

УДК 691.322

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А.М.Асирян,

А.Р.Торгомян,

А.А.Антонян

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНОВ

Рассматриваются вопросы, связанные с методами управления свойств высококачественных бетонов. Уделяется внимание выбору породы и обработке тяжелых качественных заполнителей. Изучается влияние формы зерен, гранулометрического состава и обогащения заполнителей. Устанавливается влияние заполнителей на механические и деформативные свойства бетона. Доказывается необходимость производства в Армении высококачественных заполнителей.

Ключевые слова: *заполнитель, бетон, форма зерен, гранулометрический состав, прочность, деформативность*

В строительном производстве наиболее широко используемым материалом является бетон, который подвергается систематическим исследованиям с целью совершенствования его свойств и расширения области применения.

Главным составляющим бетона, занимающим почти 80% его объема, являются заполнители, которые во многом определяют его технические и технологические свойства. Стоимость заполнителей составляет 30...50% себестоимости бетона и железобетона. В связи с этим, выбор и изучение заполнителей, а также их оптимальное применение представляет весьма важное значение для технологии бетона и железобетона.

Заполнители формируют основную структуру бетона, образуя жесткий каркас из прочных зерен, увеличивая прочность и модуль упругости с уменьшением деформативности затвердевшего конгломерата. Поэтому качество заполнителей имеет большое влияние на свойства конгломерата, в особенности на качество высокофункциональных бетонов. Качество же заполнителей определяется их происхождением, прочностью, зерновым составом, формой зерен, а так же деформативностью. В настоящем рассматриваются заполнители природного происхождения Армении, обладающие большим многообразием, например, изверженные глубинные породы, такие как базальт, гранит, сиенит и диорит. Однотипные породы могут обладать различными механическими и деформативными свойствами весьма большого диапазона. В связи с этим для каждого вида бетона целесообразно принимать ту разновидность заполнителя, которая изготовлена из соответствующей породы.

Согласно действующим стандартам, по крупности заполнители бывают крупные (щебень или гравий) с размером зерен 5...40 мм и мелкие (песок) 0,14...5 мм. Кроме того в последнее время применяются и микрозаполнители размерами от 10 нм до 10 мкм с удельной поверхностью 18...25 м²/г.

В связи с образованием макроструктуры бетона, существенную роль играет форма зерен крупного заполнителя. Заполнители (щебень), получаемые дроблением, имеют форму зерен в виде кубов, октаэдров, додекаэдров, икосаэдров и шаров. В зависимости от формы зерен, плотность их

упаковки в единице объема может быть разная, которую можно представить в виде формирования межзерновой пустотности, приведенной в табл.1 [1].

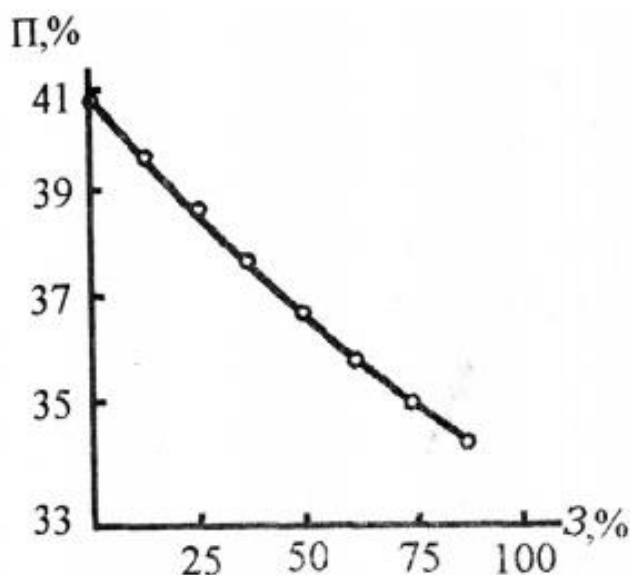
Таблица 1

Образование межзерновой пустотности в % в зависимости от формы зерен

Форма зерен	При укладке	
	плотной	неплотной (насыпной)
Кубы	0	87,1
Октаэдры	12,1	83,9
Додекаэдры	14,1	60,7
Икосаэдры	10,3	59,9
Шары	26,2	47,6

Межзерновая пустотность изменяется, будь это в уплотненном или неуплотненном виде, в зависимости от формы зерен применяемого заполнителя. Из рассмотрения табл.1 видно, что при уплотнении кубовидного заполнителя, межзерновая пустотность приближается к нулю, тогда как при других формах зерен колеблется от 10,3% при икосаэдре до 26,2% при шарообразной форме. Укладка же заполнителя в насыпном виде, то есть без уплотнения показывает противоположное значение межзерновой пустотности равной 87,1% для кубовидного зерна. В настоящее время в Германии при помощи специальных дробилок производят щебень кубиковой формы для изготовления высококачественных и высокопрочных бетонов.

