

Ա.Ա. Անտոնյան,

Ա.Մ. Ասիրյան

ՏԵՂԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՎ ՄՈՂԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ԲԱՐՁՐԱՄՈՒՐ ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներկայացվում է միկրոսիլիկահողով բարձրամուր բետոնի ստացումը, միկրոսիլիկահողի՝ որպես մոդիֆիկացնող հավելանյութի ազդեցությունը ցեմենտաքարի կառուցվածքի ձևավորման վրա: Տրված են հավելանյութի առավել արդյունավետ ծախսերը: Ուսումնասիրությունները կատարվել են տեղական նյութերի վրա, ինչը կարող է գործնական նշանակություն ունենալ:

Առանցքային բառեր. բարձրամուր բետոն, միկրոսիլիկահող, մոդիֆիկացում, պորտլանդիտ, կալցիումի հիդրոսիլիկատ:

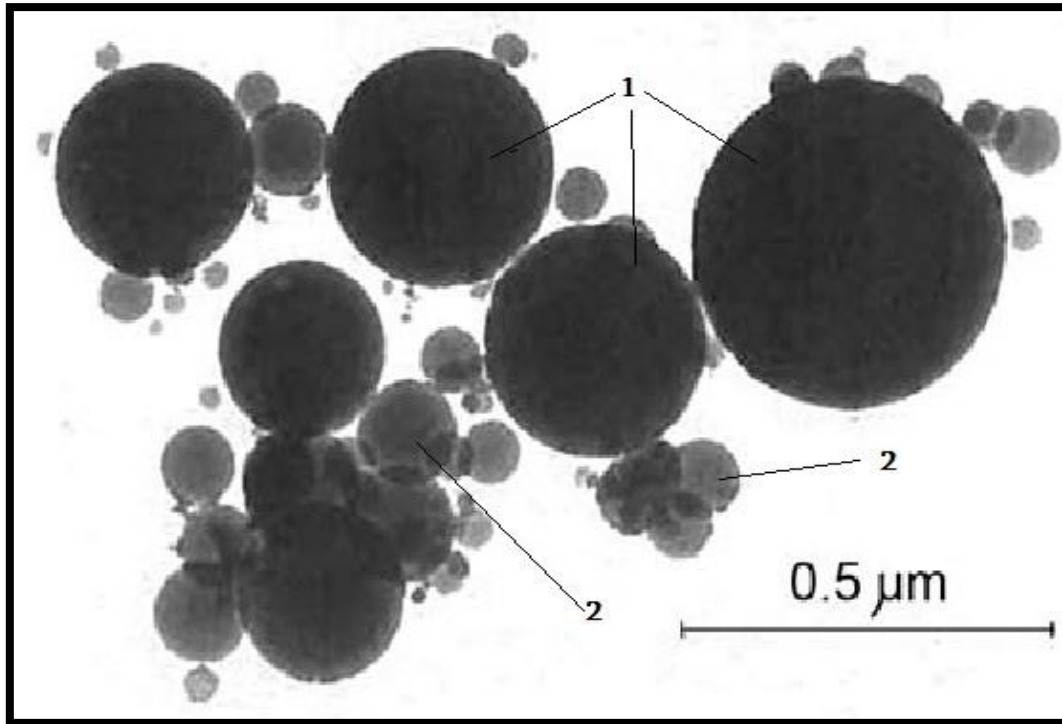
Բետոնի տեխնոլոգիայի զարգացման ռետրոսպեկտիվ դիտարկումը ցույց է տալիս, որ վերջին 60 տարվա ընթացքում բետոնի միջին ամրությունը մեծացել է երեք անգամ ցեմենտների միևնույն մակնիշների կամ դրանց ակտիվության աննշան մեծացման դեպքում: Դա հնարավոր դարձավ էֆեկտիվ քիմիական և դիսպերս հանքային հավելանյութերի օգտագործման շնորհիվ, որոնք թույլ տվեցին ստանալ ինչպես բարձր ամրության, այնպես էլ այլ բարձր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված բետոններ:

