობის მიხედვით.

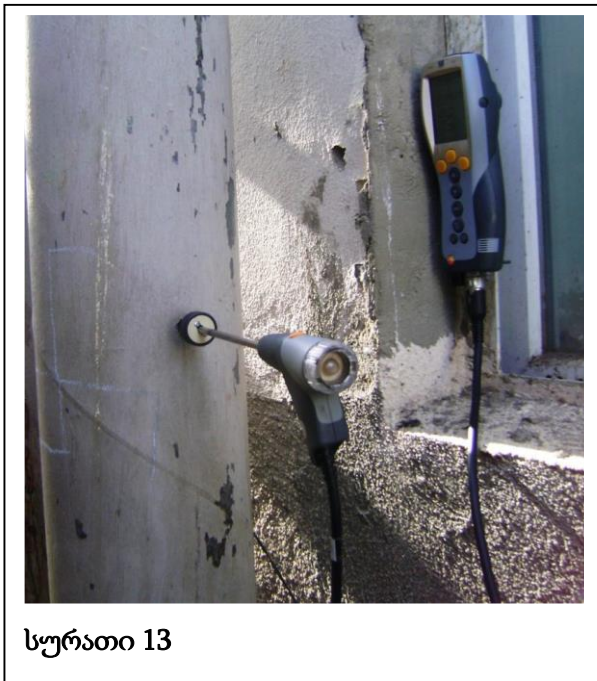
ცნობილია, რომ 1 მ³ ეფექტური თბოიზოლაცია იძლევა 1,4-1,6 ტ პირობითი სათბობის ეკონომიას წელიწადში. ამიტომ პირველი რიგის

ამოცანაა თბოიზოლაციის შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს შენობებიდან სითბოს დანაკარგების შემცირებას. ამ მიმართულებით განსაკუთრებულ ადგილს იკავებს საიზოლაციო მასალა - კარბამიდული პოროპლასტი. გასული საუკუნის 70-ან წლებიდან კარბამიდული პოროპლასტი ფართოდ გამოიყენება როგორც საიზოლაციო ჩასასხმელი მასალა მშენებლობაში გამოყენებულ შემომზღუდ კონსტრუქციებში. დიდ ბრიტანეთი, გერმანია და დასავლეთის სხვა ევროპული ქვეყნები და აშშ ფართოდ იყენებენ აგურის და ბლოკის კედლების თბოიზოლაციას, აგურის და ბლოკის წყობის გასწვრივ რიგებს შორის სპეციალურად გათვალისწინებულ სიცარიელებში თხევადი კარბამიდული პოროპლასტით შევსების სახით.

IV თავი. ბოილერის თბოტექნიკური გამოცდა და თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარი

4.1. თბოტექნიკური გამოცდის ობიექტი და გამოცდის შედეგები

ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის საქვების ორი წყლის გამაცხელებელი ბოილერის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზი თბოტექნიკური გამოცდის გამარტივებული მეთოდის გამოყენებით. თბოაგრეგატის ეფექტურობის განსაზღვრისათვის უნივერსალურ საზომ



ხელსაწყოს წარმოადგენს ნამწვი აირების ანალიზატორი testo 335. ამ ხელსაწყოთი შესაძლებელია ნამწვი აირებში შემადგენელი კომპონენტების გაზომვა, მთელი რიგი მახასიათებელი პარამეტრების გამოთვლა და წვის პროდუქტების შედგენილობის ანალიზის საფუძველზე საბოლოოდ აგრეგატის მ.ქ. კოეფიციენტის დადგენა[36;39;43].

კორპუსის გათბობის სიტემას ემსახურება ინდივიდუალური საქვებზე ორი Ecoflam NC -420 ტიპის წყლის გამაცხელებელი ბოილერით, თითოეული 455 კვტ მაქსიმალური თბური სიმძლავრით (დამოუკიდებელი საკვამლე მილებით). მუშა სხეულია მაღალი წნევის წყალი. დაწნევის ხაზში მაქსიმალური ტემპერატურაა 90 °C. სათბობის (ბუნებრივი აირი) წნევა სანთურის წინ არის 210-240 მმ.წყ.სვ. ბუნებრივი აირის ხარჯი (ჯამური ორივე ბოილერზე) იზომება Elster-ის როტაციული ხარჯსაზომით, რომელსაც გააჩნია EK-233 ტიპის წნევისა და ტემპერატურის კორექტორი. ბოილერების მუშაობის რეჟიმის მიხედვით ჩართულია ორივე მათგანი. ტემპერატურის

რეგულირების მეთოდი ბოილერიდან გამოსვლაზე ორპოზიციანია (ბოილერის ჩართვა-გამორთვა).

