

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**Альберт Михайлович Асирян^{1*}, Анна Рубеновна Торгомян², Ашот Артурович Антонян³**¹ *Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА*² *ООО Arte Italia furniture, г.Ереван, РА*³ *ООО Safege-Eptisa, г.Ереван, РА** asiryan@ysuac.am

Рассматриваются особенности процессов структурообразования наномодифицированных бетонов с целью управления и придания бетонным смесям и бетонам требуемых свойств, которые необходимы для эксплуатации в конкретных условиях. Отмечается активная роль наномодификаторов в процессе формирования начальной структуры бетонной смеси и бетона за счет физико-механических преобразований. Рассматриваются также способы формирования структуры в сложной последовательности наноструктурных преобразований в процессе перехода пластичной бетонной смеси в твердое состояние.

Ключевые слова: *бетонная смесь, бетон, наномодифицирование, структурообразование, гидратация*

Введение

Современный бетон является наиболее универсальным строительным материалом, который непрерывно совершенствуется. Области его применения в строительном производстве постоянно расширяются и при этом оказывается возможным значительно увеличить его надежность и долговечность. В связи с модифицированием удается с достаточной надежностью свойства бетонной смеси и бетона наиболее точно привести в соответствие с требованием, необходимым способом и месту его применения.

Современные бетоны возможно разделить на три разновидности: наномодифицированные, высокопрочные и обычные (рис.1).

Обычный бетон применяется в большом объеме для разнообразного назначения, для возведения гражданских, промышленных, гидротехнических, дорожных и других сооружений, при этом с обязательным применением современных пластифицирующих добавок, которые позволяют облегчить технологию укладки и придают бетонам высокие эксплуатационные качества.

Высокопрочные бетоны применяются для несущих железобетонных конструкций, придавая им возможность увеличивать пролеты и уменьшая собственную массу, применять предварительное напряжение, позволяя уменьшать размеры сечения. Высокопрочные бетоны позволяют также успешно возводить многоэтажные здания. Они производятся с применением тонкомолотых добавок совместно с суперпластификаторами, что повышает его удобоукладываемость и эксплуатационные качества.

