

DOI:10.12737/article_5b115a69c33f63.15191670

Глаголев Е.С., канд. техн. наук, доц.,
Воронов В.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭФФЕКТИВНОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА

naukavs@mail.ru

Мировой энергетический кризис привел к резкому подорожанию энергоресурсов и поставил перед человечеством задачи о необходимости изыскать конкретные пути его преодоления во многих сферах жизнедеятельности человека. Это не могло не затронуть область строительства в целом и конкретно его главную отрасль – промышленность строительных материалов. Задачей которой является создание инновационных технологий получения строительных композитов, способных конкурировать на мировом рынке. Одним из эффективных строительных материалов в настоящее время является пенобетон. В результате проведенных исследований получено композиционное вяжущее с использованием техногенных отходов для монолитного пенобетона.

Ключевые слова: геоника, энергосбережение, композиционное вяжущее, наполнители, пластификаторы, пенообразователь, пенобетон.

Введение. Одним из важнейших объектов государственного регулирования в настоящее время является высокие требования к тепловой защите зданий и сооружений и создание комфортной среды проживания человеку.

Выполнение этих требований входит в комплекс мер по энергосбережению и предполагает широкомасштабное производство высокоэффективных и экологически чистых теплоизоляционных стеновых материалов [1].

Реализация теоретических положений и системный подход к решению проблем, сформулированных в рамках геоники, являются методологической основой для создания эффективных строительных композитов. Разработка новых инновационных композиционных материалов для ограждающих конструкций зданий и сооружений, обладающих улучшенными теплотехническими параметрами, должны соответствовать повышенным требованиям к сопротивлению теплопередаче, что позволит сократить потери тепла и снизит потребление энергоресурсов [2–4].

Повышение термического сопротивления в 3–3,5 раза приводит к увеличению толщины стен из керамзитобетона с плотностью 450 кг/м^3 до 500–700 мм с 390 мм, а из традиционного кирпича с плотностью 1500 кг/м^3 до 1000–1200 мм вместо 510–640 мм, что экономически нецелесообразно [1, 5, 6].

Одним из эффективных строительных материалов в настоящее время является пенобетон. Он широко используется в 40 странах и пользуется большой популярностью в Германии, Чехии, Голландии, Скандинавских странах, Например, в Швеции из этого эффективного материала возводится более 50 %

конструкций. В нашей стране пенобетоны составляют всего 15 % от общего выпуска ячеистых бетонов [7, 8]

Интенсивное развитие малого и среднего бизнеса в настоящее время в производстве строительных материалов требует от разработчиков современных эффективных доступных технологий, обладающих малой фондоотдачей и низкой себестоимостью выпускаемой продукции [8–10].

Применение эффективных пенобетонов в монолитной технологии строительства позволяет проектировать и возводить здания, привлекательные по своему объемно-планировочному решению и внешнему виду и одновременно обеспечивающие теплотехнические и прочностные требования [11]. Монолитное строительство позволяет снизить материалоемкость и повысить надежность современных зданий. Применение ячеистого бетона – это самый экономичный и наиболее простой путь повышения энергоэффективности здания за счет увеличения эффективности внешних ограждающих конструкций здания [9, 12].

Исходя из сравнительных характеристик с другими стеновыми материалами следует отметить следующее:

– благодаря пористой структуре пенобетон обладает высокими теплоизоляционными свойствами, превышающими теплоизолирующую способность кирпичной стены в 3–3,5 раза;

– возможность получения широкого диапазона плотностей пенобетона определяет назначение изделий и условия эксплуатации, так плотность $400\text{--}600 \text{ кг/м}^3$ – для получения теплоизоляционных изделий, $700\text{--}1100 \text{ кг/м}^3$ – для теплоизоляционно-конструкционных изделий

(блоки, плиты, перемычки), 1200 кг/м³ и выше – для конструкционных изделий;

– при низкой объемной массе пенобетон обладает достаточно высокой прочностью на сжатие (3,5–5,0 МПа). Рекомендуемая этажность возводимых зданий до 3-х этажей. При разработке определенных конструкторских решений возможно применение в высотных зданиях;

– малый вес пенобетонных блоков позволяет значительно снизить расходы на транспортировку и монтажные работы;

– мелкопористая структура пенобетона способна обеспечить дополнительный объем для миграции воды при её замерзании, что приводит к увеличению морозостойкости более F35 (до F50–F100);

– пенобетон является не горючим материалом, так как стена из этого материала выдерживает воздействие огня в зависимости от толщины до 5 часов; биостоек, не подвержен гниению и старению;

– применяемые сырьевые материалы обладают средней удельной активностью радионуклидов не превышающей требования ГОСТа (75,5 Бк/кг против величины 370 Бк/кг), что делает материал экологически безопасным;

– изделия из пенобетона легко поддаются обработке;

– обладают «шумоглушением» до 58 ДБ.