სურათ 13-ზე ნაჩვენებია testo 335-ით გაზომვის პროცესი, რომლის მონაცემები №1 და №2 ბოილერების წვის პროდუქტებში ჟანგბადის, ნახშირორჟანგის, ნახშირჟანგის შემცველობები, ნამწვი აირების (წარმავალი აირების) ტემპერატურა, საქვაბეში ტემპერატურა და აბსოლუტური წნევის

ცხრილი IV.1 წვის პროდუქტების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზი

ბოილერი №1					ბოილერი №2				
O ₂ %	CO ppm	t _{წ.ა} °C	t _ჰ °C	Paბს კა	O ₂ %	CO ppm	t _{წ.ა} °C	t _ჰ °C	Paბს კა
11.14	1188	137.1	15	95768	11.02	108	163.2	13.8	95785
11.21	1163	137	14.8	95767	10,98	100	163,3	13,4	95784
11.14	1131	137.1	15.3	95765	10,99	97	163,3	12,9	95782
11.16	1101	137.4	15	95765	11,09	93	163,7	13,5	95772
10.71	1009	136.3	14.1	95742	11,09	96	163,4	13,1	95774
.65	972	136.7	16.2	95737	11,03	98	163,4	13,8	95770
10.55	951	136.9	15.4	95735	11	101	162,8	13,7	95772
10.61	962	137	14.8	95735					
საშუალო სიდიდეები									
10.9	1059.6	136.9	15.1	95752	11.03	99.0	163.3	13.46	95776

შესახებ მოცემულია ცხრილში 4.1, ხოლო გაანგარიშებების შედეგები ცხრილებში 4.2 და 4.3 .

ცხრილი IV.2 გაანგარიშების შედეგები, წყალგამაცხელებელი ბოილერი №1

CO %	CO ₂ %	N ₂ %	h	α	q ₂ %	q ₃ %	q ₅ %	%
0.119	5.54	83.20	2.08	1.98	9.12	0.74	0.9	89.24
0,116	5,50	83,17	2,10	1.99	9,19	0,73	1,1	88,99
0.113	5,54	83,20	2,09	1,98	9,11	0,70	0,89	89,29
0.110	5,53	83,20	2,09	1,98	9,17	0,69	1	89,14
0,101	5,78	83,40	2,00	1,90	8,82	0,60	0,8	89,78
0,097	5,82	83,43	1,99	1.90	8.68	0,58	1,05	89,69
0,095	5,87	83,48	1,98	1.88	8,68	0,56	0,9	89,86
0,096	5,84	83,45	1,99	1,89	8,76	0,57	0,87	89,80
საშუალო სიდიდეები								
0.11	5.68	83.3	2.0	1.9	8.9	0.6	0.94	89.5

ცხრილი IV.3 გაანგარიშების შედეგები, წყალგამაცხელებელი ბოილერი №2

CO %	CO ₂ %	N ₂ %	h	α	q ₂ %	q ₃ %	q ₅ %	%
0.0108	5.61	83.36	2.1	1.99	11.18	0.07	0.95	87.80
0.01	5.63	83.38	2.09	1.98	11.18	0.06	1.02	87.74
0.0097	5.63	83.37	2.09	1.98	11.22	0.06	0.89	87.83
0.0093	5.57	83.33	2.11	2.00	11.31	0.06	0.86	87.77
0.0096	5.57	83.33	2.11	2.00	11.31	0.06	1.02	87.61
0.0098	5.60	83.36	2.1	1.99	11.21	0.06	0.81	87.92
0.0101	5.62	83.37	2.1	1.99	11.14	0.06	0.83	87.97
საშუალო სიდიდეები								
0.01	5.61	83.4	2.1	1.99	11.22	0.06	0.91	87.8

ცხრილი 4.1 მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ წვის პროდუქტებში მაღალია ჟანგბადის შემცველობა (ორივე ბოილერისათვის), რაც მიუთითებს სათბობის დასაწვავად მიწოდებული ჰაერის დიდ სიჭარბეზე, მიუხედავად ჰაერის დიდი სიჭარბისა წვის პროდუქტები შეიცავს (განსაკუთრებით წყალგამაცხელებელი ბოილერი №1) არასრული წვის პროდუქტების (CO) მაღალ რაოდენობას, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს ბუნებრივი აირისა და ჰაერის არასრულყოფილი შერევით. წარმავალი აირების დიდი რაოდენობები და მაღალი ტემპერატურა (წყალგამაცხელებელი ბოილერი #2) განაპირობებს წარმავალი აირებით გარემოში სითბოს მაღალ დანაკარგებს.

წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურისა (163 °C) და ჰაერის დიდი სიჭარბის კოეფიციენტის ($\alpha = 1.9$) გამო ბოილერი #2 –ის ეფექტურობის კოეფიციენტი $\eta = 87.8\%$, რაც ნაკლებია აგრეგატის საპასპორტო მონაცემზე. მიახლოებით ანალოგიური სურათია ბოილერი #1 –ის შემთხვევაშიც (ცხრ.4.2 და 4.3).

ბოილერების საბალანსო თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე დადგინდა აგრეგატების შედარებით დაბალი ეფექტურობით მუშაობის ძირითადი მიზეზები: წვისათვის საჭირო ჰაერის ფაქტიური რაოდენობის დიდი სიჭარბე (არასწორი თანაფარდობა "ბუნებრივი აირი-ჰაერი"); წვის

პროცეს-ის არადამაკმაყოფილებელი სურათი; წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურა.