Практически наиболее плотные укладки в связи с угловатостью зерен маловероятны и межзерновая пустотность будет увеличиваться. Когда же заполнитель является смесью зерен разной формы, то с увеличением зерен округлой формы межзерновая пустотность будет уменьшаться, что подтверждается графиком, приведенным на рис.1.



*Рис. 1. Влияние содержания зерен округлой формы на пустотность:
П-величина межзерновой пустотности, З-содержание зерен округлой формы*

На практике наименьший размер межзерновой пустотности всегда больше в связи с тем, что не удается получить идеального распределения зерен. С целью получения более плотной смеси двух фракций надо, чтобы размер мелкой фракции был в 6,5 раза меньше размера зерен крупной фракции. Однако учитывая, что практически невозможно производить заполнитель с указанным соотношением, вынуждено применяют заполнитель с непрерывным зерновым составом, допуская некоторую повышенную пустотность.

В бетоне применяются заполнители со смесью нескольких фракций, имеющих наименьшую пустотность, которая устанавливается оптимизацией лабораторным путем.

Поскольку зерновой состав является определяющим при изготовлении качественных бетонов, применяются стандарты, позволяющие более эффективно использовать заполнители. В настоящее время у нас зерновой состав определяют на основании стандартов: для песка - ГОСТ 26633-97, а для щебня - ГОСТ 8269.0-97. Согласно ГОСТ 26633-91, графическое изображение зернового состава песка приведено на рис. 2.

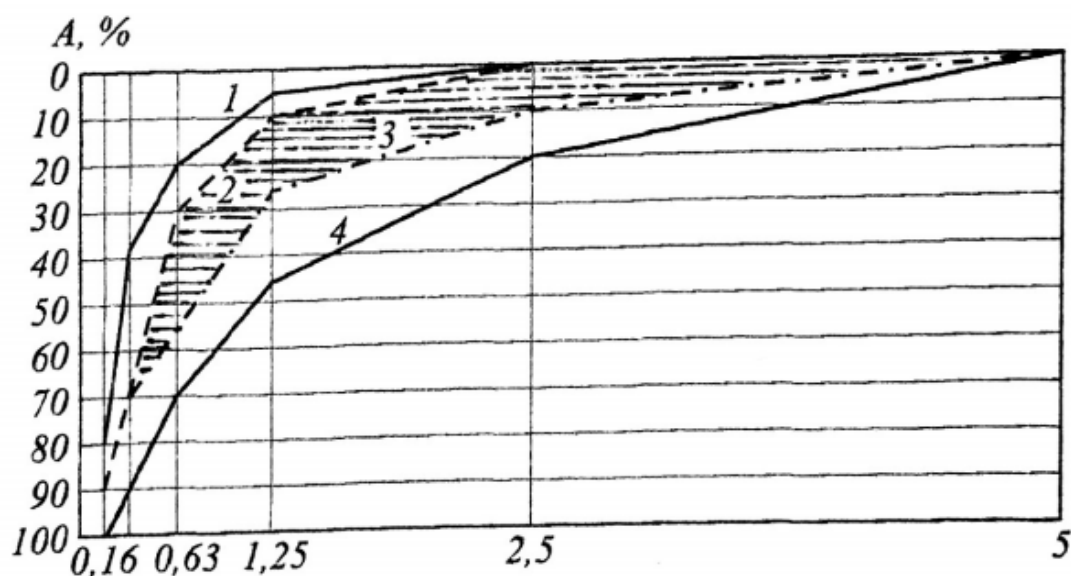
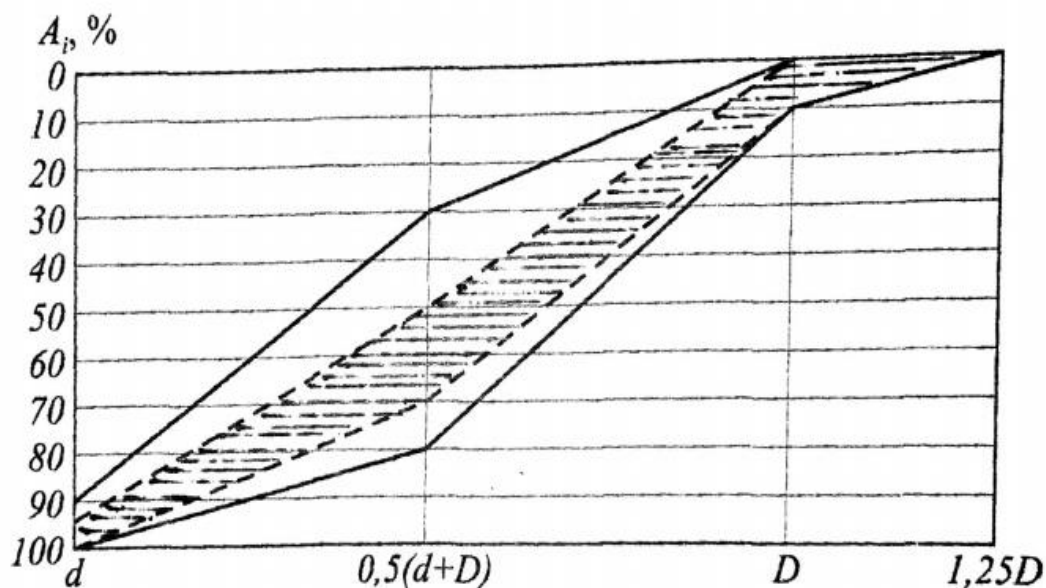