Главное отличие пенобетона от других материалов заключается в его пористой структуре. Глядя на нее, становится понятно, почему пенобетон называют ячеистым бетоном, и почему его относят к группе легких бетонов. При этом нужно отметить: при производстве данного материала пористость бетона можно регулировать и, таким образом, получать материал с различными свойствами для разного вида назначений [9, 13, 14].

Технология создания пенобетона проста, но в то же время очень интересна. Данный материал создается с помощью равномерного распределения воздушных пузырьков по всей массе бетона. Такой процесс выполняется путем механического перемешивания специально приготовленной для этого (с помощью пенообразователей) пены с бетонной смесью, имеющей в своем составе цемент, воду и, часто, песок. При этом никаких активно протекающих химических процессов, как, например, при изготовлении газобетона, в данном случае не происходит.

В результате полученные таким способом пенобетоны имеют низкую плотность и мелкодисперсионную равномерную пористость. Данная структура наделяет материал отличительными свойствами.

Однако при всех положительных характеристиках пенобетона, следует отметить повышенную усадку при высыхании, снижающей трещиностойкость неавтоклавного пенобетона. Этот факт является сдерживающим для монолитного строительства.

Обеспечение стабильности тонкодисперсной ячеистой структуры и прочности матрицы пенобетона может быть достигнуто за счет применения эффективных пенообразователей и стабилизаторов структуры пены, разработки новых видов вяжущих веществ и их механохимической активации, применения высокодисперсных химических модификаторов (микрокремнезема, частиц глинистой фракции и пр.) [15–18].

Методология. Методология базируется на обобщении, эксперименте, сравнении, методах математического и компьютерного моделирования. При проведении и обработке исследований соблюдались требования нормативных документов.

Композиционное вяжущее было получено в результате совместного помола портландцемента с наполнителем в различном соотношении с добавками суперпластификатора и пенообразователя.

Основная часть. При получении пенобетона большая роль отводится наполнителю, т.к. он, с одной стороны, сокращает расход вяжущего, а с другой – снижает усадку при твердении изделия. При этом важно, чтобы наполнитель проявлял химическую активность и участвовал в формировании структурной прочности.

Имеются многочисленные данные по использованию различных наполнителей, проявляющих гидравлические свойства по отношению к портландцементу. Среди них положительно оцениваются техногенные продукты – золы ТЭС, металлургические шлаки, промышленные шламы и т.п. В качестве объекта исследований нами была использована зола Новотроицкой ТЭС (Челябинская обл.). Химический состав золы приведен в табл. 1.

Химический состав характеризуется высоким содержанием оксидов кремния и алюминия, на долю которых приходится более 80 % от общей массы пробы. Такое высокое содержание указанных оксидов должно способствовать повышенной активности золы по отношению к портландцементу.

В эксперименте использовался портландцемент производства ОАО «Себряковцемент» ЦЕМ II/A – Ш 42,5 Н, ГОСТ 31108–2003. В качестве пластифицирующей добавки – суперпластификатор Muraplast FK 19 – универсальный разжижитель для строительных растворов на основе портландцемента, шлакопортландцемент-

та, глиноземистого цемента, композиционных вяжущих. Суперпластификатор получен на основе полимера эфиров поликарбоксилатов, порошок белого цвета, характеризуется высокой растворимостью в воде. Производство – Германия. В качестве пенообразователя – Морпен –

темно-коричневая жидкость без осадка и расслоения, плотность 1100–1200 кг/м³, производитель – ООО «ЩИТ», г. Шебекино, Белгородская обл.

Таблица 1

Химический состав золы Новотроицкой ТЭС

п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	BaO	Cl	V ₂ O ₅	ZnO	SrO	Σ
6,07	58,6	24,3	5,32	2,28	0,868	0,703	0,483	0,488	0,341	0,089	0,072	0,061	0,021	0,02	0,018	0,012	99,8

Цементно-золенные смеси с различным соотношением обоих компонентов подвергались совместному помолу в лабораторной вибромельнице с одинаковым временным интервалом. При этом фиксировалась их удельная поверхность. Далее готовились пеноцементные смеси по методике «сухой минерализации», как

наиболее удобной при использовании низкократных пен). Добавки пенообразователя и суперпластификатора составляли 0,2 и 0,1 % от массы цемента, соответственно. После пропаривания и высушивания образцы показали следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические показатели образцов пенобетона