Ընդունված է քիմիական համարել այն հավելանյութերը, որոնք բետոնային խառնուրդ ներմուծվում են սովորաբար մինչև 1...2% ըստ ցեմենտի ծախսի, իսկ դիսպերս հանքային հավելանյութերը ներմուծվում են սովորաբար ոչ պակաս, քան 5 % ըստ ցեմենտի ծախսի: Հավելանյութերի նման բաժանումը, ինչպես նաև ընդունված տերմինաբանությունը պայմանական են, քանի որ մի շարք քիմիական հավելանյութեր կարող են պարունակել առանձին հանքանյութեր, իսկ որոշ հանքային հավելանյութեր կարող են լինել քիմիական նյութեր: Քիմիական հավելանյութերի ազդեցությունը տեղական նյութերով պատրաստված բետոնային խառնուրդների և բետոնների վրա ուսումնասիրվել են մեր, ինչպես նաև այլ հետազոտողների կողմից [1-3]: Դիտարկենք դիսպերս հանքային հավելանյութ միկրոսիլիկահողի (микрокремнезем, silica fume) հիման վրա տեղական նյութերով բարձրամուր բետոնի ստացման տեխնոլոգիան:

Ժամանակակից բարձրամուր բետոնները դասվում են բարձրաֆունկցիոնալ բետոնների դասին, այսինքն՝ բարձր ամրության հետ մեկտեղ բնութագրվում են բարձր երկարակեցությամբ, բետոնային խառնուրդի մեծ շարժունակությամբ և կայունությամբ շերտավորման դեմ:

Միկրոսիլիկահողը իրենից ներկայացնում է $t \approx 1700$ °C ջերմաստիճանում կոնդենսացված փոշի, որը որպես թափոն ստացվում է ֆերոսիլիցիումի արտադրությունից: Հավաքվելով էլեկտրոդտիչներում, միկրոսիլիկահողի սառեցումը կատարվում է այնքան արագ, որ չի

հասցնում տեղի ունենալ դրա բյուրեղացումը և ձևավորվում է ամորֆ կառուցվածք: Միկրոսիլիկահողի հատիկներն ունեն գրեթե իդեալական գնդաձև տեսք (նկ. 1), բնութագրվում են մինչև 0,1 մկմ հատիկի չափով և մեծ տեսակարար մակերեսով՝ 16...22 մ²/գ: Միկրոսիլիկահողում ակտիվ SiO₂-ի պարունակությունը կազմում է 80...99 %:



**Նկ. 1. Միկրոսիլիկահողի հատիկների տեսքը ցեմենտի հատիկների համեմատության մեջ.
1-ցեմենտի հատիկներ, 2-միկրոսիլիկահողի հատիկներ**

Միկրոսիլիկահողի մեծ տեսակարար մակերեսը սահմանում է դրա մեծ ջրապահանջկոտությունը, որը կարող է հասնել մինչև 100%: Այդ իսկ պատճառով միկրոսիլիկահողը անհրաժեշտ է միշտ օգտագործել գեր- կամ հիպերպլաստիկարարների հետ միասին: Այս դեպքում նկատվում է առավել մեծ տեխնիկական արդյունավետություն:

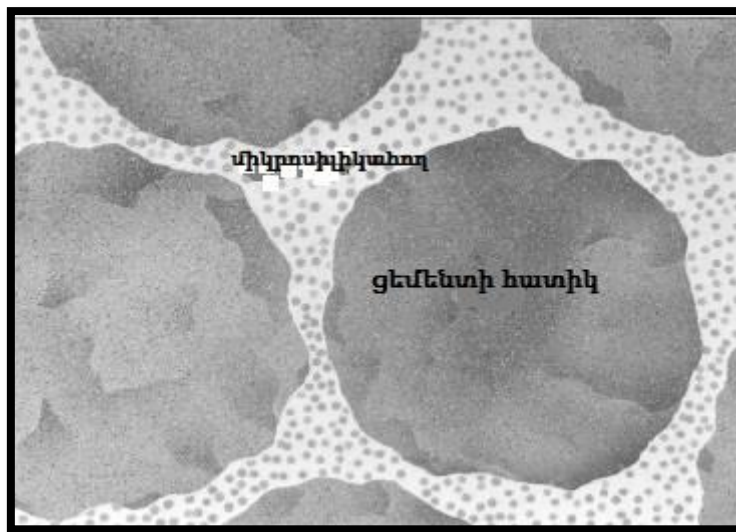
Միկրոսիլիկահողի օգտագործումը բարձրամուր բետոններ ստանալու ամենաարդյունավետ ճանապարհն է, քանի որ ցեմենտային համակարգերի վրա այն ազդում է երկու մակարդակներով՝ քիմիական և ֆիզիկական [4]:

Միկրոսիլիկահողի քիմիական ազդեցությունը պայմանավորվում է ամորֆ SiO₂-ի բարձր պարունակությամբ և փուլցլանային էֆեկտի առկայությամբ: Հայտնի է, որ ալիտի և բելիտի հիդրոլիզից առաջացած միներալ պորտլանդիտը CH, համարվում է ցեմենտաքարի թույլ օղակը, քանի որ բնութագրվում է փոքր ամրությամբ և կայունությամբ: Պորտլանդիտի քանակի մեծ առկայությունը, հատկապես խճի և ցեմենտաքարի կոնտակտային զոտում, զգալի թուլացնում են բետոնի ամրությունը: Բարձրամուր բետոններում խճի և ցեմենտաքարի կոնտակտային

գոտուն մեծ ուշադրություն է դարձվում, քանի որ վերջինիս կառուցվածքի օպտիմալացումը հնարավորություն է տալիս մեծ չափով բարձրացնել բետոնի ամրությունը:

Միկրոսիլիկահողով մոդիֆիկացված ցեմենտաքարում փոխվում է հիդրատային փուլերի միջև հաշվեկշիռը՝ մեծանում է առավել ամուր և կայուն ցածր հիմնայնության C-S-H(I) տիպի կալցիումի հիդրոսիլիկատների քանակը պորտլանդիտի CH և բարձր հիմնայնության C-S-H(II) տիպի կալցիումի հիդրոսիլիկատների փոխարեն, ինչը լրացուցիչ ամրացնում է ցեմենտաքարը:

Միկրոսիլիկահողի ֆիզիկական ազդեցությունը ցեմենտաքարի վրա հետևյալն է. լինելով ուլտրադիսպերս փոշի ($d_{սփշ} = 0,1 \mu\text{m}$) և ունենալով մոտ 100 անգամ ավելի փոքր չափեր, քան ցեմենտի հատիկները՝ միկրոսիլիկահողը տեղավորվում է ցեմենտի միջհատիկային դատարկությունների մեջ՝ խտացնելով ցեմենտաքարի կառուցվածքը (նկ. 2):



Նկ. 2. Ցեմենտաքարի խտացումը միկրոսիլիկահողով

Ուլտրադիսպերս միկրոսիլիկահողի օգտագործումը թույլ է տալիս դիտարկել ցեմենտաքարի կառուցվածքը՝ որպես միկրոբետոն, որտեղ՝ որպես խոշոր լցանյութ, արդեն հանդես են գալիս ցեմենտի հատիկները, իսկ որպես մանր՝ միկրոսիլիկահողը: Նման մոտեցումը հանգեցրեց «կառուցվածքը կառուցվածքի մեջ» տեսության զարգացմանը, որը առաջ է բերում հետևյալ պնդումը. մակրոհամակարգի հատկություններն անհրաժեշտ է բարելավել միկրոհամակարգի և սուբմիկրոհամակարգի օպտիմալացմամբ:

Ինչպես հայտնի է, բետոնի ամրությունը մեծ չափով կախված է ցեմենտաքարի ծակոտկենությունից, մասնավորապես՝ ծակոտիների չափսերից, ձևից և ցեմենտաքարի ծավալի մեջ համասեռ բաշխվածությունից: Միկրոսիլիկահողի օգտագործումը գրեթե չի փոխում ցեմենտաքարի ընդհանուր ծակոտկենությունը, բայց փոխվում է գելային և մազանոթային ծակոտիների հարաբերությունը: Գելային ծակոտկենությունը մեծանում է մազանոթային ծակոտկենության նվազեցման հետ մեկտեղ, ինչը բերում է ցեմենտաքարի ամրության և

ամենակարևորը՝ երկա-բակեցության մեծացման: Մեծ չափով մեծանում է բետոնի ջրանթափանցելիությունը (W16-W20) և սառնակայունությունը:

Միկրոսիլիկահողը բնութագրվում է բավականին փոքր լցվածքային խտությամբ ($\rho_{194}=200$ կգ/մ³, խտացված վիճակում՝ 500 կգ/մ³), այդ իսկ պատճառով ստեղծում է տրանսպորտային և տեխնոլոգիական դժվարություններ: Նպատակահարմար է օգտագործել համալիր մոդիֆիկատորներ, որոնք իրենցից ներկայացնում են նավթալինսուլֆոֆորմալդեհիդային գերպլաստիկարարի և միկրոսիլիկահողի համադրություն և զերծ են վերը նշված խնդիրներից:

Մեր ուսումնասիրություններում օգտագործվել է ռուսական Полипласт ֆիրմայի 3МБ համալիր մոդիֆիկատորը, խորանարդաձև լվացված բազալտի խիճը 5...20 մմ (մակնիշը ըստ ջարդելիության՝ 1000), լվացված գետի ավազը (խոշորության մոդուլը՝ 3,2), Արարատի և Հրազդանի պորտլանդցեմենտները համապատասխանաբար М400 և М500 մակնիշների: 3МБ մոդիֆիկատորի ծախսը կազմում է 5...20%: Առաջին հերթին փորձարկումները կատարվել են М400 ցեմենտով: Բետոնի կազմը տրված է աղ. 1-ում, փորձարկման արդյունքները՝ աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 1

Բետոնի հիմնական կազմ

<i>Նյութ</i>	<i>Ծախս, կգ/մ³</i>
Խիճ բազալտե 5...20 մմ	1070
Ավազ գետի 0...5 մմ (խոշորության մոդուլ՝ 3,2)	760
Ցեմենտ М400 (Արարատի գործարանի)	410
Ջուր	200

Աղյուսակ 2

М400 մակնիշի ցեմենտով պատրաստված բետոնների փորձարկման արդյունքները

<i>Հավելանյութ</i>		<i>Բետոնային խառնուրդ</i>				<i>Բետոն</i>		
<i>Անվանումը</i>	<i>Ծախս, % *</i>	<i>Ջ/Ց</i>	<i>Ջ/Ց+3МБ</i>	<i>ԿՆ, սմ</i>	<i>ρ, կգ/մ³</i>	<i>ρ, կգ/մ³</i>	<i>Անրություն, ՄՊա</i>	
							7 օր	28 օր
3МБ	5	0,48	0,46	10	2464	2437	38,3	48,88
3МБ	15	0,43	0,38	10	2500	2481	55,16	71,20
Հսկողական 1	-	0,48	-	7	2486	2453	36,01	44,14
Հսկողական 2	-	0,51	-	10	2481	2459	35,75	42,30

* ըստ ցեմենտի ծախսի

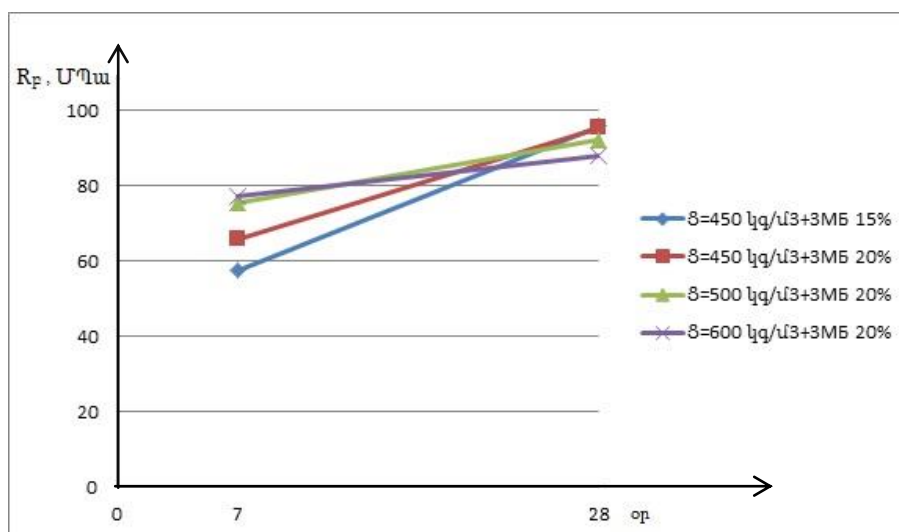
Ինչպես երևում է աղ. 2-ից, 3ՄԵ մողիֆիկատորը միևնույն շարժունակության հսկողական խառնուրդի նկատմամբ տալիս է 15 և 68 % ամրության աճ, համապատասխանաբար, ըստ ցեմենտի 5 % և 15 % ծախսերի դեպքում: Այսինքն՝ մողիֆիկատորի 5 % ծախսի դեպքում բետոնի ամրության աճն այնքան էլ բարձր չէ և հաշվի առնելով դրա բավականին բարձր ինքնարժեքը՝ նման ծախսով աշխատելը աննպատակահարմար չէ: Միևնույն Ջ/Ց հարաբերության դեպքում 3ՄԵ մողիֆիկատորը 5 % ծախսով տալիս է 10 % ամրության աճ:

Այսպիսով, Արարատի գործարանի M400 մակնիշի ցեմենտի 410 կգ/մ³ ծախսով հնարավոր է ստանալ բարձրամուր բետոն (71,2 ՄՊա): Այժմ դիտարկենք M500 մակնիշի ցեմենտով պատրաստված բարձրամուր բետոնների հատկությունները: Այստեղ նույնպես, որպես հիմնական կազմ ընդունվել է աղ. 1-ում բերված կազմը: Այնուհետև, ցեմենտի ծախսի մեծացման հետ մեկտեղ կազմը ճշտվել է: Փորձարկման արդյունքները բերված են աղ. 3-ում և նկ. 3-ում:

Աղյուսակ 3

M500 մակնիշի ցեմենտով պատրաստված բետոնների փորձարկման արդյունքները

	Բետոնում ցեմենտի և մողիֆիկատորի քանակը	Բետոնային խառնուրդ				Բետոն		
		Ջ/Ց	Ջ/Ց+3ՄԵ	ԿՆ, սմ	ρ, կգ/մ ³	ρ, կգ/մ ³	Ամրություն, ՄՊա	
							7 օր	28 օր
1.	Ց=450 կգ/մ ³ +3ՄԵ 15%	0,32	0,28	18	2554	2538	57,53	95,79
2.	Ց=450 կգ/մ ³ +3ՄԵ 20%	0,33	0,27	18...20	2550	2542	65,86	95,39
3.	Ց=500 կգ/մ ³ +3ՄԵ 20%	0,31	0,26	23	2548	2539	75,53	92,30
4.	Ց=600 կգ/մ ³ +3ՄԵ 20%	0,27	0,22	25	2560	2543	77,37	88,01



Նկ. 3. Բետոնի ամրության աճի կինետիկան

Ինչպես երևում է աղ. 3-ի և նկ. 3-ի տվյալներից, բետոնի ամրությունը 7 օրեկան հասակում աճում է ցեմենտի և հավելանյութի ծախսերի հետ միասին՝ առավելագույն արժեքը ստանալով ցեմենտի 600 կգ/մ^3 ծախսի դեպքում: Սակայն 28 օրեկան հասակում պատկերը փոխվում է: Ցեմենտի ծախսի մեծացման հետ մեկտեղ նվազում է բետոնի ամրությունը: Փաստորեն այն դեպքերում, երբ անհրաժեշտ է բետոնի բարձր ամրությունը վաղ հասակում, ցեմենտի և մոդիֆիկատորի ծախսի մեծացումը արդարացված է, հակառակ դեպքում՝ անհրաժեշտ է ձգտել ցեմենտի նվազագույն ծախսին: Մեր կարծիքով տեղական նյութերով ավելի բարձր մակնիշների բետոններ ստանալու համար անհրաժեշտ է օգտագործել 1000 բարձր մակնիշ ունեցող խոշոր լցանյութեր:

Եզրակացություններ.