Рис. 2. График зернового состава песка:

1-допустимая граница песка, 2-рекомендуемая нижняя граница крупности песка для высококачественных бетонов, 3-нижняя граница крупности песка для тех же бетонов, 4- допустимая верхняя граница песка

При несоответствии фактического зернового состава песка графическому изображению на рис. 2 следует оптимизировать дополнением необходимых зерен. При этом для изготовления высококачественных бетонов применяемый зерновой состав песка следует привести в соответствие с заштрихованной частью графика, обогащением его состава. Графическое же изображение зернового состава щебня, применяемого для изготовления высококачественных бетонов, должно соответствовать заштрихованной части графика, приведенного на рис. 3.



**Рис. 3. График зернового состава щебня:
d и D-наименьшие и наибольшие размеры зерен**

Непрерывный зерновой состав заполнителей считается практически более эффективным и поэтому ведутся исследования по назначению его оптимального состава. Для этого предлагаются “идеальные” кривые просеивания, которые позволяют уменьшить количество межзерновых пустот смеси с наименьшей суммарной поверхностью зерен. В этом случае, возможно снизить расход цемента при требуемой подвижности бетонной смеси без ее расслаивания.

Предложенное Фуллером и Болломеом уравнение такой “идеальной” кривой имеет следующий вид:

$$Y = K_{\phi} + (100 - K_{\phi}) \sqrt{\frac{x}{D_{max}}},$$

где K_{ϕ} - коэффициент формы зерен, равный $\frac{D_{max}}{D_{min}}$ в пределах 8...14; x - размер зерен данной фракции; D_{max} - предельная крупность заполнителя.

В Германии применяют заполнитель с зерновым составом рекомендуемым нормами DIN1045, приведенный на (рис. 4) [2]. Кроме графического изображения зернового состава заполнителя с наибольшей крупностью зерен 32 мм приводятся и прямоугольники, показывающие разное соотношение зернового состава.

Большой интерес представляет предлагаемая нормами DIN1045 четыре вида зерновых составов для тяжелых бетонов при наибольшей крупности зерен 31,5 мм. При рассмотрении приведенных на рис. 4 графических изображений зернового состава заполнителей можно отметить нижеследующее.

Согласно кривой А, предлагается зерновой состав, когда применяемый щебень более мелкозернистый, а количество песка низкое и составляет 23% от общего объема.

