

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ხათუნა ლეჟავა

თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის  
მიღება ადგილობრივ ნედლეულზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სამშენებლო ფაკულტეტის სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის  
ტექნოლოგიების და საშენი მასალების (N103) დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი თამარ ესაძე.

რეცენზენტები: არჩილ ყუბანიშვილი, პროფესორი, მშენებლობებისა  
და ნაგებობების კვლევების ცენტრის ხელმძღვანელი

ზეინაბ ქარუმიძე, პროფესორი

დაცვა შედგება 2016 წლის ” ” “ “, საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი-1 აუდიტორია 519<sup>ა</sup>  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ.N68<sup>ბ</sup>.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი დემურ ტაბატაძე, პროფესორი.

## Resume

The dissertation discusses the use of local raw materials for heat-insulation construction of heat resistant concrete to get the results of theoretical and experimental survey.

The work consists of three chapters: introduction, analytic review, the experimental part and technological schemes for the production of concrete. The work is attached by the tables, drawings, and the literature list of experimental and theoretical studies.

The introduction describes the general characterization of the work, the topic, the object of the research, research methods and structure of the work.

Great progress is possible in the construction industry on a highly developed modern scientific technologies basis, which ensure the high quality of products, raw materials and efficient use of resources economy. In recent years on a practice is widely used the various types of heat resistant concrete. In the United States and Japan, they were replaced by expensive refractory materials 60-70% . In the United States is used the heat resistant concrete and different kinds of warming electric stoves in wells. Not formal refractory materials of the oil and petrochemical furnaces construction get the wide recognition in Japan, which gave a boost to the properties of heat resistant concrete processing of ferrous metals industry. Japan industry prepared the heat-resisting concrete using clay soil, phosphate and sodium silicate astringents.

Refractory materials and products imported from the outside is quite expensive. That's why it becomes so important to get the resistant concrete using the basis local resources with given sharp decline of the energy cost. Technological, economic, sanitary and deficiency position of the industry show much interest of the heat-sodium silicate systems of the concrete. The liquid glass is replaced by finely ground silicate-modified stone, which improves the homogeneity of the concrete mixture; it excludes operations of energy consuming of acquisition the stone-silicate liquid glass; it makes possible to decrease water solution, which provides an increase strength; reduces the costs of silicate-rock, with consequent increases in the use of concrete temperature, makes possible to get the concrete dry mixture of manufacturing method, which can be transported by any distance, while the concrete is made directly by the consumer, therefore, the concrete will be made exactly by consumer.

Therefore, after all above mentioned, for the acquisition of high-temperature heat resistant concrete of local raw materials was choice sodium silicate anhydrous solution.

The next chapter of the work dedicated to the sequence of experimentation, characterized the used materials, tools and equipment of solution and technology of

making the concrete, and their physical and mechanical, and heat technical quantities.

Theoretically and experimentally substantiated that the mortar and heat resistant concrete possible to have to make finely ground silicate-rock, volcanic slag –Karatepa and corundum. Volcanic slag and corundum were used as a solution and filler in concrete, it makes small competitiveness of the composition, in turn, simplifies the technology. The same material composition ensures that the temperature changes in the contact layers of the inner tensions will be small, which will increase the thermostability of material. The samples made from the silkat-rock and karatepesa showed a high resistance after the heat treatment, and for the increasing the fire resistance becomes necessary to add the corundum for the solution. It is notable that the components that are included in the composition of the slag - CaO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; MgO and other, of the higher temperatures silicate rock-active silica form the refractory compounds: 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>; CaO · SiO<sub>2</sub>; MgO · SiO<sub>2</sub>.

The optimization of the binder composition consisting was reached during the experiment, and also was established following factors influenced on the strengthening: the sanctity of grinding, water-binder attitude and thermal treatment mode, which provides a silicate-rock melt, hydration, and extending the system. Physical-chemical, radiography and microscopic studies of the binder have confirmed that it is possible to heat the binder based on the adoption of concrete lining of high-temperature ovens.

The basis of experimental survey provided optimization of the composition of the concrete, and selection of the granulometric composition of the filler for the concrete mixture, to define the optimal rate of the water flow, and rational mode selection of the concrete mixture, and it's forming methods, and drying. Ready-mixed concrete and thermo-physical properties of the heat defined and regulated by the state regulatory standard methods.

As the result of studies conducted on the basis of the obtained heat-insulating construction of high-temperature heat resistant concrete using local raw materials, whose heat and thermo-physical properties in compliance with its requirements and allows him to use a variety of fast and complete ovens lining.

The third section presents the technological scheme of the enterprise, which is very simple and that is because of the small constituent concrete composition technology simplifies and reduces the cost of the product.

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**ნაშრომის აქტუალობა.** სახელმწიფოს სამრეწველო დამოუკიდებლობის ხელშეწყობის მიზნით უაღრესად მნიშვნელოვანია ისეთი ტექნოლოგიური პროცესების შექმნა, რომლებიც უზრუნველყოფენ პროდუქციის წარმოებისას დეფიციტურ მასალათა მინიმალურ ხარჯს, ენერგეტიკული რესურსების მაქსიმალურ ეკონომიას და სატრანსპორტო ხარჯების მკვეთრ შემცირებას. ბოლო სამი ათეული წლის განმავლობაში მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში თბური აგრეგატების მშენებლობასა და მათი ექსპლუატაციის საქმეში, არსებული ძვირადღირებული და დეფიციტური ცეცხლგამძლე მასალების ნაცვლად, წარმატებით გამოიყენება მხურვალმედეგი ბეტონები. მხურვალმედეგი ბეტონებისადმი მასშტაბური ინტერესი დაკავშირებულია დიდ ეკონომიურ ეფექტთან და მაღალი ტემპერატურის მოქმედების პირობებში ამ ბეტონებისაგან დამზადებული ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების ხანგამძლეობასთან. ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ეს ხელს უშლის თბური დანადგარების სტაბილურ მუშაობას და პროდუქციის შეუფერხებლად გამოშვებას. აღნიშნულის გამო, მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით მოცემული ხარისხის მხურვალმედეგი მასალების სინთეზი.

### ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე:

- თეორიულად დასაბუთებულია და ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია მხურვალმედეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა დაფქვილი სილიკატ-ლოდის, სადამოს საბადოს ადგილმდებარეობის ვულკანური წიდის (კარატეპე) და კორუნდის გამოყენებით;

- მიღებულია ცნობები მხურვალმედეგი ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობრივი თანაფარდობის გავლენის შესახებ შემკვრელისა და ბეტონის თვისებებზე, სიმტკიცეზე, მოცულობითი წონაზე, ცეცხლგამძლეობაზე, თერმომექანიკურ და თბოტექნიკურ თვისებებზე;

**ნაშრომის მიზანი და კვლევის ამოცანა.** ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება, სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიციურ მჭიდისა და ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით მაღალტემპერატურებზე მომუშავე ღუმელების ამონაგისათვის. დასახული მიზნის მისაღწევად კვლევის ამოცანას წარმოადგენს:

- თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის ჩატარება ადგილობრივი ნედლეულის შესარჩევად;
- ბეტონისა და შემკვრელის შედგენილობების ოპტიმიზაცია;
- შემკვრელების გრანულომეტრიის განსაზღვრა;
- მაღალტემპერატურული, მხურვალმედეგი ბეტონის დამზადებისათვის რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა.

**ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა.** მდგომარეობს შემდეგში: მიღებულია მხურვალმედეგი ბეტონი ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე, რომელიც გამოიყენება მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე ღუმელების ცეცხლგამძლე ამონაგისათვის. ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენების შედეგად შემცირდება გამოშვებული პროდუქციის თვითღირებულება.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომმა აპრობაცია გაიარა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის ტექნოლოგიებისა და საშენი მასალების (N103) დეპარტამენტში 21.04.2016წ

**ნაშრომის პუბლიკაცია.** ნაშრომი ეფუძნება სტუ-ს შრომების კრებულებსა და სტუ-ს საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ყოველკვარტალურ

რეფერირებად და რეცენზირებად სამეცნიერო ჟურნალში სამ სამეცნიერო პუბლიკაციასა და საერთაშორისო კონფერენციაზე წარდგენილ თემას.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** ნაშრომი შედგება სამი თავისაგან: შესავლის - ანალიტიკური მიმოხილვის, ექსპერიმენტალური ნაწილისა და ბეტონის წარმოების შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემისაგან. ნაშრომის მთლიანი მოცულობა 103 გვერდია, მათ რიცხვში: 13 ნახაზი, 20 ცხრილი, 59 დასახელების ლიტერატურა.

### **ნაშრომის შინაარსი**

შესავალში მოცემულია ნაშრომის ზოგადი დახასიათება, თემის აქტუალობა. აღწერილია კვლევის ობიექტი, კვლევის მეთოდები და სამუშაოს სტრუქტურა.

**ანალიტიკური მიმოხილვა.** სამშენებლო ინდუსტრიაში დიდი პროგრესის მიღწევა შესაძლებელია თანამედროვე სამეცნიერო და მაღალგანვითარებული ტექნოლოგიების ბაზაზე, რაც უზრუნველყოფს პროდუქციის მაღალ ხარისხს, ნედლეულის ეფექტურ გამოყენებასა და რესურსების ეკონომიას. ბოლო წლების განმავლობაში მსოფლიო პრაქტიკაში ფართო გამოყენება ჰპოვა სხვადასხვა სახის მხურვალმედემა ბეტონებმა. ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და იაპონიაში მათ ჩაანაცვლეს ძვირადღირებული ცეცხლგამძლე მასალების 60-70%. ამერიკის შეერთებულ შტატებში მხურვალმედეგ ბეტონებს იყენებენ ელექტრორკალურ და სხვადასხვა სახის გამახურებელ ღუმელებსა და ჭებში. იაპონიაში არაფორმირებულმა ცეცხლგამძლე მასალებმა ფართო აღიარება მოიპოვა ნავთობგადამამუშავებელი და ნავთობქიმიური ღუმელების მშენებლობაში, რამაც სტიმული მისცა მოცემული თვისებების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონების დამუშავებას შავი ლითონების წარმოებაში. დღეისათვის შავი მეტალურგია მოიხმარს არაფორმირებული მხურვალმედეგი ბეტონების 40%-ზე მეტს, ახლო მომავალში კი მოსალოდნელია, რომ ამ რიცხვმა

მიაღწიოს 50-70%. იაპონიაში მხურვალმედვე ბეტონებს ამზადებენ თიხამიწოვან, ფოსფატურ და ნატრიუმის სილიკატის შემკვრელებზე.

მხურვალმედვე ბეტონებზე მეცნიერული ცოდნის განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანეს რუსმა მეცნიერებმა: პ.ბუდნიკოვმა; კ.ნეკრასოვმა; ა.ტარასოვამ; ი.გორლოვმა და სხვა. მნიშვნელოვანი კვლევები იქნა ჩატარებული მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში, ვ.კუიბიშევის სახელობის სამშენებლო კონსტრუქციების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, ვ.ქუთათელაძის სახელობის საშენ მასალათა კვლევით ინსტიტუტში და სხვა.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ამიტომ, მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით მოცემული ხარისხის მხურვალმედვე ბეტონის მიღება. ტექნოლოგიური, ეკონომიური, სანიტარულ-ჰიგიენური და დეფიციტურობის პოზიციიდან გამომდინარე, დიდ ინტერესს იჩენენ მხურვალმედვე ბეტონებისადმი სილიკატ-ნატრიუმის სისტემებზე. თხევადი მინა შეცვლილია წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდით, რაც აუმჯობესებს ბეტონის ნარევის ერთგვაროვნებას; გამორიცხავს სილიკატ-ლოდიდან თხევადი მინის მიღების ენერგოტევად ოპერაციას; საშუალებას იძლევა შემცირდეს სადულაბო წყლის რაოდენობა, რაც უზრუნველყოფს სიმტკიცის მომატებას; ამცირებს სილიკატ-ლოდის ხარჯს, რის გამოც მატულობს ბეტონის გამოყენების ტემპერატურა, იძლევა ბეტონის მშრალი ნარევის ცენტრალიზებულად დამზადების საშუალებას, რომლის ტრანსპორტირება შესაძლებელია ნებისმიერ მანძილზე, ხოლო ბეტონი მზადდება უშუალოდ მომხმარებელთან. ამიტომ ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მაღალტემპერატურული მხურვალმედვე ბეტონის მისაღებად არჩევანი გაკეთდა სილიკატ-ნატრიუმის უწყლო შემკვრელებზე.



ექსპერიმენტული ნაწილი-სამუშაოს მომდევნო თავში გადმოცემულია ექსპერიმენტების ჩატარების თანმიმდევრობა, დახასიათებულია გამოყენებული მასალები, ხელსაწყოები და მოწყობილობები, შემკვრელისა და ბეტონის მიღების ტექნოლოგია, მათი ფიზიკურ-მექანიკური და თბოტექნიკური თვისებები.

თეორიულად და ექსპერიმენტულად დასაბუთებულია შემკვრელისა და მხურვალმედეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდის, ვულკანური წიდისა (კარატეპე) და კორუნდის საფუძველზე. ვულკანური წიდა და კორუნდი გამოყენებული იქნა როგორც შემკვრელში, ასევე ბეტონში, რაც განაპირობებს შედგენილობის მცირეკომპონენტურობას, ეს კი, თავის მხრივ, ამარტივებს ტექნოლოგიას. ერთნაირი ნივთიერი შედგენილობა იძლევა იმის გარანტიას, რომ ტემპერატურის ცვლილებისას საკონტაქტო ფენებში შინაგანი დამაბულობები არ იქნება დიდი, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის მასალის თერმომდგრადობას. სილიკატ-ლოდისა და კარატეპესაგან დამზადებულმა ნიმუშებმა თერმოდამუშავების შემდეგ აჩვენა მაღალი სიმტკიცე, მაგრამ მაღალ ტემპერატურაზე ხდებოდა მათი გაღობა და ჩაჯდომა, რაც გამოწვეული იყო მასალაში ტუტის რაოდენობით, რომელიც ნარევიში შეჰქონდა სილიკატ-ლოდს და, ნაწილობრივ, ვულკანურ წიდას. ცეცხლგამძლეობის გაზრდის მიზნით საჭირო გახდა კორუნდის დამატება, რომელიც დადებით გავლენას ახდენს მხურვალმედეგი ბეტონების საექსპლუატაციო მაჩვენებლებზე, რაც აღნიშნულია ბევრი ავტორის ნაშრომშიც. კორუნდი ზრდის სიმტკიცეს, ცეცხლგამძლეობას და ამცირებს ჯდენას. იგი წარმოდგენილია მულიტის კრისტალური ფაზით და კრისტობალიტით. კორუნდის შედგენილობაში არსებული ალუმო-სილიკატური მინა არის ქიმიურად არამდგრად მდგომარეობაში. იგი ტუტე გარემოში აქტიურდება და მონაწილეობს მეტად მდგრადი ალუმო-