ცხრილი IV.4 წყალგამაცხელებელი ბოილერის გამართვის შემდეგ წვის პროდუქტების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზი

ბოილერი №1					ბოილერი №2				
O ₂ %	CO ppm	t _{წ.ა} °C	t _კ °C	P _{აბს} კა	O ₂ %	CO ppm	t _{წ.ა} °C	t _კ °C	P _{აბს} კა
3.6	865	135.1	21.2	957760	4.1	56	143.2	26.9	95775
3.62	816	130.9	20.8	95762	4.09	50	147.3	26.6	95794
3.58	805	134.0	20.9	95755	3.99	49	139.9	27.1	95783
3.55	789	135	20.7	95749	4.3	42	134.8	27.6	95756
3.49	779	134.8	20.2	95747	4.5	39	136.7	27.8	95784
3.5	699	133.9	18.9	95739	4.56	37	138.1	27.7	95779
3.6	689	129.8	17.9	95775	4.65	31	130.1	27.8	95771
3.7	678	132.8	17.4	95765					
საშუალო სიდიდეები									
3.58	765.0	132.8	19.8	95757	4.31	43.4	138.6	27.36	95777

ჩატარებული ღონისძიებით, ჰაერის ფარსაკეტის საჭირო დონემდე მიხურვით, რომელიც კონტროლირდებოდა წვის პროდუქტებში ჟანგბადის შემცველობით (ხელსაწყოთი testo 335-ით), დარეგულირდა სათბობის წვის პროცესი მინიმალურად საჭირო პრაქტიკული ჰაერის პირობებში, რამაც გამოიწვია ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის შემცირება (ნორმალურ სიდიდემდე), წარმავალი წვის პროდუქტების რაოდენობის შემცირება და შესაბამისი სითბოს დანაკარგების მინიმიზაცია. გასამართი სამუშაოების ჩატარების შემდეგ ბოილერების გამოცდის მონაცემები მოყვანილია ცხრილში 4.4, გაანგარიშებების შედეგები ცხრილებში: 4.5 და 4.6.

ცხრილი IV.5 გამართვის შემდეგ გაანგარიშების შედეგები, ბოილერი №1

CO %	CO ₂ %	N ₂ %	h	α	q ₂ %	q ₃ %	q ₅ %	%
0.087	9.78	86.54	1.2	1.18	5.41	0.31	0.9	93.38
0.082	9.77	86.53	1.20	1.18	5.24	0.29	1.1	93.37
0.081	9.79	86.55	1.20	1.18	5.37	0.29	0.89	93.46
0.079	9.81	86.57	1.19	1.17	5.41	0.28	1	93.30
0.078	9.84	86.59	1.19	1.17	5.41	0.28	0.8	93.51
0.070	9.83	86.60	1.19	1.17	5.43	0.25	1.05	93.28
0.069	9.78	86.55	1.20	1.18	5.30	0.25	0.9	93.55
0.068	9.72	86.51	1.21	1.18	5.29	0.24	0.87	93.59
საშუალო სიდიდეები								
0.08	9.79	86.6	1.2	1.2	5.4	0.3	0.94	93.4

ცხრილი IV.6 გამართვის შემდეგ გაანგარიშების შედეგები, ბოილერი №2

CO %	CO ₂ %	N ₂ %	h	α	q ₂ %	q ₃ %	q ₅ %	%
0.0056	9.5	86.4	1.24	1.22	5.73	0.02	0.95	93.3
0.005	9.50	86.40	1.24	1.22	5.93	0.02	1.02	93.03
0.0049	9.56	86.45	1.23	1.21	5.53	0.02	0.89	93.56
0.0042	9.38	86.31	1.26	1.23	5.35	0.02	0.86	93.77
0.0039	9.27	86.22	1.27	1.24	5.49	0.01	1.02	93.48
0.0037	9.24	86.20	1.28	1.25	5.57	0.01	0.81	93.60
0.0031	9.19	86.16	1.28	1.26	5.21	0.01	0.83	93.95
საშუალო სიდიდეები								
0.004	9.38	86.3	1.26	1.23	5.54	0.02	0.91	93.5

ცხრილების (4.1-4.6) ანალიზი აჩვენებს, რომ გამართვის სამუშაოების ჩატარების შედეგად შემცირდა: ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა- 1.9 დან 1.2 –დე (ბოილერი №1) და 1.99- დან 1.23-დე (ბოილერი №2); წვის პროდუქტებში ჟანგბადის საშუალო შემცველობა- 10.9 %-დან 3.6%-დე (ბოილერი №1) და 11.03%-დან 4.31%-დე (ბოილერი №2); წარმავალი აირების საშუალო ტემპერატურე- 136.9 °C -დან 132.8 °C -დე (ბოილერი №1) და 163.3 °C -დან 138.6 °C -დე (ბოილერი №2); სითბოს დანაკარგები წარმავალი აირებით- 8.9 %-დან 5.4 %-დე (ბოილერი №1) და 11.22%-დან 5.54 %-დე (ბოილერი №2).