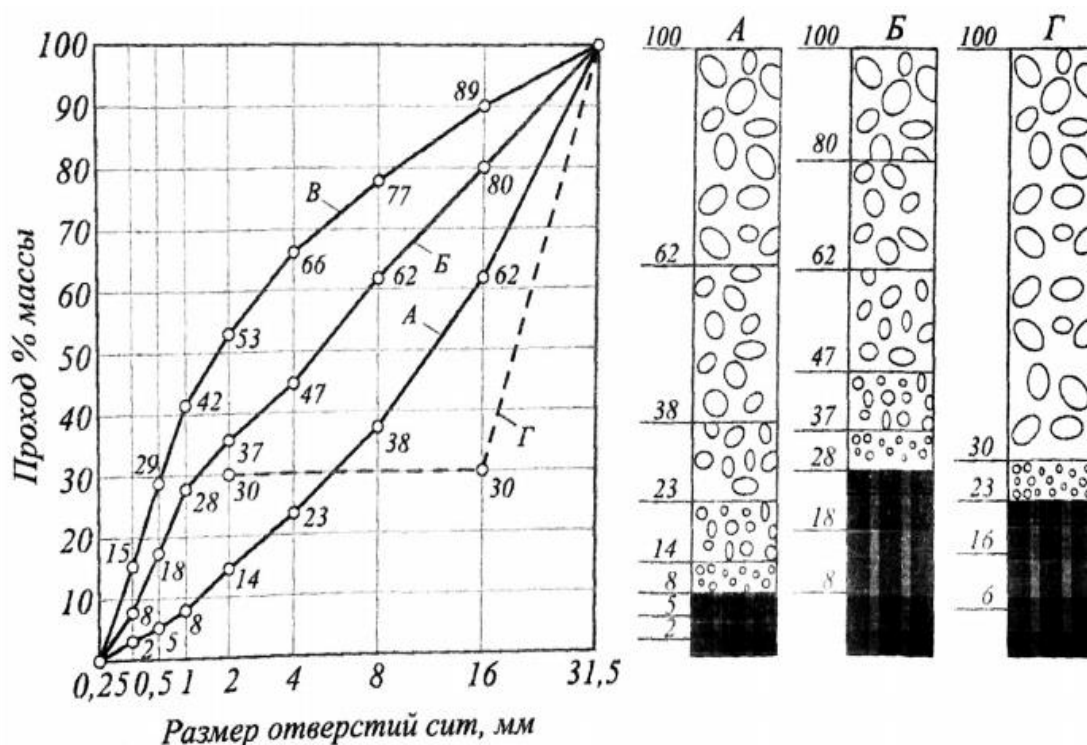


Рис. 4. Зерновые составы заполнителей для бетона, рекомендуемые нормами DIN1045

Согласно же кривой **Б**, предлагается состав, когда применяемый заполнитель имеет нормальное соотношение зерен разных размеров с непрерывной гранулометрией, а количество песка увеличивается до 47%.

Согласно кривой **В**, предлагается зерновой состав, когда количество песка доходит до 66%.

Согласно же кривой **Г**, предлагается зерновой состав, когда применяемый заполнитель состоит из двух фракций: 2...16 мм порядка 30% и 16,0...31,5мм в количестве 70%.

При сравнении приведенных графиков можно сделать вывод, что для высококачественных бетонов самый подходящий состав будет проведенный по кривой **Б**.

В США производится заполнитель в основном высокого качества. Щебень имеет высокую прочность на сжатие и обладает высокой чистотой. Форма зерен обычно близка к кубической, а содержание зерен лещадной форм незначительное. Количество фракций щебня составляет в основном 4...8, иногда может доходить до 12. Наибольшая крупность допускается 63...70 мм, однако потребность составляют мелкие фракции с крупностью до 19мм и их количество бывает 60...70% от общего объема производимого щебня. Новые заводы строят только для производства щебня с максимальной крупностью 19 мм. В связи с этим, высокое качество и широкий ассортимент способствуют изготовлению бетонов высокого качества. Почти во всех случаях щебень промывают и обогащают мелкие фракции в тяжелых суспензиях для удаления слабых зерен. Заполнитель поставляется с постоянным гранулометрическим составом, что обеспечивает надежность изготовления высококачественных бетонов.