სილიკატური ნაერთების წარმოქმნაში, რასაც სისტემა მიჰყავს ცეცხლგამძლეობის მომატებამდე. ასევე, აღსანიშნავია, ვულკანური წილის - კარატეპეს მაღალფორიანობა, რაც, თავის მხრივ, აუმჯობესებს მასალის თბოფიზიკურ თვისებებს, ასევე კომპონენტები, რომლებიც შედიან წილის შედგენილობაში – CaO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; MgO და სხვა, მაღალ ტემპერატურებზე სილიკატ-ლოდის აქტიურ კაჟმიწასთან წარმოქმნიან ცეცხლგამძლე ნაერთებს: 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>; CaO·SiO<sub>2</sub>; MgO·SiO<sub>2</sub>.

ამიტომ, ცეცხლგამძლე შემკვრელისა და მაღალტემპერატურული მხურვალმდეგი ბეტონის მისაღებად შეირჩა შემდეგი ნედლეული მასალები: ვულკანური წიდა-კარატეპე (მისი საბადოები არის საქართველოში ნინოწმინდიდან 21 კმ-ის დაშორებით), სილიკატ-ლოდი (მინის წარმოების ნარჩენი) და ცეცხლგამძლე დანამატად კი ელექტროდნობადი კორუნდი. მათი ქიმიური შედგენილობები მოცემულია ცხრილში №1

### გამოყენებული ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა

ცხრილი №1

ნედლეულის დასახელება	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	ბ. დ
სილიკატ-ლოდი	70,6	2,25	1,05	7,13	0,77	1,1	9,14	6,76		1,2
კარატეპე	57,7	19,78	5,03	8,88	4,68	0,16	1,53	1,14		1,1
კორუნდი	0,8	97	0,1	0,5	0,5		1,0		0,1	

მრეწველობა სილიკატ-ლოდს უშვებს სილიკატური მოდულით 2,6–3,0. სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიციური შემკვრელის მისაღებად აქტიური კომპონენტის სახით გამოვიყენეთ სილიკატ-ლოდი სილიკატური მოდულით 2,85.

კომპოზიციური შემკვრელის დამუშავება ეფუძნება შემდეგ გარემოებებს:

- კომპოზიციური შემკვრელის თვისებები ძირითადად ვლინდება მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის ხარჯზე სილიკატ-ლოდის ზედაპირული ფენის გახსნისას, რომელთა სიმტკიცე დამოკიდებულია მათი წარმოქმნის პირობებზე.
- კომპოზიციური შემკვრელის ძირითადი თვისებები დამოკიდებულია: სილიკატ-ლოდის რაოდენობაზე, ცეცხლგამძლე კომპონენტის სახეზე, დაფქვის სიწმინდესა და „წყალ-შემკვრელის“ თანაფარდობაზე.
- კომპოზიციურ შემკვრელზე მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა სამუშაო ტემპერატურაზე პირველადი გახურებისას მასში წარიმართება სისტემის ისეთი გამამარტივებელი პროცესები - ფიზიკურ-ქიმიური მოვლენები, რომლებიც კონტაქტურ ზონებში თან ახლავს ცეცხლგამძლე წარმონაქმნებს მასალების მოცულობების არსებითი ცვლილების გარეშე.

სისტემაში - „სილიკატ-ლოდი და წვრილად დაფქვილი კომპონენტი“ მტკიცე მწებავი კონტაქტების წარმოსაქმნელად დაცული უნდა იქნას შემდეგი საყოველთაოდ ცნობილი პირობები: წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდის ნაწილაკები თანაბარად უნდა გადანაწილდეს ასევე წვრილად დაფქვილ ცეცხლგამძლე კომპონენტში; უნდა მოხდეს სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების გაწყლოვანება მათ ზედაპირებზე თხელი აპკის წარმოსაქმნელად და შეიქმნას პირობები ადჰეზიისათვის; ნარევის შემკვრივების შემდეგ უნდა მოხდეს მისი სითბური დამუშავება სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების შემდგომი გახსნის, მწებავი კონტაქტების გაზრდისა და სისტემის საბოლოო გაუწყლოვნების მიზნით.

შემკვრელის ოპტიმალური შედგენლობის განსაზღვრისათვის მზად

დებოდა კუბები ზომებით 5x5x5სმ ნედლეულის სხვადასხვა შედგენილობებით, ისაზღვრებოდა  $R_{კუმ.}$ -სიმტკიცე კუმშვაზე 200C<sup>0</sup>-ზე გამოშრობის შემდეგ და სიმტკიცე 1650C<sup>0</sup>-ზე გამოწვის შემდეგ. ამასთანავე ისაზღვრებოდა მათი ცეცხლგამძლეობაც. მიღებული შედეგების საფუძველზე ოპტიმალურად ჩაითვალა შემდეგი პროცენტული შედგენილობა - სილიკატ-ლოდი : კორუნდი : კარატეპე - 15:25:60; ამ დროს 200C<sup>0</sup>-ზე გამოშრობის შემდეგ სამონტაჟო სიმტკიცე  $R_{კუმ.}=43$ მგპა, ხოლო 1650C<sup>0</sup>-ზე გამოწვის შემდეგ სიმტკიცე  $R_{კუმ.}=40$ მგპა; ცეცხლგამძლეობა - 1850C<sup>0</sup>, რაც სრულებით საკმარისია იმისათვის, რომ ამ შემკვრელის საფუძველზე მივიღოთ მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი, რომლის გამოყენების ტემპერატურა იქნება 1950C<sup>0</sup>.

შემკვრელის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დაფქვის ხარისხი. შემკვრელის კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედების ინტენსიურობის ასამაღლებლად საჭიროა გაიზარდოს რეაგირებადი ფაზების საკონტაქტო ზედაპირების ფართობები. ამ პროცესის დასაჩქარებლად საჭიროა გამოყენებული მასალების მარცვლების ზედაპირების ზომების შემცირება. მარცვლების ხვედრითი ზედაპირების გაზრდით იზრდება ნიმუშების სიმტკიცე. კვლევისას სიმტკიცის ინტენსიური ზრდა შეინიშნებოდა, როცა მასალების  $S_{ზვ}=3000$  სმ<sup>2</sup>/გ, ხოლო შემდგომი დაწვრილმანება უმნიშვნელოდ ზრდიდა სიმტკიცეს, დაფქვის ხანგრძლივობის გაზრდა კი იწვევდა ზედმეტი ელექტროენერგიის ხარჯვას, ამიტომ ხვედრითი ზედაპირი შევარჩიეთ  $S_{ზვ}=3000$  სმ<sup>2</sup>/გ.

სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობაზე, დამოკიდებულია წებვადი კონტაქტების წარმოქმნა, რაზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამოკიდებულება „წყალი/შემკვრელი“. სიმტკიცის მაქსიმუმი მიღებული იქნა, როცა ეს თანაფარდობა იყო 0,2 „წყალი/შემკვრელი“ -ის თანაფარდობის

შემცირება იწვევს შემადგენელი კომპონენტების გაუწყობას და არასაკმარისი წებვადი კონტაქტების წარმოქმნას.

სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ტემპერატურა და წყალთან ურთიერთქმედების დრო, ასევე არსებითი მნიშვნელობა აქვს შრობის რეჟიმსაც. ცხრილში №2 მოცემულია თერმოდამუშავების სხვადასხვა რეჟიმების გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე.

თერმოდამუშავების რეჟიმების გავლენა შემკვრელის ნიმუშების სიმტკიცეზე  
ცხრილი №2

N	თერმოდამუშავების რეჟიმი	დრო (სთ)	სიმტკიცე კუმშვაზე მგა
1	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1სთ 0,5 სთ 1სთ 0,5 სთ	30
2	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1სთ 1სთ 1სთ 1სთ	34,5
3	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1სთ 1,5სთ 1სთ 2სთ	37,7
4	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1,5სთ 2სთ 1,5სთ 2სთ	40
5	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1,5სთ 2,5სთ 2სთ 2,5სთ	43,5
6	ტემპერატურის აწევა 90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200°C დაყოვნება	1,5სთ 3სთ 2სთ 3სთ	43,8

უნდა აღინიშნოს, რომ 90–95°C–ზე დაყოვნების ხანგრძლივობის გაზრდა (2,5სთ–ზე მეტი) პრაქტიკულად არ იძლევა სიმტკიცის მომატებას. ამიტომ მიღებული შედეგების მიხედვით შეირჩა რეჟიმი 5. ტემპერატურის აწევით 200°C–ზე და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებით მიიღწევა სილიკატ–ლოდის პრაქტიკულად მთლიანად გაუწყლოება, წებვადი კონტაქტები იღებს კოჰეზიურ სიმტკიცეს და ხდება მთელი სისტემის დამონოლითება.

ნაკეთობის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნარევის გამკვრივების მეთოდი და დაყალიბების რეჟიმი. ცხრილში №3 მოცემულია დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმები. მიღებული შედეგების საფუძველზე არჩეული იქნა მესამე რეჟიმი

#### დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმი

ცხრილი №3

დაყალიბების მეთოდი	დაყალიბების რეჟიმი	სიმტკიცე კუმშვაზე მგპა
ვიბრირება მიტვირთვის გარეშე	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ t=60წმ	36
ვიბრირება მიტვირთვით	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ P=0,0015მგპა t=60წმ	40,5
ვიბრირება მიტვირთვით	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ P=0,0015მგპა t=120წმ	44

იმისათვის, რომ გაგვერკვია ტემპერატურული ცვლილებების პირობებში შემკვრელში მიმდინარე პროცესები, ჩატარდა შემკვრელის

ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა. შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში №4.

შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა

ცხრილში №4

შემკვრელის კომპონენტები %-ში	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	N <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ბ. დ
სილიკატ-ლოდი - 15%								
კარატეპე -60%	15,6	60,1	1,5	15,5	2.1	2,4	1,03	1,8
კორუნდი -25%								

ცხრილის მონაცემებით დასტურდება, რომ მაღალცეცხლგამძლე კომპონენტის შემცველობა სისტემაში Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 60,1-%, ხოლო ტუტის 22,53 -%, რაც დადებითად მოქმედებს შემკვრელის თერმომექანიკურ თვისებებზე.

შემკვრელის მიკროსტრუქტურულმა და რენტგენოგრაფულმა კვლევებმა სხვადასხვა ტემპერატურაზე აჩვენა, როგორც მოსალოდნელი იყო, რომ ტემპერატურის გაზრდისას 1000°C, 1100°C, 1200°C, 1400°C-მდე მნიშვნელოვანი ინტენსიურობით წარმოიქმნება მაღალცეცხლგამძლე ნაერთები. შემდგომი გახურებისას 1600°C ტემპერატურამდე, კორუნდის გარდა შეინიშნება ორკალციუმიანი სილიკატი, კალციუმის დიალუმინატი, რომელიც წარმოქმნის წვრილ, ნემსისებურ კრისტალურ აგრეგატებს და მულიტს.

გახურება 1600°C ტემპერატურამდე იწვევს შემკვრელის საბოლოო სტრუქტურისა და ფაზური შედგენილობის ჩამოყალიბებას, ფორიანობის შემცირებას, მულიტისა და კალციუმის დიალუმინატის შემცველობის გაზრდას. ჩატარებულმა ფიზიკურ-ქიმიურმა კვლევებმა აჩვენა, რომ

შემკვრელი არათუ კარგავს პირველსაწყის სიმტკიცეს, როგორც ამას ადგილი აქვს ჰიდრავლიკურ შემკვრელებში არამედ, პირიქით, 20-30%-ით იმატებს.

ამრიგად ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სილიკატ-ნატრიუმის კოპოზიტის „სილიკატ-ლოდი-კარატეპე-კორუნდი“ სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები: დაფქვის სიწმინდე, წყალ-შემკვრელის დამოკიდებულება და სითბური დამუშავების რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს სილიკატ-ლოდის გაღობას, გაუწყლოებას და სისტემის გამყარებას.

მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონის მისაღებად გამოყენებული იქნა იგივე ნედლეული, რაც კომპოზიციურ შემკვრელში. ეს განაპირობებს ბეტონის მცირეკომპონენტის ანობას, რაც, თავის მხრივ, ამარტივებს ტექნოლოგიას, ტექნიკას, ამცირებს საწარმოს სამრეწველოს ფართობს, ამცირებს საწარმოს ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებსა და, შესაბამისად, აიაფებს მიღებულ პროდუქტს.

მხურვალმედეგი ბეტონის თვისებების ფორმირება ხდება შემკვრელში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ზემოქმედებით, როგორც შემკვრელის გამყარების პროცესში, ასევე ბეტონის საექსპლუატაციო ტემპერატურაზე გახურებისას. შემვსებები შემკვრელთან მაღალ ტემპერატურაზე ურთიერთქმედებისას წარმოქმნიან ბეტონის საბოლოო სტრუქტურას და ისინი მოცემულ პირობებში განიხილებიან, როგორც ქიმიურად აქტიური კომპონენტები.