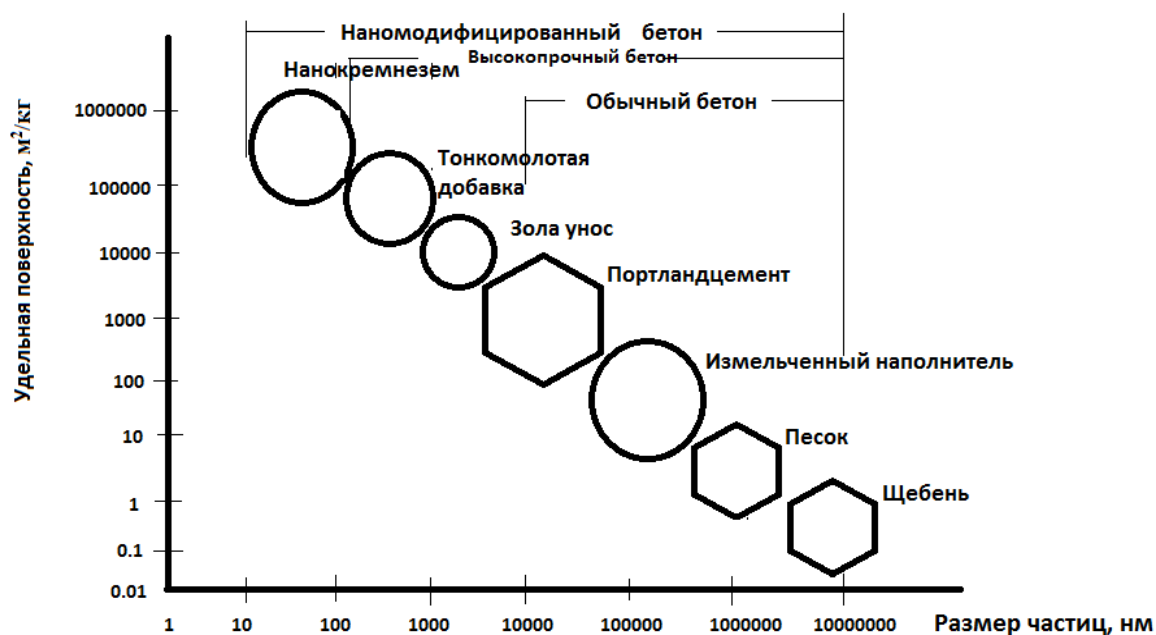


Рис. 1. Размерная область компонентов

Наномодифицированные бетоны применяются для возведения особо ответственных сооружений, таких как высотные здания и небоскребы, когда бетонирование производится нагнетанием бетонной смеси по стальным трубам с помощью бетононасосов на большие высоты. При этом, для нагнетания по трубам качество бетонной смеси должно обеспечить ее технологичное перемещение без расслоения и изменения структуры, а также технологических качеств [1].

Структура бетонной смеси является основой для получения высококачественного и технологичного строительного материала с целью формирования главных свойств конструкционного бетона с высокой степенью эксплуатационной надежности.

Современное теоретическое исследование наномодифицированных бетонов

Эксплуатационная надежность, которая характеризует проявление всех главных свойств бетона с наномодификатором в период эксплуатации, проявляется долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. При этом, модифицированные бетоны должны обладать высоким качеством, т.е. надежной прочностью, низкой проницаемостью, повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью.

В основу всех этих характеристик закладывается структура бетонной смеси и бетона, которая управляется во время процесса формирования структуры. Считается, что управление структурообразованием бетона, особенно на наноуровне на всех стадиях изготовления бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, является основным показателем современной технологии бетона. Ведь бетон формируется на наноразмерном уровне в процессе преобразования на микроуровне при гидратационном переходе цемента из пластичного состояния в кристаллическое. При этом, большое значение имеет первоначальное структурообразование, которое следует рассматривать в три этапа.

Во время первого этапа, когда в сухую бетонную смесь добавляется вода, в процессе гидролиза трехкальциевого силиката образуется гидроксид кальция, образуя перенасыщенный раствор. Через несколько минут из раствора начинают осаждаться первые новообразования – гидроксид кальция и

эттрингит. На поверхности зерен цемента в процессе гидратации кристаллизуется эттрингит и образуется экранирующая пленка, которая обладает высокой дисперсностью строения.

Во время второго этапа, когда в процессе гидратации образуются очень маленькие гидросиликаты кальция, реакция замедляется и ранее образовавшиеся поры заполняются продуктами гидратации. При этом имеет место уплотнение коагуляционной структуры цементного теста вследствие образования сольватных оболочек вокруг зерен цемента, воздействия Ван-дер-Вальсовских сил и интенсивного флокулообразования. Благодаря этому, обеспечивается связанность и подвижность бетонной смеси. Окончание периода формирования структуры бетонной смеси фиксируется во время резкого изменения процесса структурообразования. В итоге, образуется рыхлый каркас в виде пористой матрицы, состоящей из гидратных новообразований зерен цемента и наномодификатора и постепенно заполняется продуктами гидратации.

Во время третьего этапа начинается процесс интенсивной кристаллизации гидроксида кальция, гидросиликатов кальция и эттрингита, что приводит к уплотнению и упрочнению первоначальной матрицы к концу периода начального структурообразования.

При добавлении в бетонную смесь наномодификатора в начальный период сокращаются сроки схватывания. Сокращение сроков схватывания и повышение пластичной прочности бетонной смеси объясняется добавкой наномодификатора, который способствует повышению вязкости смеси и более быстрому формированию структуры композиционного материала с меньшими напряжениями и ускорению процессов твердения бетонов.

Минеральная нанодобавка во время затворения бетонной смеси оказывает пептезирующее и структурообразующее действие, ускоряя тем самым процесс гидратации и твердение бетона. Такое воздействие дисперсных наполнителей объясняется тем, что частицы минерального наполнителя, располагаясь между отдельными зёрнами цемента, раздвигают их и увеличивают к ним доступ воды. Образующиеся новообразования гидратации распределяются в увеличенном объеме, вследствие осуществления отвода их от зоны реакции к поверхностям частиц наполнителя.