Содержание и качество заполнителей влияют на состав и технологические свойства бетонной смеси, такие как режим перемешивания, транспортирование, формование, а после твердения - на свойства самого бетона. Содержание, зерновой состав и качество заполнителей способствуют достижению оптимальной плотности и прочности бетона при наименьшем расходе цемента. С целью достижения положительного влияния заполнителя на качество бетонной смеси и бетона требуется

оптимизация его состава, точное дозирование и тщательное смешивание для повышения однородности смеси. Изготовление бетонной смеси с достаточной однородностью зависит от крупности зерен заполнителя, их формы, степени шероховатости поверхности и достигается интенсивным и продолжительным перемешиванием. При этом достигнутую однородность необходимо сохранить при транспортировании без расслоения и обеспечения необходимой удобоукладываемости. От вида и состава бетонной смеси зависит выбор способа формирования железобетонных конструкций и сооружения в целом.

В настоящее время оптимизацией зернового состава совместно с применением необходимых модификаторов улучшаются условия перемешивания, транспортировки и укладки бетонных смесей. Такой технологии изготовления бетонных смесей с успехом способствует применение автобетоносмесителей и сомоуплотняющихся составов.

Влияние заполнителей сказывается также на деформативные свойства затвердевшего бетона. При проектировании железобетонных конструкций учитываются деформативные свойства бетона, которые зависят от его состава и свойств используемых материалов. Показателем деформативных свойств бетона под нагрузкой считается модуль деформации E_σ (рис. 5).

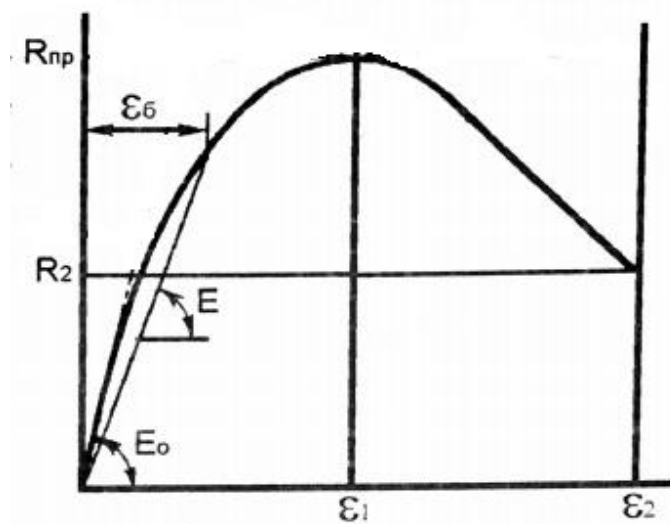


Рис. 5. Диаграмма деформации бетона под нагрузкой: $R_{пр}$ – призматическая прочность, ε – величина деформации при сжатии, E – модуль деформации

Из диаграммы видно, что с увеличением прочности бетона уменьшаются его деформации. Обычно учитывают начальный модуль деформации бетона E_0 или модуль деформации при $\sigma/R = 0,5$ (обозначая E). Установлено, что чем выше модуль деформации, тем менее деформативен материал. Бетон становится более хрупким, что негативно отражается на работе железобетонных конструкций [1]. На основании наших исследований установлено, что негативное влияние увеличенного модуля деформации для высокопрочных бетонов возможно отрегулировать влиянием соответствующего заполнителя. В нашем случае, благоприятный модуль получен с применением более податливого заполнителя из талинского базальта [3].

Из табл. 2 видно, что щебень, изготовленный из талинского базальта Армении, модуль деформации которого составляет 15000 МПа, снизил величину модуля высокопрочного бетона R_6 с 75 до 27000 МПа.

Таблица 2

Прочность на сжатие и модуль деформации

N	Материал	$R_{куб}, МПа$	$R_{пр}, МПа$	Модуль деформации, МПа
1	Модифицированный бетон	53,6	40,2	37500
2	Высокопрочный бетон	72,2	-	48700
3	Бетон высокого наполнения	92,6	-	52400
4	Высокопрочный бетон на талинском базальте	75,0	57,0	27000
5	Базальтовая порода талинского месторождения	-	>100	15000

По сравнению с другими высокопрочными бетонами снижение модуля деформации составило 18%. Следовательно, в условиях Армении возможно выбирать для данного бетона соответствующий заполнитель.

Негативное влияние повышенного модуля возможно компенсировать также применением предварительного напряжения в железобетонных конструкциях. Таким образом, сочетая высокопрочный бетон с предварительным напряжением, создаются большие возможности для изготовления тонкостенных и прогрессивных конструкций, снижая материалоемкость железобетонных конструкций.