გრანულომეტრიული შედგენილობა არსებით ზეგავლენას ახდენს ცეცხლგამძლე მასალების თვისებებზე. იგი არეგულირებს არა მარტო ჯდენას, არამედ ნაკეთობების ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებსაც, როგორებიცაა სიმტკიცე და თერმომდგრადობა. მხურვალმედეგი ბეტონის მინიმალური ფორიანობა მიიღწევა შემვსების რაციონალური მარცვლოვანი შედგენილობის შერჩევით. დადგენილია, რომ ერთი ფრაქციის მარცვლები



არ იძლევა საკმარისად მკვრივად ჩაწყობის საშუალებას, ამიტომ, როგორც წესი, იყენებენ მრავალფუნქციურ ნარევებს სხვადასხვა ზომის მარცვლებით. ასეთი ნარევები იძლევა თეორიულ შესაძლებლობას მიღწეულ იქნას ბეტონის მინიმალური ფორიანობა, რადგანაც მსხვილი ზომის მარცვლებს შორის სივრცეს შეავსებს უფრო პატარა ზომის მარცვლები. სამუშაოში გამოყენებული იქნა შემვსების შემდეგი გრანულომეტრიული შედგენილობა: მსხვილი ფრაქცია 3-5მმ; საშუალო ფრაქცია 1-1,25მმ; წვრილი ფრაქცია 0,14-0,315მმ;

შეირჩა ბეტონის შემდეგი ოპტიმალურ შედგენილობა:

1. სილიკატ-ლოდი ხვედრითი ზედაპირით  $S=3000 \text{ სმ}^2$  - 3%
2. ვულკანური წიდა - „კარატეპე“ -12%
3. კორუნდი - 5%
4. შემვსები (კარატეპე, კორუნდი) -80%

სადულაბე წყლის რაოდენობა, ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს ნარევის ადვილჩაწყობადობის უზრუნველსაყოფად. სასურველია ბეტონში იყოს იმდენი წყალი, რამდენიც შექმნის საუკეთესო პირობებს სილიკატ-ლოდის გასახსნელად.

სადულაბე წყლის რაოდენობის გაზრდას, როგორც სხვა ტიპის ბეტონებში, ასევე, ამ შემთხვევაშიც, თან ახლავს ჯდენითი დეფორმაციებისა და ფორიანობის მომატება, შესაბამისად კი, სიმტკიცის კლება.

სადულაბე წყლის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად წყლისა და შემკვრელის სხვადასხვა თანაფარდობებით დამზადდა  $10 \times 10 \times 10 \text{ სმ}$  ზომის ბეტონის ნიმუშები, მოხდა მათი ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით, თერმული დამუშავება და შემდგომ გამოცდა სიმტკიცის ზღვარის დასადგენად კუმშვაზე. საუკეთესო მაჩვენებელი ჰქონდათ ნიმუშებს, როცა წყლისა და შემკვრელის თანაფარდობა იყო 0,32-0,35, სწორედ ეს თანაფარდობა ჩავთვალეთ ოპტიმალურად.

ბეტონის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს არევის რეჟიმი და ხანგრძლივობა. ბეტონის ერთგვაროვნება უარესდება თუ სწორად არ იქნა დადგენილი მორევის ხანგრძლივობა, აქედან გამომდინარე მცირდება მისი სიმტკიცე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მივალწიოთ მასის ერთგვაროვნებას მხურვალმედევ ბეტონში, რადგან სტრუქტურის არაერთგვაროვნება არსებითად მოქმედებს ცეცხლგამძლეობაზე და თერმომექანიკურ თვისებებზე. შემვსების მარცვლებისა და კომპოზიციური შემკვრელის თანაბარი გადანაწილება ხელს უწყობს მწებავი კონტაქტების მაქსიმალური რიცხვის წარმოქმნას.

ბეტონის არევის რეჟიმის შესარჩევად შესაწავლილი იქნა ოთხი სხვადასხვა რეჟიმი:

**რეჟიმი I** – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა ერთდროულად წყალთან ერთად და არევა – 3–4წთ;

**რეჟიმი II** – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა, არევა მშრალად 1-2წთ, 30% წყლის მიწოდება და არევა –1წთ, დარჩენილი წყლის დამატება და არევა – 2–3წთ;

**რეჟიმი III** – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა ერთდროულად, მშრალად არევა – 3–4წთ, წყლის დამატება და არევა – 4–5წთ;

**რეჟიმი IV** – შემვსების წვრილი ფრაქციისა და შემკვრელის ერთობლივი ჩატვირთვა, არევა მშრალად – 2–3წთ, შემვსების მსხვილი ფრაქციის დამატება და არევა – 2წთ წყლის დამატება და საბოლოო არევა-3წთ.

განსხვავებული რეჟიმებით დამზადდა ნიმუშები ზომებით 10x10x10სმ, მოხდა მათი თერმოდამუშავება, რის შემდეგაც განისაზღვრა ნიმუშების

სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე. მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ცხრილში №5

ცხრილიდან ჩანს, რომ თანაბარი სტრუქტურების მისაღებად აუცილებელია შემკვრელი გულდასმით გადანაწილდეს ჯერ წვრილ ფრაქციაში და შემდეგ წვრილი ფრაქცია გადანაწილდეს საშუალო ფრაქციაში, ბოლოს კი აირიოს წყალთან ერთად. ამიტომ საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცის მაჩვენებლების მიხედვით ყველაზე მისაღები იყო ბეტონის ნარევის მომზადების IV რეჟიმი.

**ბეტონის ნარევის მომზადების რეჟიმის გავლენა საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეზე მათი 200°C ტემპერატურაზე თერმოდამუშავების შემდეგ**

ცხრილი №5

კომპონენტების არევის რეჟიმი	საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცე მათი 200°C თერმოდამუშავების შემდეგ(მგპა)
რეჟიმი I	არა ნაკლებ 25
რეჟიმი II	არა ნაკლებ 28
რეჟიმი III	არა ნაკლებ 30
რეჟიმი IV	არა ნაკლებ 35

ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბეტონის ნარევის შემკვრივების მეთოდი და დაყალიბების პარამეტრები. სიმტკიცის დასადგენად გამოიყენება ერთნაირი შედგენლობების, მაგრამ განსხვავებული მეთოდებით დაყალიბებული ნიმუშები. კვლევების შედეგები მოყვანილია ცხრილში №6.

**ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცის დამოკიდებულება ვიბროდაყალიბების  
პარამეტრებზე**

ცხრილი №6

დაყალიბების მეთოდი	ვიბრირების პარამეტრები	მიტვირთვის დადების დრო	სიმტკიცე მგპა (200°C) გამოშრობ ის შემდეგ	სიმტკიცე მგპა (1850°C) გამოწვის შემდეგ
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვის გარეშე	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ	-	18	20,2
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,15 მმ t=60 წმ P=0,0015 მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	25	28,6
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=90 წმ P=0,0025 მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	27,5	33
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015 მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	31,2	36,5
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015 მგპა	20 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	35	40
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015 მგპა	30 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	34,5	39

ოპტიმალურად მიჩნეულ იქნა რეჟიმი 5. მოცემულ შემთხვევაში 20 წმ-იანი თავისუფალი ვიბრირებისას, კარგად იშლება ბეტონში შემთხვევით წარმოქმნილი სტრუქტურები და თავისუფლად ამოდის მასში არსებული

ჰაერი, ხოლო შემდგომი მიტვირთვა ხელს უწყობს დასაყალიბებელი ნარევის ეფექტურ შემკვრივებას. ამასთან ერთად უმჯობესდება კონტაქტი შემკვრისა და სილიკატ-ლოდის მარცვლებს შორის.