Качество наномодифицированных бетонов зависит, главным образом, от объема макропор в бетоне и их строения. В связи с этим, рассматривая строение макроструктуры, следует выделить нижеследующие основные элементы: крупный и мелкий заполнитель, затвердевший цемент и контактная зона на поверхности зерен заполнителя. Образование контактной зоны связано с тем, что в бетонной смеси зерна заполнителя разделяют цементное тесто на микрообъемы. Поэтому формирование структуры цементного камня в контактной зоне осуществляется в тонких слоях, в связи с чем процесс твердения его протекает иначе, нежели в цементном растворе в межзерновом пространстве. Зерна заполнителя оказывают значительное влияние на распределение воды в бетонной смеси и формы ее связи. Незначительная доля воды химически связывается с цементом. Основная доля воды в бетонной смеси связана механически и находится в межзерновом пространстве заполнителя. Эти слои теряют свою подвижность под влиянием поверхности зерен заполнителя за счет адсорбционных, молекулярных и капиллярных сил. Таким образом, толщина контактной зоны, которая взаимодействует с зёрнами заполнителя и цемента, составляет примерно 10...15 мкм и поэтому эта контактная зона по своему составу и свойствам отличается от остального цементного камня.

Срачивание цементного камня с поверхностью зерен заполнителя связано с миграцией гидроксида кальция, образующегося при гидролизе трех- и двухкальциевого силиката. В итоге, на

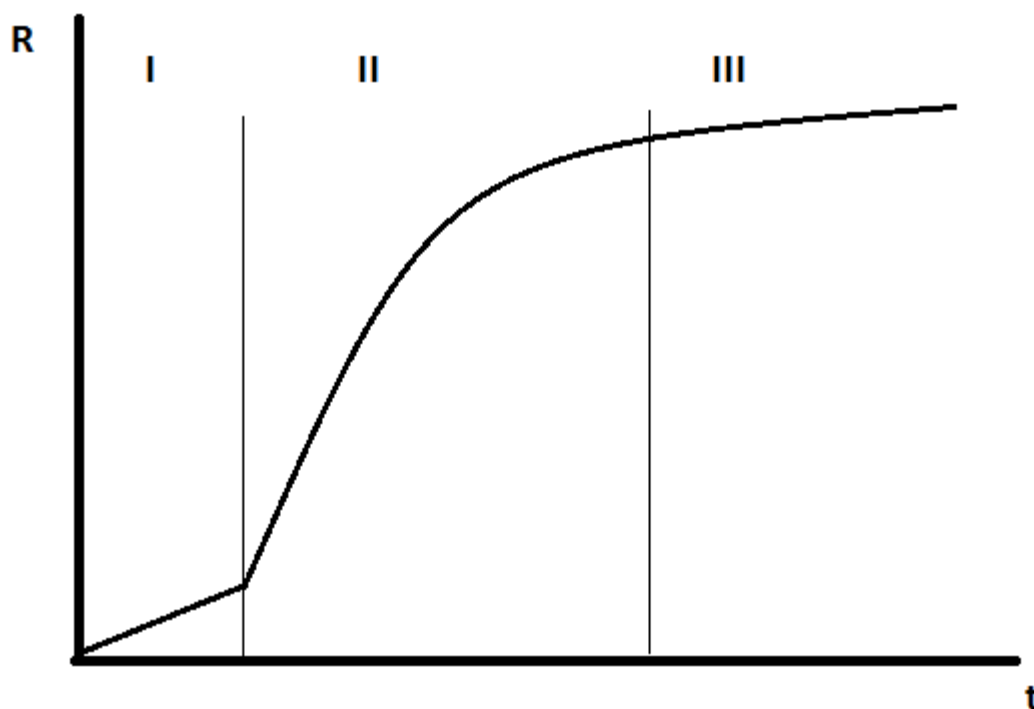
поверхности зерен заполнителя образуются кристаллы $Ca(OH)_2$ и $CaCO_3$. При этом, прочность контактной зоны в бетоне плотного строения в 5...7 раз меньше прочности цементного камня вообще. В связи с этим, одним из эффективных способов повышения прочности и стойкости тяжелых бетонов может стать нанесение на поверхность заполнителя комплексных наномодификаторов, которые взаимодействуя с гидроксидом кальция, будут изменять характер и объем пор и заполнять контактную зону новообразованиями.