Тяжелый бетон на плотных заполнителях при очевидном преимуществе придает железобетонным конструкциям повышенную массу, что является значительным недостатком. В изгибаемых железобетонных конструкциях зачастую половина несущей способности приходится на восприятие собственной массы, что весьма ощутимо в большепролетных конструкциях и приводит к ограничению области их применения, особенно в сейсмических районах. Технология высококачественных бетонов позволяет широко применять их в прогрессивных конструкциях.

В заключении следует отметить, что усовершенствование строительного производства, позволяет возводить до сих пор невиданные сооружения. В связи с этим необходимо значительное повышение качества бетона и производства высокопрочных бетонов классов С60/75 и выше. Для этого необходимо в Армении организовать производство высококачественных и обогащенных заполнителей с обеспечением постоянства гранулометрического состава [4].

Ա.Մ.Ասիրյան,
Ա.Ռ.Թորգոմյան,
Ա.Ա.Անտոնյան

**ԼՅԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԲԱՐՁՐՈՐԱԿ
ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ**

Դիտարկվում են բարձրորակ բետոնների հատկությունները կարգավորող հարցերը: Ուշադրություն է դարձվում ծանր լցանյութերի ապարի ընտրության վրա: Ուսումնասիրվում է լցանյութի ձևի, հատիկաչափական կազմի ազդեցությունը բետոնի հատկությունների վրա: Ցույց է տրվում լցանյութի ազդեցությունը բետոնի մեխանիկական և դեֆորմատիվ հատկությունների

վրա: Ապացուցվում է Հայաստանում բարձրորակ լցանյութերի արտադրության անհրաժեշտությունը:

Առանցքային բառեր. լցանյութ, բետոն, հատիկի ձև, հատիկաչափական կազմ, ամրություն, դեֆորմատիվություն

A.M.Asiryan,
A.R.Torgomyan,
A.A.Antonyan

FEATURES OF INFLUENCE OF AGGREGATES ON PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

The questions connected to methods of management of properties of high-quality concrete are considered. It is given on a choice of breed and processing of heavy qualitative fillers. Influence of the form of grains, particle size distribution and to enrichment of fillers is studied. Influence of fillers on mechanical and elasticity properties of concrete is set. Need of production in Armenia of high-quality fillers is proved.

Keywords: filler, concrete, form of grains, particle size distribution, durability, deformability

Литература

1. Асирян А.М., Меликян С.Р. и др. Проблемы заполнителей для качественных бетонов // Бюллетень строителей Армении. – 2008. - N12. – С.1-5.
2. Чумаков Л.Д. Технология заполнителей для бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. - 264 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Изд-во АСВ, 2007. – 528 с.
4. Асирян А.М. Проблемы технологии бетона и железобетона. – Ереван: Изд-во ЕГУАС, 2013. - 222с.

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 շրջանակում:

Ասիրյան Ալբերտ Միքայելի, տ.գ.դ., պրոֆ. (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՀՀԱՀ. ակ. Ալ. Թամանյանի անվ. ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, տ.գ.ա. (+374) 93974040, **Թորգոմյան Աննա Ռուբենի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան)-Arte Italian furniture ՍՊԸ (+374) 94702007, **Անտոնյան Աշոտ Արթուրի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան) - Safeye-Eptisa ՍՊԸ, տեխնիկական վերահսկող (+374) 77609980:

Асирян Альберт Михайлович, д.т.н., проф. (РА, г.Ереван) - НУАСА, Проблемная лаборатория Архитектуры и строительства им. ак. Таманяна, с.н.с. (+374)93974040, **Торгомян Анна Рубеновна, к.т.н.** (РА, г.Ереван) - ООО Arte Italian furniture, (+374) 94702007, **Антонян Ашот Артурович, к.т.н.** (РА, г.Ереван) - ООО "Safeye-Eptisa", (+374) 77609980.

Asiryan Albert Miquel, doctor of technical science (engineering), prof. (RA, Yerevan) – NUACA, Research Laboratory of Architecture and Construction by Academician Al. Tamanyan, (+374) 93974040, **Torgomyan Anna Ruben, doctor of philosophy (PhD) in engineering** (RA, Yerevan)-Arte Italian furniture LLC, (+374) 94702007, **Antonyan Ashot Arthur, doctor of philosophy (PhD) in engineering** (RA, Yerevan)-Safeye-Eptica LLC, (+374) 77609980.

Ներկայացվել է՝ 05.12.2016թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 14.12.2016թ.