კიდევ უფრო იზრდება და მყარდება ეს კონტაქტები სითბური დამუშავების დროს. შერჩეულ იქნა შრობის რაციონალური რეჟიმი და ოპტიმალურად მიჩნეულ იქნა შემდეგი:

ტემპერატურის აწევა-90-95°C-მდე -----1სთ  
დაყოვნება-----1სთ  
ტემპერატურის აწევა-200°C-მდე -----1სთ  
დაყოვნება-----1სთ

მიღებული მხურვალმედეგი ბეტონის თერმომექანიკური და თბოფიზიკური თვისებების დასადგენად გამოყენებულია სახელმწიფო სტანდარტით რეგლამენტირებული მეთოდები.

სილიკატ ნატრიუმის კომპოზიციური შემკვრელის საფუძველზე მიღებული მაღალტემპერატურული თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის თვისებები მოცემულია ცხრილში №7

**სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიციური მჭიდაზე დამზადებული თბო-საიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის თვისებები**

ცხრილი №7

სიმკვრივე		
200°C-ზე გამოშრობის შემდეგ	გ/სმ <sup>3</sup>	2,45
1850°C-ზე გამოწვის შემდეგ		2,4
სიმტკიცე კუმშვაზე	მგპა	35
200°C-ზე გამოშრობის შემდეგ		
სიმტკიცე კუმშვაზე	მგპა	40
1850°C-ზე გამოწვის შემდეგ		

ცეცხლგამძლეობა	$^{\circ}\text{C}$	1950
თერმომდგრადობა	თბოცვ.რიცხვი	25-27
თბოგამტარობა	$\text{ვტ/მკ}^{\circ}\text{C}$	1,14
350 $^{\circ}\text{C}$ -ზე		0,96
610 $^{\circ}\text{C}$ -ზე		0,89
800 $^{\circ}\text{C}$ -ზე		
ფორიანობა	%	
200 $^{\circ}\text{C}$ -ზე გამოშრობის შემდეგ		15,5
1850 $^{\circ}\text{C}$ -ზე გამოწვის შემდეგ		16,2
დეფორმაციის საწყისი ტემპ.	$^{\circ}\text{C}$	1520
4%-იანი დეფორმაციის ტემპ.		1560
40%-იანი დეფორმაციის ტემპ.		1580
ხაზობრივი თერმული გაფართ. კოეფიცი.	$10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	
პირველად გახურებისას		9,3
მეორადი გახურებისას		6,2
გამოყენების მაქსიმ. ტემპერატურა	$^{\circ}\text{C}$	1950
მხურვალმედეგი ბეტონის კლასი		18

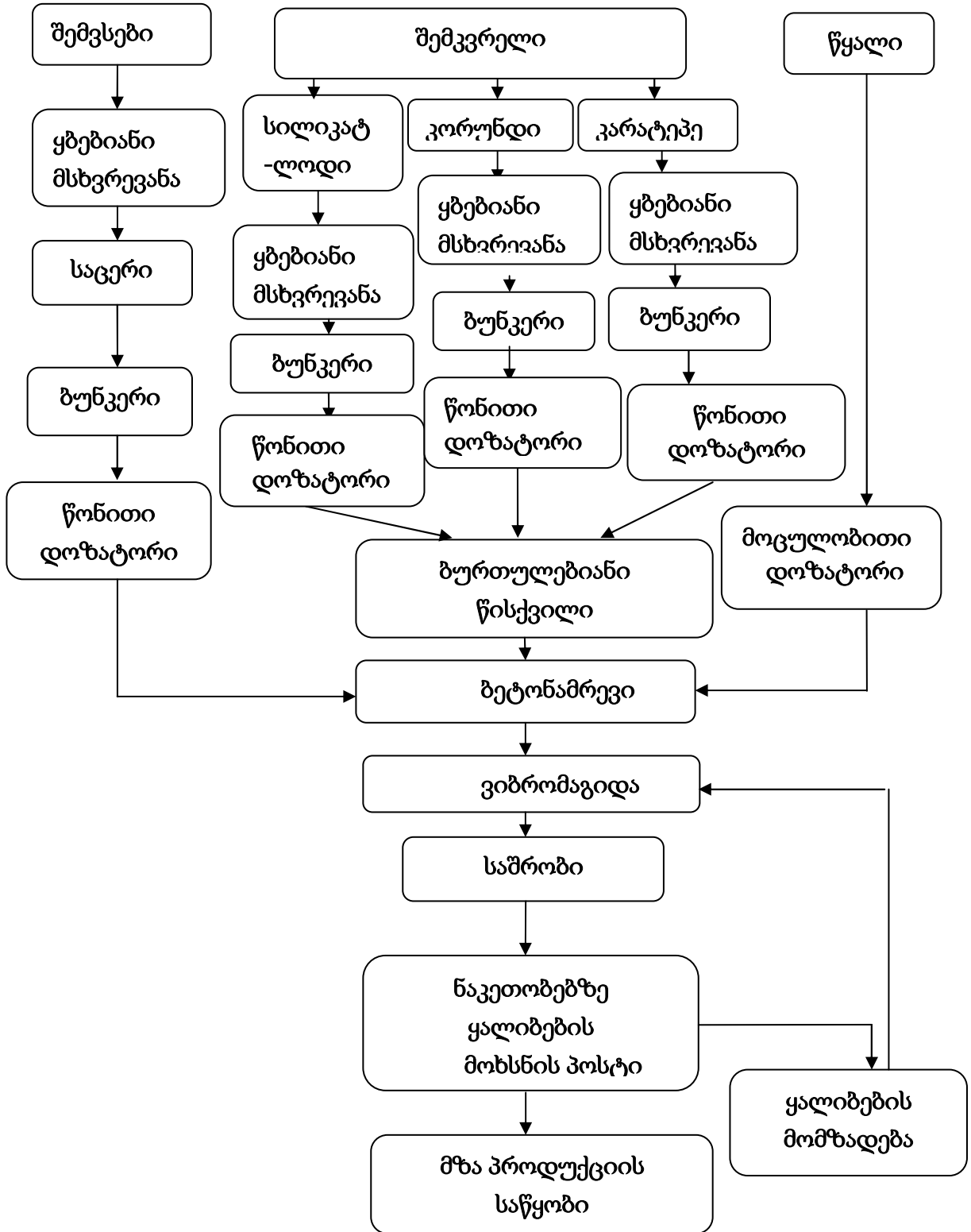
თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის ტექნოლოგიური სქემა (ნახაზი1.) მეტად მარტივია და მოცავს შემდეგ ოპერაციებს.