В легких бетонах на пористых заполнителях Армении, вследствие самовакуумирования зерен заполнителя процесс твердения и формирования контактного слоя цементного раствора протекает в более благоприятных условиях. В связи с этим, прочность связи цементного камня с зернами заполнителя намного выше механических свойств самого заполнителя.

Поскольку природные легкие заполнители имеют капиллярно-пористое строение, размерами от нескольких десятков *ангстрем* до нескольких *миллиметров*, то при контакте с водой происходит водопоглощение и водонасыщение содержащих пор. В связи с тем, что капиллярная контракция протекает интенсивно в начальный период контакта зерен заполнителя с водой, то при перемешивании, укладке и уплотнении бетонной смеси этот процесс приводит к самовакуумированию. Самовакуумирование легкобетонной смеси протекает по двум направлениям. В первом случае, вода с частицами цемента проникает в поверхностный слой зерен заполнителя и там гидратируясь, укрепляют поверхность зерен заполнителя, в связи с чем зерна заполнителя приобретают объемную прочность, окружающую эти зерна более прочной оболочкой нежели их внутренние слои.

Во втором случае самовакуумирование улучшает условия приобретения прочности межзерновой прослойки, уплотняя ее совместно с утоньчением этой прослойки, где процессы гидратации протекают в более благоприятных условиях. Таким образом, создаются условия повышенной связи зерен заполнителя, придавая легкому бетону на пористых заполнителях большую прочность, чем прочность самого заполнителя, чего нет в случае тяжелых бетонов.

Теперь рассмотрим процесс раннего структурообразования бетона, которое имеет большое значение для приобретения его важных физико-механических свойств. Этот процесс складывается из двух характерных периодов (рис.2). Первый период процесса формирования структуры бетона характеризуется видом продуктов гидратации тем, что они гелеобразны. Эти мелкие частицы в виде волокнистой, войлокообразной и пластинчатой форм, заполняют пространства между зернами цемента. Они образуют коагуляционную структуру в виде рыхлого каркаса, своеобразную пористую матрицу, которая постепенно наполняется продуктами гидратации. Время от начала смешивания с водой до момента резкого изменения процесса формирования структуры называется периодом структурообразования. Второй период процесса раннего формирования структуры характеризуется резким увеличением прочности. Это объясняется ростом количества новообразований и процессом кристаллизации внутри образованного первоначального каркаса. В конце периода формирования структуры осуществляется переход от пластично-вязкой формы к хрупкому твердому камню. Таким образом, образуется будущая структура бетона в третьем периоде.



*Рис. 2. Периоды формирования структуры бетона:
I-первый период процесса раннего структурообразования,
II-второй период резкого увеличения прочности,
III-бесконечный период стабилизации процесса структурообразования*

Структура бетона при применении наномодификаторов формируется в результате схватывания бетонной смеси и последующего твердения бетона. Добавление наномодификаторов приводит к синтезу дополнительного количества гидросиликатов, благодаря взаимодействию его с портландцементом. Формирование макро- и микроструктуры бетона с наномодификаторами способствует более плотной адсорбции молекул воды на частицах дисперсной фазы, благодаря повышенной химической контракции, чем в обычных бетонах. Образованная после схватывания структура бетона с наномодификатором будет меняться в зависимости от времени и условий последующего твердения. Кинетика процесса формирования структуры наномодифицированной бетонной смеси и бетона на ранней стадии твердения, в основном, зависит от химико-минералогического состава цемента, содержания воды, вида и количества добавок и условий твердения окружающей среды.