საბოლოო შედეგი გამოიხატა აგრეგატების ეფექტურობის ამაღლებაში 89.5 % -დან 93.4 %-დე (ბოილერი №1) და 87.8%-დან 93.5%-დე (ბოილერი №2).

გაანგარიშებები ჩატარებულია მახასიათებელი პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $C' = 0.82$; $k = 0.78$; $B = 0.8$; $L = 0.85$; $t_{ა,კ} = 2040^{\circ}\text{C}$; $P = 4240$ კგ/ნმ³; $Q_{co} = 12650$ კგ/ნმ³; $RO_{2max} = 11.8\%$.

აგრეგატების თბოტექნიკური ანალიზის ექსპრეს მეთოდი (პროფესორ რავიჩის მეთოდი) ხასიათდება შედარებით სიმარტივით და ხელსაწყო testo 335 წვის პროდუქტების მახასიათებელი პარამეტრების გაზომვის გზით აგრეგატების ეფექტურობის დადგენის საშუალებას იძლევა.

4.2. თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის შექმნა

თბოგამტარობის კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე:

$$\lambda = \frac{\delta}{\frac{t_1 - t_2}{q^* (1 - \psi_q)} - NR_k}, \quad (4.2.1)$$

სადაც

λ - არის საკვლევი მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი (მიიღება ანგარიშით), ვტ/ (მ°C);

q^* - დაფიქსირებული ხვედრითი თბური ნაკადი, ვტ/მ² (იზომება);

δ - ნიმუშის სისქე, მ (იზომება);

t_1 - ნიმუშის ცხელი ზედაპირის ტემპერატურა °C, (იზომება);

t_2 - ნიმუშის ცივი ზედაპირის ტემპერატურა °C, (იზომება);

$\Delta t = t_1 - t_2$ - ნიმუშის ცხელი და ცივი ზედაპირების ტემპერატურათა სხვაობა (მიიღება ანგარიშით);

N - ნიმუშის კონტაქტების რაოდენობა;

$R_k = \frac{\delta_v}{\lambda_v}$ - ჰაერის საკონტაქტო შრის თერმული წინაღობა, (მ°C)/ვტ;

$\psi_q = \frac{q_z}{q^*}$ - შესწორება სითბოს ნაკადზე, რომელიც იკარგება ნიმუშის

გვერდითი ზედაპირიდან (მიიღება შეფასებით);

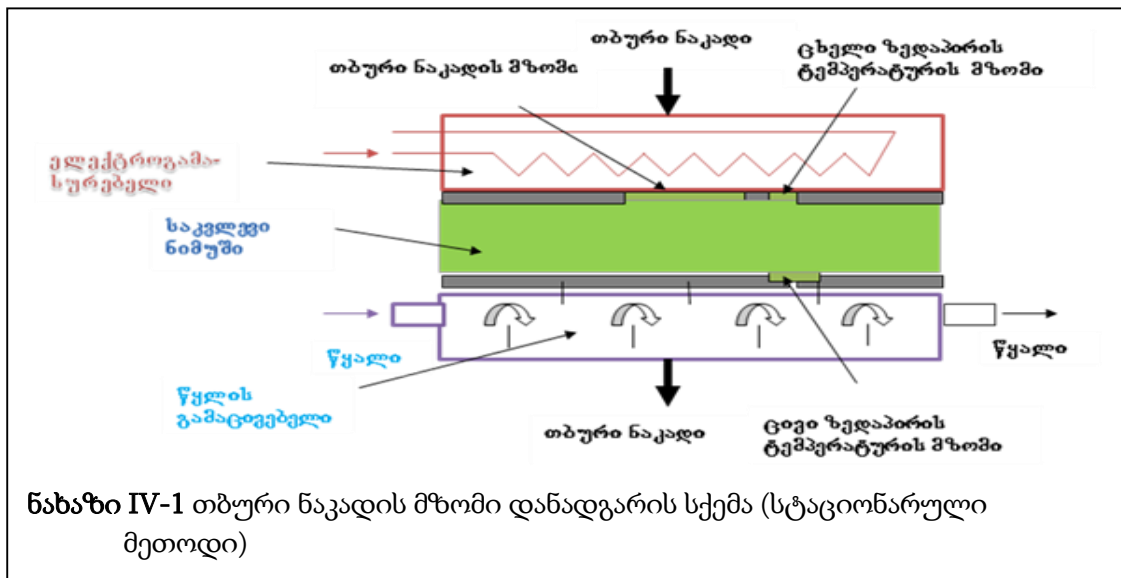
NR_k - შესწორება საკონტაქტო შრეზე, (მK)/ვტ, (მიიღება შეფასებით).