1. ნედლეული მასალების მომზადება:
  - დამსხვრევა;
  - შემკვრელის ყველა კომპონენტის ერთობლივი დაფქვა ხვედრითი ზედაპირის მისაღებად  $S_{\text{ფ}} = 3000 \pm 10 \text{ მ}^2/\text{გ}$ ;
  - შემვსების გაცრა ფრაქციების მიხედვით: 5-3მმ; 1,25-1,0მმ; 0,315მმ და ნაკლები;
2. ნედლეული მასალების დოზირება წონითი დოზატორით;
3. ბეტონის ნარევის მომზადება;

4. ბეტონის ნარევის დაყალიბება ვიბრირებით მიტვირთვისას;
5. განყალიბებული ნაკეთობების დაბალტემპერატურული თბო-  
დამუშავება 200°C-მდე

# საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა

ნახ.1





## ძირითადი დასკვნები:

1. სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ შემკვრელზე მიღებულია ახალი სახის მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი, რომლის გამოყენების ტემპერატურაა 1950°C;
2. მიღებულია შემკვრელი სილიკატ-ლოდის, ვულკანური წიდის-კარატეპესა და კორუნდის საფუძველზე, შემდეგი პროცენტული თანაფარდობებით: სილიკატ-ლოდი:კორუნდი:კარატეპე - 15:25:60. შემკვრელის თერმომექანიკური თვისებები დამოკიდებულია შემდეგ ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე: კომპონენტების პროცენტულ შედგენილობაზე, დისპერსულობის ხარისხზე, წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაზე და შრობის რეჟიმზე. მიღებული შემკვრელის თვისებების მაჩვენებლებია: სიმტკიცე შრობის შემდეგ - 42-44-მგპა, სიმტკიცე მაღალ ტემპერატურაზე გამოწვის შემდეგ - 40-42-მგპა, ცეცხლგამძლეობა კი - 1850°C. მიღებული შემკვრელი საშუალებას იძლევა, რომ მის საფუძველზე მიღებული იქნას მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი;
3. დადგენილია, რომ სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობაზე გავლენას ახდენს მისი დისპერსულობის ხარისხი და  $H_2O:Na_2SiO_3$  თანაფარდობა. მოცემულ შემთხვევაში შემკვრელის მაღალი აქტივობა შეიმჩნევა, როდესაც კომპოზიტის შემადგენელი კომპონენტების ხვედრითი ზედაპირი  $S_{\Sigma}=3000$  სმ<sup>2</sup>/გ, ხოლო „წყალი/შემკვრელი“-ის თანაფარდობა არის 0,2;
4. ფიზიკურ-ქიმიური კვლევების შედეგებმა აჩვენა, რომ კომპოზიტში შემავალი კომპონენტები უზრუნველყოფენ, მაღალი ცეცხლგამძლე ნაერთების წარმოქმნას მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას. ამ ტემპერატურებზე მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების

შედეგად წარმოიქმნება ისეთი ცეცხლგამძლე ნაერთები როგორებიცაა: კალციუმის, მაგნიუმის სილიკატები და მულიტი.

5. დადგენილია დამოკიდებულება შემვსების გრანულომეტრული შედგენილობისა და ბეტონის ისეთ თვისებებს შორის, როგორიცაა სიმკვრივე, სიმტკიცე, თერმომდგრადობა და სხვა. შეირჩა შემვსებების გრანულომეტრიული შედგენილობა - მსხვილი ფრაქცია 3-5 მმ; საშუალო ფრაქცია 1-1,25; წვრილი ფრაქცია 0,14-0,315მმ;
6. ბეტონის სიმტკიცე და მაღალი თერმომექანიკური მაჩვენებლებლები მიიღწევა, როდესაც შემკვრელი ბეტონში არის 20%. ბეტონის სიმტკიცესა და სიმკვრივეზე გავლენას ახდენს არევის რეჟიმი და დაყალიბების მეთოდი. საუკეთესო მაჩვენებლები შეესაბამება ბეტონის ნარევს, როდესაც წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაა - 0,32, ხოლო ნიმუშების დაყალიბება მოხდა შემდეგი პარამეტრებით: რხევის სიხშირე -  $f=50\text{ჰც}$ , რხევის ამპლიტუდა  $A=0,25\text{მმ}$ ,  $P=0,0015\text{მგპა}$  მიტვირთვა 20 წამის თავისუფალი ვიბრირების შემდეგ. ვიბრირების მთლიანი დრო  $t=120\text{წმ}$ ;
7. დადგენილია, რომ შემკვრელისა და შემვსების ერთნაირი ქიმიური შედგენილობა განაპირობებს მაღალი ტემპერატურების ცვლილებებისას საკონტაქტო ფენებში შინაგანი დაძაბულობები შემცირებას, რაც გაზრდის ნაკეთობის თერმომდგრადობას. ბეტონის მცირეკომპონენტიაანობა კი ამარტივებს ტექნოლოგიას და ამცირებს ნაკეთობის თვითღირებულებას.

### ლიტერატურა:

1. ბუდნიკოვი პ.პ.; ბერეჟნოი ა.ს; ბულავინი ი.ა.; კალიგა გ.პ.; კუკოლევი გ.ვ.; პოლუბოიარინოვი დ.ნ. - კერამიკისა და ცეცხლგამძლეების ტექნოლოგია „განათლება“ თბილისი 1974წ.
2. Айлер Р. – Химия кремнезема /пер. с англ- М. Мир 1982 г.-416 стр/
3. Айлер Ю.Н., Маркова Е.В. Плановский Ю.В. – Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений Москва Наука 1971 г.-/286 стр/
4. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян.-Термодинамика силикатов Москва. Стройздат -1972 г. /стр. 351/;
5. Баженов Ю.М. –Технология бетона –Москва, АСВ 2007г, /528 стр/;
6. Будников П. П. Полубояринова Д.Н – Химическая технология керамики и огнеупоров. Москва.1972г
7. Буров В.Ю. – Жаростойкие бетоны для футеровки зоны спекания цементных вращающихся печей – Авторефер. Москва, АСВ 1994г, /31 стр/;
8. Воицкий С.С. – Курс коллоидной химии Москва. Химия -1975 г. /стр. 511/;
9. Глуховский В.Д. – Грунтосиликаты. Киев. Госстройиздат УССР -1959 г. /стр. 126/;
10. Глуховский В.Д. – Щелочные щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны- Высшая школа 1979 г. /стр. 225/;
11. Гогоци Г.А.; Гдушевский Я.Л. – Классификация огнеупоров по характеру хрупкости и оценка их термостойкости – Огнеупоры 1978г. №4 /стр. 48-52/;
12. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Зейфман и др – Свойство и испытание огнеупорных бетонов новых типов – Огнеупоры 1981г. №4 /стр. 47-48/;
13. Горлов Ю.П.; Меркин А.П; Устенко – Технология теплоизоляционных материалов Москва. Стройздат -1980 г. /стр. 390/;
14. Горлов Ю.П. – Лабораторный практикум по технологий тепло-изоляционных материалов - Москва Высшая школа -1982 г. /стр. 236/;

15. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Буров В.Ю. и др – А.сб. №1102783 Бетонная смесь – Б.И.1984г. №26/стр. 57/;
16. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Зейфман М.И.; Тотурбиев Б.Д. – Жаростойкие бетоны на основе из природных и техногенных стекол. 1992г.
17. Горчаков Г.И. – Строительные материалы. Москва Высшая школа1981г. /стр. 415/;
18. Дантбеков А.М. Мелкозернистый жаростойкий, цирконовый бетон на вулканическом стекле. Автореферат канд. диссертаций. Москва 1983г. /стр. 20/;
19. Деменков Д.Я., Чеченев В.А., Тотурбиев Б.Д. и др. Модернизация методических печей ЛНЦ-1700 – Металлургия, 1985г. №3 /стр. 31-33/;
20. Драгоман Н; Камерман; Бардеян Д. – Футировка из огнеупорного бетона печей для обжига пирита – Огнеупоры 1977г. №1 /стр. 50-61/;
21. Жуков А.В. Тенденция развития производство огнеупоров за рубежом- реферат- Огнеупоры №7 1978 г / стр.54-59/
22. Инструкция по технологий приготовления и применение жаростойких бетонов – СН. -78 Москва Госстрой СССР -1978г. /стр. 75/;
23. Икамура Я. Огнеупоры и их применение (перевод с японского) Москва.1982 г И / стр.290/
24. Каинарский И.С. –Процессы технологий огнеупоров. Москва. Metallurgia 1969 г И / стр.350/
25. Кашеев И.В. – Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок – Справочное издание: В двух книгах. Кн. 1 Производство огнеупоров Москва Интермет Инжинеринг 2000г /663 стр/
26. Кашеев И.В ; Грищенкова Е.Е.; – Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок – Справочное издание: В двух книгах. Кн. 2 Служба огнеупоровМосква Интермет Инжинеринг 2002г /656 стр/

27. Кащеев И.В – Огнеупоры : материалы, изделия, свойства и применение – Каталог-справочник издание: В двух книгах. Кн. 1 Теплоэнергетик 2003г /336 стр./
28. Кащеев И.В – Огнеупоры : материалы, изделия, свойства и применение – Каталог-справочник издание: В двух книгах. Кн. 2 Теплоэнергетик 2003г /320 стр./
29. Комиссаренко Б.С.; Мизуряев С.А.; Жигулина А.Ю. – Модифицированные жидкостекольные системы как основа для жаростойкого заполнителя Строительные материалы №10 2001г /27-28 стр./
30. Конструкций футировок и промышленные методы тепловых агрегатов. Материалы всесоюзной научно-технической конференции Днепропетровск 1984г. 11-13 сентября
31. Корнеев В.И., Данилов В. В. - Растворимое и жидкое стекло – Стройиздат, 1996 г./25 стр./
32. Мантуров З.А. – Исследование дилатометрических и основных теплофизических свойств безобжигового жаростойкого теплоизоляционного материала- Вестник ДГТУ №10 2010г /50-58 стр./
33. Некрасов, К.Д., Тарасова А.П. - Жароупорный химически стойкий бетон на жидком стекле. Москва- Госхимиздат 1959г ./150-стр./
34. Некрасов, К.Д., Тарасова А.П. - Жаростойкие бетоны на жидком стекле с различными добавками. В сборнике Жаростойкие бетоны. Москва- Стройиздат 1964г ./2-22 стр./
35. Огнеупорный бетон армированный волокнами из коррозионной стали Черметинформация. Сер.-Новости черной металлургии за рубежом Москва. 1977 г №64-И / стр.20-21/

36. Очагова И.Г. Самченко В.И. Состояние и перспективы развития огнеупорной промышленности США. Япония. ФРГ. - реферат- Огнеупоры №7 1984 г / стр.56-61/
37. Пашенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. – Вяжущие материалы Киев. Высшая школа 1975 г / стр.420/
38. Пивинский Ю.Е. – Неформованные огнеупоры справочное издание В двух книгах. Кн. 1 Общие вопросы технологий Москва Теплотехник, 2004г /448 стр./
39. Писаренко Л.П., Поспелова К.А., Яковлева А.Г. – Курс коллоидной химии. Москва Высшая школа –1989г. /стр. 77-130/;
40. Стрелов К.К. – Теоретические основы технологий огнеупорных материалов Москва Metallurgy –1985г. /стр. 480/;
41. Стрелов К.К. – Структура и свойства огнеупоров. Москва Metallurgy – 1982г. /стр. 208/;
42. Тарасова А .П. – Растворимое стекло как вяжущее жаростойкого бетона – Бетон и железобетон. 1972г №2 -/12-15 стр/
43. Тарасова А .П. – Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе – Москва.1985г
44. Тотурбиев Б.Д., Горлов Ю.П., Ахмедханова А.Э. и др. А.св.№1102785 бетонная смесь Б.И. 1984г. №26. /57 стр/
45. Тотурбиев А.Б. – Жаростойкое композиционное вяжущее на полисиликатах /Бетон и железобетон 2012 г. N3 -/5-8 стр/
46. Тотурбиев Б. Д. – Строительные материалы на основе силикат-натриевых Композиций. – Москва Стройздат -1988 г.-/208 стр./
47. Тотурбиев Б.Д.; Порсуков А.А. – Корундовый жаростойкий бетон с повышенными эксплуатационными свойствами –Бетон и железобетон №4 2006г, /13-15 стр/;

48. Тотурбиев Б.Д.; Порсуков А.А. – Жаростойкое композиционное вяжущее –Бетон и железобетон №3 2006г, /12-16 стр/;
49. Хежев Т.А.; Хежев Х.А. – Эффективные огнезащитные составы на пористых заполнителях – Вестник ВолГАСУ Стр-во и архитю 2010 Вып 17 (36) /70-73 стр/;
50. Хлыстов А.И.; Коренькова С.Ф.; Шеина Т.В. – Применение жаростойкого бетона на основе силикатно-натриевого вяжущего –Бетон и железобетон №9 1992г, /17-19 стр/;
51. Хлыстов А.И.; Божко А.В.; Соколова С.В.; Рязов З.Т. – Повышение эффективности и улучшение качества футеровочных конструкций из жаростойкого бетона –Огнеупоры и техническая керамика №3 2004г, /26-31 стр/;
52. Banerjee S. - Monolithic refractories. Singapore-New Jersey-London-Hong-Kong: World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 1998. / 311 p/
53. Nahashi H Tsuno M. Hayaishi M. - Used refractories recycle technology in melting shop // Taikabutsu- Refractories. 2000. V 52 No 4, 178-184.
54. Nishkawa A. - Technology of monolithic refractories Plibrico Japan Comp Ltd Tokyo. 1996. 598 p
55. Ruelle I. Richez G. - Refractory Supplier plays a key roll in furnace construction // 7 Glass 2000 V 77 No. 5 Pp 144-145.
56. Jshikawa M. Taoka K. - Energy and Resource Saving and Dusty Environment in Monolithic Refractones // Taikabutsu-refractories 2000 V 52 No. 4 Pp.234-239.
57. Die fouerfest –ihdustrie – Contin.Stohlmarkt,1980 N5 /s.269-277/
58. Petzold A. Ulbricht J. Feuerbeton und betonartige feuerfeste Masse und Materialien. Deutcher Veriag fur Grundstoffindustrie. Leipzig-Stuttgart. 1994. 322p

59. Henglein F. Reiter. Untersuchungen über Kolkgebundene dampfgehärtete Kunstesteine. Beiheft TIZ, 1955 s. 48