1. Տեղական նյութերով և մոդիֆիկատորներով պատրաստված բետոնները տալիս են կայուն բարձր արդյունքներ, ինչպես ֆիզիկամեխանիկական (բարձր ամրություն), այնպես էլ տեխնոլոգիական (բետոնախառնուրդի մեծ շարժունակություն) տեսանկյուններից:
 2. Ցեմենտի և մոդիֆիկատորի ծախսի մեծացումը ոչ միշտ է նպատակահարմար:
 3. Մոդիֆիկատորի առկայությամբ, բետոնային խառնուրդներն ունեն մեծ շարժունակություն ($\text{ԿՆ } 10...25 \text{ սմ}$) և շերտավորման դեմ կայունություն, ինչը շատ կարևոր է ներկայիս զարգացող միաձույլ շինարարության համար:
- Ասվածից հետևում է, որ մոդիֆիկատորները նպատակահարմար է օգտագործել տեղական նյութերով բարձրամուր բետոններ պատրաստելիս:

**А.А. Антонян,
А.М. Асирян**

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ НА МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Описано получение высокопрочного бетона с помощью микрокремнезема, а также его влияние, как модифицирующей добавки, на структурообразование цементного камня. Приведены наиболее эффективные дозировки модификатора. Исследования проведены на местных материалах, что может иметь практическое значение.

Ключевые слова: *высокопрочный бетон, микрокремнезем, модифицирование, портландит, гидросиликат кальция.*

STUDY OF HIGH-STRENGTH CONCRETES MODIFIED BY LOCAL MATERIALS

Production of high-strength concrete using silica fume, as well as its influence on structurization of cement stone is described. Effective dosages of the modifier are shown. Investigations were carried out on local materials, which can be of practical importance.

Keywords: high strength concrete, silica fume, modification, portlandite, calcium hydrosilicate.

Գրականություն

1. **Անտոնյան Ա. Ա.** Գերալաստիկարարների ազդեցությունը բետոնի հատկությունների վրա // ԵՃՇՊՀ գիտական աշխատությունների ժողովածու. - Երևան, 2012. - Հ.II(45). - Էջ 99-104:
2. **Անտոնյան Ա. Ա.** Բետոնային խառնուրդի և բետոնի հատկությունների մոդիֆիկացումը ժամանակակից պլաստիկարարների միջոցով // ԵՃՇՊՀ գիտական աշխատությունների ժողովածու. - Երևան, 2013. - Հ.III(50). - Էջ101-113:
3. **Галстян Г.Ш.** Бетоны на природных заполнителях Армении для монолитного строительства. – СПб., 2009. - 206 с.
4. **Michael A. Caldarone.** High strength concrete. A practical guide. - Taylor and Francis, 2009. - 252 p.

Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազային ֆինանսավորմամբ «ՀՀ ճարտարապետական և շինարարական համալիրների կայուն զարգացման ուղիների բացահայտում, ճշգրտում, ներդրման առաջարկությունների և հանձնարարականների մշակում՝ մշտական մոնիտորինգի կիրառմամբ» ծրագրի շրջանակներում:

Անտոնյան Աշոտ Արթուրի (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՇՀԱՀ, ասպիրանտ, «С-Lab» ՍՊԸ-ի ճարտարագետ, (077)609980, antonyanash@mail.ru: Ասիրյան Ալբերտ Միքայելի, տ.գ.դ., պրոֆ. (ՀՀ,ք.Երևան) - ՃՇՀԱՀ, ակադեմիկոս Ալ. Թամանյանի անվ. ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, ա.գ.ա., Շինարարական նյութերի, իրերի և կոնստրուկցիաների արտադրության տեխնոլոգիայի ամբիոն, (093)974040:

Антонян Ашот Артурович (РА, г.Ереван) - НУАСА, аспирант, «С-Lab», инженер, (077)609980; antonyanash@mail.ru. Асирян Альберт Михайлович, д.т.н., проф. (РА, г.Ереван) - НУАСА, проблемная лаборатория Архитектуры и строительства им. академика Ал. Таманяна, с.н.с., кафедра Технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, (093)974040.

Antonyan Ashot Arthur (RA, Yerevan) - NUACA, postgraduate, LLC «C-Lab», engineer, (077)609980, antonyanash@mail.ru. Asiryanyan Albert Miqael, doctor of science in Engineering, prof. (RA, Yerevan) - NUACA, Research Laboratory of Architecture and Building by Academician Al. Tamanyan, Senior Scientific Researcher, Chair of Production Technologies of Constructive Materials, Articles and Structures, (093)974040.

Ներկայացվել է 27.11.2013թ.

Ընդունվել է տպագրության 03.12.2013թ.