საზომი დანადგარის შექმნა. არსებობს მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული თბოგამტარობის კოეფიციენტის გასაზომი დანადგარი, რომელთა სიმრავლე დაკავშირებულია მეტად განსხვავებულ მოთხოვნილ პირობებთან: თბური რეჟიმი, ნიმუშის ფორმა და ზომები, გაზომვის ტემპერატურული ინტერვალი, ტემპერატურული და თბური გაზომვების მეთოდები, მასალების მდგომარეობა, გაზომვის სიზუსტე და სხვა. თბოგამტარობის კოეფიციენტის გასაზომად გამოყენებული მეთოდები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: სტაციონარულ და დინამიკურ მეთოდებად.

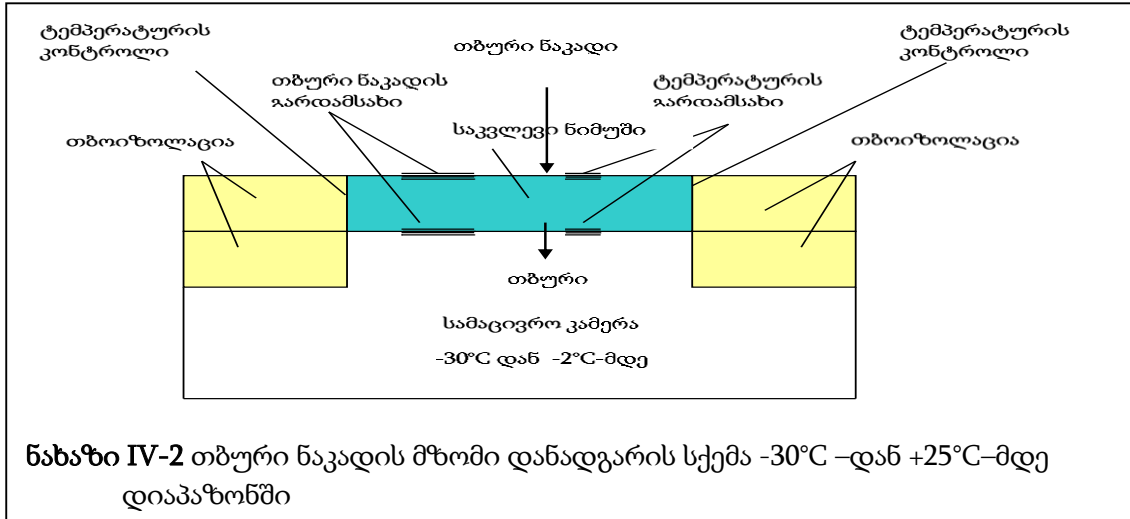
სამშენებლო და თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის მაღალი სიზუსტით გასაზომად მიზანშეწონილია ბრტყელი ფირფიტის სტაციონარული აბსოლუტური მეთოდის გამოყენება [40-42].

ხვედრითი თბურ ნაკადი იზომება ელექტრონული მზომი ხელსაწყოთი ИТП_МГ4. ხელსაწყო გათვლილია თბური ნაკადების გასაზომად, რომელიც გადის ერთ ან მრავალშრიან ფენაში. მისი დანიშნულებაა შენობების ერთშრიან და მრავალშრიან შემომზღუდ კონსტრუქციებში გამავალი სითბური ნაკადების სიმკვრივის გაზომვა. ხელსაწყოთი იზომება აგრეთვე ზედაპირის ტემპერატურები თბური ნაკადის მიმართულებით, რაც გასაზომი კონსტრუქციის თერმული წინაღობის და თბოგამტარობის კოეფიციენტის შეფასების საშუალებას იძლევა. თბური ნაკადის ტემპერატურის გაზომვის დიაპაზონია 10-999 ვტ/მ².

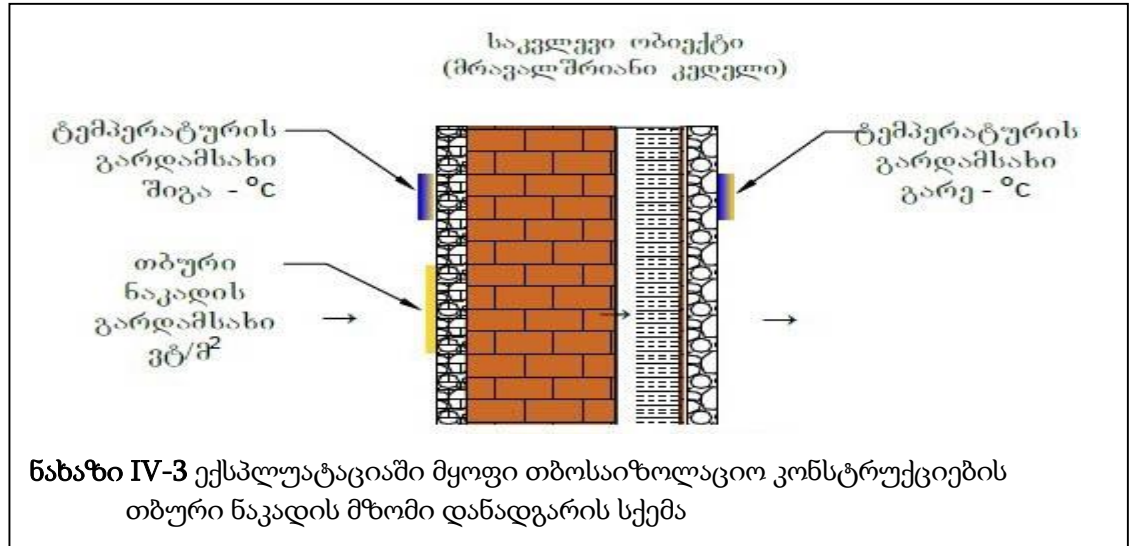
შექმნილი ბრტყელი ფირფიტის სტაციონარული აბსოლუტური მეთოდის დანადგარის ექსპერიმენტული გაზომის სქემა შემდეგია:



თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის სქემა მინუს 30 °C –დან პლიუს 25 °C ტემპერატურის დიაპაზონში მოცემულია შემდეგ სქემაზე:



ხელსაწყოთი შესაძლებელია შემომზადებული კონსტრუქციების და ექსპლუატაციაში მყოფი ენერგობიექტების თერმული წინაღობის გაზომვა იგივე ხელსაწყოს გამოყენებით შემდეგი სქემით:



შექმნილ დანადგარზე გამოკვლევული იქნა შემომზადებული კონსტრუქციებში ფართოდ გამოყენებული სხვადასხვა მრავალშრიანი თბოსაიზოლაციო მასალები (სურათი 14) და შედეგები მოცემულია შემდეგ ცხრილში:

ცხრილი IV.7 თბოგამტარობის კოეფიციენტის გასაზომი დანადგარით მიღებული სხვადასხვა მასალების თბოტექნიკური მაჩვენებლები

დასახელება	λ ვტ/ (მ ² /K)	t საშ °C ნიმუშის	q ვტ/მ ²	Δt °C ზედაპირ ებს შორის	Δt °C ჰაერის
1 მუყაოს ჭერი	0,017	-10,924	64,058	32,853	53,201
2 სენდვიჩი 20მმ (18მმ ქაფპლასტი)	0,0316	-5,171	44,988	28,115	55,712
3 ლამბირი 20მმ (კარის გული 18მმ ჰაერის ღრეჩოთი)	0,053	-7,883	52,436	20,071	52,123
4 მინაპაკეტი 20მმ (12მმ ჰაერის ღრეჩოთი)	0,083	-4,534	62,123	15,012	53,122
5 პენობლოკი	0,094	-5,548	29,752	28,196	53,001
6 გიფსოკარდონი	0,184	-5,093	97,849	6,397	54,101
7 მინა 4მმ	0,342	-5,095	84,266	1,484	53,201
8 აგური (თეთრის სილიკატური)	0,387	-1,539	52,692	12,168	55,001



სურათი 14

ძირითადი დასკვნები

1. ჩატარებულია პირველი ენერგოეფექტური შენობების კრიტიკული ანალიზი ენერგოგამზოგი ღონისძიებების კუთხით. ენერგოეფექტური ღონისძიებებიდან გამოყოფილია შენობის ფორმის, ზომისა და ორიენტაციის დადგენის საკითხი გარემო კლიმატის ზემოქმედების გათვალისწინებით. დამუშავებულია ძირითადი პრინციპები და ღონისძიებები რომლებსაც უნდა პასუხობდეს ენერგოეფექტური შენობები;
2. ჩატარდა ტიპური ბაგა-ბაღის (თბილისში #109 და 107) ენერგოაუდიტი. გამოვლენილი იქნა შენობის მაღალი თბური დანაკარგების გამოწვევი მიზეზები და შემუშავებული იქნა გასატარებელი ენერგოეფექტური ღონისძიებებიდან ძირითადად გამოყოფილია შემომზღუდი კედლების დათბუნება. ერთი ბაგა-ბაღისათვის დათბუნების ღონისძიების ჩატარებით წელიწადში დაიზოგება 8900მ³ ბუნებრივი აირი და ნახშირორჟანგის ემისია შემცირდება 17000 კგ.-ით. მარტივი უკუგება შეადგენს 4,9 წელს.
3. შენობის ოპტიმალური ორიენტაციის განსაზღვრის მეთოდიკის გამოყენებით ბაგა-ბაღის მართკუთხა შენობისათვის შენობიდან მინიმალური თბური დანაკარგების პირობით მიღებულია შენობის ოპტიმალური ზომები: სიგრძე- 31მ და სიგანე 23მ, მაშინ როცა მისი ფაქტიური ზომებია: 52მ და 13მ. შესაბამისად გათბობის დადგმული სიმძლავრე შემცირდება 114კვტ-დან 78კვტ-დე (31%-ით). შენობების პროექტირების დროს სასურველია გათვალისწინებული იქნას შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმიზაციის პირობა;
4. ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის გათბობის წყალგამაცხელებელი ბოილერების სექსპლუატაციო გამოცდა სითბური ბალანსის შებრუნებული მეთოდის გამოყენებით. დადგენილი იქნა მათი მუშაობის რეჟიმული რუკები, რამაც გამოიწვია აგრეგატების მარგი