Механически связанная с заполнителем вода на ранней стадии твердения начинает активно влиять на процесс гидратации бетонной смеси. При этом активным структурообразующим компонентом бетонной смеси является цементное тесто с модификатором, который ощутимо влияет на кинетику гидратации и твердения цемента. Добавка модификатора приводит к сокращению сроков начала и конца схватывания по сравнению с бетонной смесью без нанодобавок и оказывает влияние на некоторое увеличение периода формирования структуры. При увеличении количества наномодификатора до 30% сроки схватывания увеличиваются, а при дальнейшем увеличении количества добавки период формирования структуры бетона увеличивается [2].

Сокращение сроков схватывания и повышение пластичной прочности объясняется введением наномодификаторов, которые увеличивают вязкость и быстрое возникновение центров кристаллизации, что способствует формированию структуры бетонной смеси и ускорению процессов твердения бетона. Разноуровневое формирование структуры бетона позволяет осуществлять

селективное модифицирующее воздействие по различию его подсистемы с целью получения желаемых свойств. Принимая во внимание, что формирование структуры происходит в виде сложной последовательности наноструктурных преобразований в процессе перехода пластичной бетонной смеси в твердое состояние, следует отметить основные направления для управления физико-химических и механических свойств бетона. Такими направлениями могут служить нижеследующие:

- формирование первичной структуры вяжущих компонентов методом их поверхностной и объемной модификации;
- добавление в бетон активных наночастиц для управления кинетикой последующих преобразований и обеспечение надежных связей между структурными составляющими бетона;
- дозированное воздействие на формирующую структурно-химическую систему с целью обеспечения подвижности ее компонентов для реализации конденсационных процессов;
- активизация заполнителей для интенсификации процессов создания структурообразующих центров, улучшающих адгезию вяжущих систем;
- введение в состав заполнителей нанодисперсных наполнителей для регулирования процесса формирования структуры вяжущей матрицы.

С момента затворения наномодификатор оказывает на бетонную смесь пептезирующее и структурообразующее действие, ускоряя процесс гидратации и твердения бетона. Такое воздействие дисперсных частиц объясняется тем, что частицы минерального наполнителя располагается между зернами цемента, раздвигая их и увеличивая к ним доступ воды. Образованные таким образом продукты гидратации распределяются в объеме осуществлением их удаления от зоны реакции к поверхностям частиц наполнителя, что приводит к повышению прочности бетона [3].

Заключение

Активная роль наномодификаторов в формировании начальной структуры бетонной смеси и бетонов осуществляется за счет физико-химических процессов, связанных, в основном, с перераспределением воды и формами ее связи в технологии бетона.

Увеличение прочности бетона при добавке наноструктурированного вяжущего в качестве нанодисперсного модификатора обеспечивается благодаря:

- ускорению начальной стадии твердения за счет наличия дополнительных центров кристаллизации;
- образованию дополнительных контактов между кристаллогидратами за счет связывания выделяющейся в процессе гидратации извести;
- обеспечению высокоплотной упаковки за счет полидисперсного состава наноструктурообразованного строения бетона.

Таким образом, возможно констатировать, что основной целью нанотехнологий является создание самовоспроизводящихся наносистем и наноустройств, наделенных развитым компьютерным интеллектом, способных выполнять механические действия и проводить физико-химический анализ и модификацию окружающей среды.

Бетон является наносистемным строительным материалом по своей сущности и формируется именно на наноразмерном уровне при гидратационном переходе вяжущих материалов в кристаллическое.

ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆԱԼՈՍՈՂԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ալբերտ Միքայելի Ասիրյան¹, Աննա Ռուբենի Թորգոմյան², Աշոտ Հարությունի
Անտոնյան³

¹Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

²ՍՊԸ Arte Italia furniture, ք. Երևան, ՀՀ

³ՍՊԸ Safege-Eptisa, ք. Երևան, ՀՀ

*asiryan@ysuac.am

Դիտարկվում են նանոմոդիֆիկացված բետոնների կառուցվածքագոյացման առանձնահատկությունները՝ նպաստակ ունենալով օժտել բետոնները և բետոնային խառնուրդները հատուկ հատկություններով, որոնք անհրաժեշտ են տվյալ դեպքում: Նշվում է նանոմոդիֆիկատորների ակտիվ դերը բետոնային խառնուրդների և բետոնների սկզբնական կառուցվածքագոյացման ընթացում ի հաշիվ ֆիզիկամեխանիկական փոխարկումների: Դիտարկվում են նաև կառուցվածքի ձևավորման մեթոդները պլաստիկ բետոնախառնուրդը՝ պինդ մարմնի անցնելու ընթացքում:

Առանցքային բառեր. բետոնախառնուրդ, բետոն, նանոմոդիֆիկացում, կառուցվածքագոյացում, հիդրատացում

INFLUENCE OF STRUCTURIZATION ON PROPERTIES OF THE NANOMODIFIED
CONCRETE

Albert Asiryan^{1*}, Anna Torgomyan², Ashot Antonyan³

¹National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

²“Arte Italia furniture” OJSC, Yerevan, RA

³“Safege-Eptisa” OJSC, Yerevan, RA

*asiryan@ysuac.am

The features of the process of structure formation of nanomodified concretes are considered aimed at controlling and giving concrete mixes and concrete the required properties that are necessary for operation in specific conditions.

The active role of nanomodifiers in the course of formation of initial structure of concrete mix and concrete due to physical-mechanical transformations is noted. Methods for the formation of a structure in a complex sequence of nanostructural transformations in the process of a plastic concrete mixture transition to a solid state are considered as well.

Keywords: concrete mix, concrete, nanomodifying, structurization, hydration

Литература

1. Строкова В.В., Жерновский Н.В., Череватова А.В. Наносистемы в строительном материаловедении. – М.: Изд-во ЛАНЬ, 2017. – 236 с.

2. **Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В.** Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. - М.: МГСУ, 2013. – 204 с.
3. **Асирян А.М.** Проблемы технологии бетона и железобетона. – Ереван: ЕГУАС, 2013. - 224с.

References

1. Strokova, V.V., Jernovskiy, N.V., Cherevatova, A.V. (2017), *Nanosistemi v stroitelnom materialovedenii [Nanosystems in building materials science]*. Moscow, LAN Publ., 236 p. (in Russian)
2. Bajenov, Yu.M., Alimov, L.A.,Voronin, V.V. (2013), *Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tehnogennih othodov [Structure and properties of concrete with nanomodifiers based on industrial waste]*. Moscow, MGSU Publ., 204 p. (in Russian)
3. Asiryan, A.M. (2013), *Problemi tehnologii betona I jelezobetona [Problems of technology of concrete and reinforced concrete]*. Yerevan, YSUAC Publ., 224 p. (in Russian)

Աշխատանքն իրականացված է ՀՀ պետական բյուջեից գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության բազայի ֆինանսավորմամբ «ՀՀ քաղաքաշինական, 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 անվան Քաղաքաշինության, ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, տ.գ.ա., (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am,
Թորգոմյան Աննա Ռուբենի, տ.գ.թ. (ՀՀ, ք.Երևան) - ՄՊԸ Arte Italia furniture, (+374) 94702007, **Աշոտ Հարությունի Անտոնյան, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք.Երևան) - ՄՊԸ Safeg-Eptisa, (+374) 77609980
Асирян Альберт Михайлович, д.т.н., проф. (РА, г.Ереван) - НУАСА, Проблемная лаборатория Градостроительства, архитектуры и строительства им. ак. Таманяна, (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am, **Анна Рубеновна Торгомян, к.т.н.** (РА, г.Ереван) - ООО Arte Italia furniture, (+374) 94702007, **Антонян Ашот Артурович, к.т.н.** (РА, г.Ереван) - ООО Safeg-Eptisa, (+374) 77609980
Asiryan Albert, doctor of science (engineering), prof. (RA, Yerevan) – NUACA, Problem Laboratory of Urban Development, Architecture, Construction after Academician Al. Tamanyan, senior researcher, (+374) 93974040, asiryan@ysuac.am; **Torgomyan Anna**, (RA, Yerevan) – Arte Italian furniture LLC, (+374)94702007, **Antonyan Ashot doctor of philosophy (PhD) in engineering** (RA, Yerevan) - ООО Safeg-Eptisa, (+374) 77609980

Ներկայացվել է՝ 21.08.2018թ.
 Ընդունվել է տպագրության՝ 29.08.2018թ.