ქმედების კოეფიციენტის გაზრდა 87,8%-დან 93,5%-დე. გამოცდების დროს გამოყენებული იყო ნამწვი გაზების ანალიზატორი TESTO 335 და ლაზერული თერმომეტრები;

5. შექმნილია თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის საზომი სტაციონარული რეჟიმით მომუშავე დანადგარი სამშენებლო ინდუსტრიაში გამოყენებული ტემპერატურული დიაპაზონისათვის. განადგარის კალიბრება ჩატარებულია სანიმუშო ნივთიერების - პენოპლასტის გამოყენებით. გაზომვის ცდომილება შეადგენს 3-5%-ს; დანადგარი სხვადასხვა კომპოზიციური მასალების ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა;
6. გამოკვლეულია თბოგამტარობის კოეფიციენტები შემდეგი მასალების: წითელი აგური, პენობლოკი, მუყაო-თაბაშირის ფილა, მინა, მინა-პაკეტი, სედვიჩი, ლამბირი (მეტალოპლასტმასის კარის გული), შეკიდული ჭერის ფილა და სხვა;
7. შესწავლილია შენობის გათბობის „წყვეტილი რეჟიმის“ სტაციონარული, გაგრილების, მინიმალური ტემპერატურის და ინტენსიური გათბობის პერიოდების კანონზომიერებები. დადგენილია, რომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმიზაცია მიიღწევა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით.
8. დამუშავებულია შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელის საშუალებითაც შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული ამოცანისათვის საჭირო თერმული წინააღმდეგობის უზრუნველსაყოფად თბოიზოლაციის ოპტიმალური სისქის დადგენა.

გამოყენებული ლიტერატურა

- 1 Фокин К.Ф. строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.:2006;
- 2 Богословский В. Н. Строительная теплофизика москва 1970;
- 3 რატიანი გ., გრძელიძევილი მ., სამშენებლო თბოფიზიკა. „განათლება“ 1979;
- 4 ხუნწარია რ., თბომომარაგება. განათლება. 1979;
- 5 СНиП -3-79. строительная теплотехника. М. ГУП ЦПП, 1998;
- 6 Исаченко В.П. Осипова В. А. Сукотель А. С. Теплопередача москва ерергоиздательства 1981;
- 7 Ильинский В. М. Строительная теплофизика москва 1974;
- 8 Справочник по теплоснабжению и вентиляции издательство “будивельник” киев1976;
- 9 Малявина Е. Г. Теплотери Здания Техническая библиотека НП «АВОК». М. 2007;
- 10 Роджерс Т.С. проектирование теплозащиты зданий// Пер. С англ. М. :1968;
- 11 Климат Тбилиси, Санкт-Петербург Гидрометеоиздат, 1992. Под редакцией Сванидзе Г. Г. И Папикашвили Л. К.;
- 12 Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. М.ЖМ-Л. Госэненргоиздат, 1961;
- 13 Гост 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом пэжыме. - М.: изд-во стандартов, 2000;
- 14 Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий// АВОК. 1998. №1. С.5-10;
- 15 Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. Техническая библиотека НП «АВОК». М. 2003;
- 16 Годовский Ю. К. – Теплофизические методы исследования полимеров;

- 17 Димитрович А. Д. – Определение теплофизических свойств строительных материалов;
- 18 Варгафтик Н.б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей москва государственное издательство физико-математической литературы 1963;
- 19 Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. Изд-во технич лит, М, 1954;
- 20 Табуншиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективное здания, М. Авок-пресс, 2003;
- 21 Бродач М.М. Повышение тепловой эффективности зданий оптимизационными методами. Дис.канд.техн. Наук. М.Ж НИИСФ,1988;
- 22 Щеголев М.М., Гусев Ю. Л., иванова М. С. Котельные установки москва 1972;
- 23 Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования издательство "наука" москва 1971;
- 24 დაპლსვენი თ., აბულაშვილი გ., სიჭინავა ხ. შენობების ენერგოაუდიტი ENSI-ის მეთოდები და ინსტრუმენტები. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი 2010;
- 25 ბარამიძე ს., კილურაძე დ., კილურაძე ო. საცხოვრებელი შენობის გარე შემომზღული კონსტრუქციებისა და სასხვენო გადახურვების საჭირო თერმული წინაღობები საქართველოს ზოგიერთი კლიმატური რაიონისათვის// ჟურნალი „ენერჯია“ #1 (41), თბილისი 2007;
- 26 დარჩია გ. გათბობა და ვენტილაცია. თბილისი. განათლება. 1967;
- 27 დარჩია გ. გათბობა და ვენტილაცია. თბილისი. განათლება. ნაწილი II. 1970;
- 28 ტატიშვილი ა., ძირითადი საშენი მასალები და ნაკეთობანი. თბილისი 1990;

- 29 ქეთელაური გ. „საქვაზე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის მიზანი, კლასიფიკაცია და მისი მიზანი“// 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, 2014 თბილისი;
- 30 კილურაძე ო., ქეთელაური გ. „შენობაზე გარე კლიმატის ზემოქმედების ინჟინრული გაანგარიშებების მეთოდოლოგია“// საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, გამოყენებითი მექანიკის, მანქანათმშენებლობის, ენერგეტიკისა და მართვის სისტემების განყოფილება. აკადემიკოს ვახტანგ გომელაურის დაბადების 100 წლისათვის მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“ 2014 თბილისი;
- 31 ქეთელაური გ., კილურაძე ო. "პირველი ენერგოეფექტური შენობები"// საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი" #25, 2014წ. გვ. 118-126;
- 32 კილურაძე ო., ქეთელაური გ., ბარამიძე ს. „შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მეთოდოლოგია“// საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ 2015 ქუთაისი
- 33 კილურაძე ო., ქეთელაური გ. „შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმალური შერჩევა“// საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტუ. შრომათა კრებული #18, 2014წელი გვ. 105-110;
- 34 ბარამიძე ს., კილურაძე დ., კილურაძე ო. შენობების გარე კედლის ჰაერის შრის თერმული წინაღობა// საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი" № 3 (32), 2008წ. გვ. 48-51;
- 35 კილურაძე ო. თბოტექნიკური გაზომვები და ხელსაწყოები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ თბილისი 2013;
- 36 ქეთელაური გ, ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო. „წყალგამაცხელებელი ბოილერის თბოტექნიკური გამოცდა“// მე-2-ე საერთაშორისო

- კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტი 2013 ქუთაისი;
- 37 Щекин П. В. Березовский В. А. Потапов В. А. Расчёт систем центрального отопления киев 1975;
- 38 ქეთელაური გ., „შენობის გათბობის „წყვეტილი“ რეჟიმის მართვა“// სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თბო და ჰიდროენერგეტიკის სექცია. სტუ 2015 თბილისი;
- 39 ქეთელაური გ., ჩხიკვაძე ქ., კილურაძე ო. "წყალგამაცხელებელი ბოილერის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზი ექსპრეს მეთოდით. // სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი "ენერგია" #2(66), 2013წ.;
- 40 ქეთელაური გ. სამშენებლო და თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის გამოკვლევა// საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სამაგისტრო ნაშრომი. 2011წ.;
- 41 ჟორდანიას თ., ეზუგბაია ზ., ირემაშვილი ი. ჰიდრო და თბოსაიზოლაციო სამუშაოების ტექნოლოგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2009;
- 42 ბარამიძე ს., ქეთელაური გ., კილურაძე დ. თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული გამოკვლევა// მოხსენებების კრებული, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. 21-21 მაისი, 2010, ქუთაისი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი;
- 43 Ketelauri G., "Heat Generators Efficiency Assessment"// USAID Hydropower Investment Promotion Project (HIPP) organized Conference: "Young Engineers in Georgian Energy Sector" on 17 April, 2013 in Georgian Technical University. Tbilisi;
- 44 Daniels K. The Technology of Ecological Building. Birkhauser, 1997;
- 45 Architectural planning and design saves energy in research facility. CADDET, 1998;

- 46 Blom P., Brunsell J. Natural ventilation system with heat recovery. CADDET, 1999;
- 47 Barista D. Living machine. University environmental studies building hopes to create more energy than it consumes. Building Design and Construction, 2001;
- 48 Табуншиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М., АВОК-ПРЕСС, 2002;
- 49 Москвитин В. А. Композит поропласт СФ 02 - эффективный утеплитель наружных ограждающих конструкции// Строительные материалы, оборудование и технологии КСЕ века. 2006. 2(85);
- 50 Мгсн 2.01-99 энергоснабжение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. -м., 1999;
- 51 კილურაძე ო., ქეთელაური გ., ბარამიძე ს. "შენობის გათბობის "წყვეტილი" რეჟიმის ოპტიმიზაცია"// საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, შრომები #4,2014წ. გვ. 14-19;
- 52 კილურაძე ო. „ტექნიკური მასალების თბოფიზიკური თვისებების გამოკვლევა 80-673 K ტემპერატურულ ინტერვალში“// სადოქტორო დისერტაცია, 1995წ. თბილისი;
- 53 Дульнев Г. Н. Коэффициент переноса в неоднородных средах. Ленинград. 1979;
- 54 Дульнев Г. Н. Зарычяк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Ленинград 1974;
- 55 Шкловский Б. И. Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред. УРН, 1975, т. 117;
- 56 Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристика дисперсных материалов М. физматгиз, 1962;
- 57 Lord Rayleigh S. R. S. On the influence of obstacles arranged in rectangular order upon the properties of a medium. // Philosophical magazine and Journal of science, 1892, vol. 34, p. 481.