№ п/п	S _{уд.} , м ² /кг	Цемент, масс. %	Зола, масс. %	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
1	496,6	100	-	516	1,49
2	530,5	90	10	550	1,69
3	587,0	80	20	561	2,06
4	632,0	70	30	573	2,36
5	669,5	60	40	589	2,91
6	712,0	50	50	558	2,61

Анализ полученных результатов выявил следующие закономерности. При измельчении цементно-золенных смесей по мере увеличения содержания золяного компонента возрастает удельная поверхность продукта помола. Так, с 496,6 м²/кг (тонкость помола цемента) удельная поверхность при составе цемент: зола, равном 50:50 (1:1) увеличилась до 712 м²/кг, что указывает на меньшие энергозатраты при помолу и хорошую размолоспособность золы. При этом не наблюдается налипания материала на стенки мельничного барабана и мелящие тела, что происходит при помолу цемента без добавки золы.

С ростом количества золы возрастают плотность пенобетона и его механическая прочность. Это происходит до содержания золы 40 % и далее наблюдается некоторое снижение значений плотности и прочности. Однако, сравнивая результаты составов №№ 5 и 6 (табл. 2), следует учесть, что прочность образцов 6-го состава незначительно отличается от прочностных показателей состава № 5 (показавших наибольшую

прочность), а плотность имеют наиболее низкую. Кроме того, в плане экономии цемента и снижении усадочных явлений, состав № 6 представляется более предпочтительным.

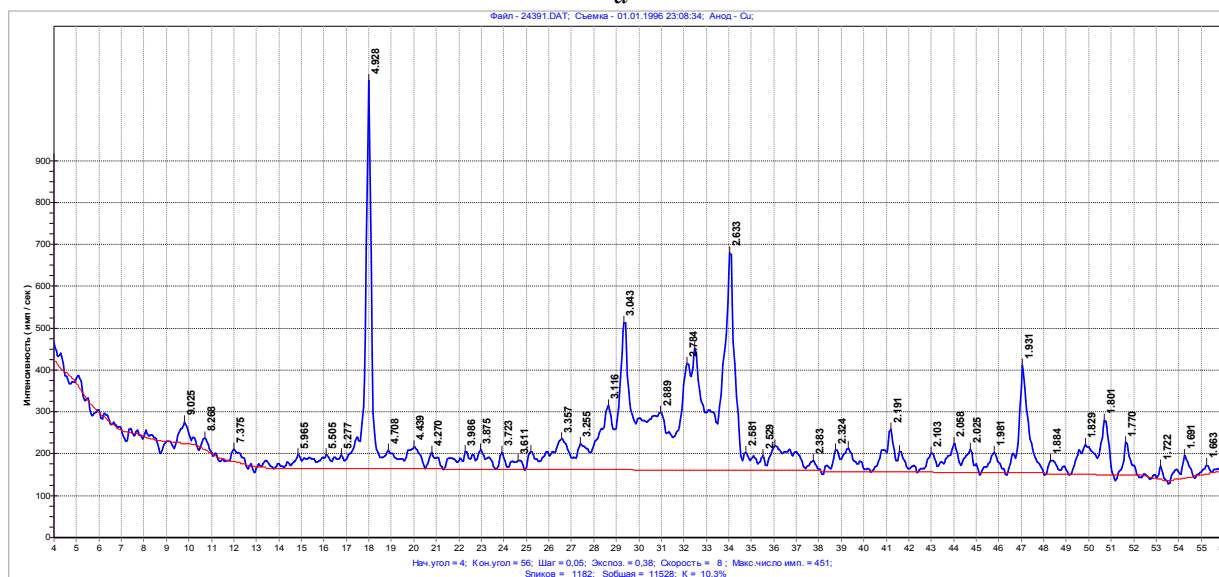
Исследования рентгенофазового анализа показали, что в образцах состава № 1 (без добавки золы) в основном превалирует портландит, образовавшийся при гидратации клинкерных минералов (пики отражения 4,93; 2,63; 1,93 Å). В образцах состава № 6 высота этих пиков значительно уменьшилась, что свидетельствует об активном взаимодействии кремнеземсодержащей части золы с портландитом (рис. 1). Таким образом исследования показали, что разработанное цементно-золяное композиционное вяжущее является эффективным для монолитного пенобетона, за счет активного взаимодействия механоактивированной кремнеземсодержащей части золы с портландитом, при этом образуется дополнительное количество мелкозернистых кристаллов гидросиликатов кальция, проростающих в массе наполнителя, что допол-

нительно уплотняет и упрочняет структуру композита.

Увеличение количества вводимой золы до 40 % повышает плотность и механическую прочность, дальнейшее увеличение содержания

золы приводит к незначительному снижению этих показателей. Снижение плотности положительно влияет на усадку, т.е. приводит к уменьшению усадочных трещин и экономит 50 % цемента.

а



б

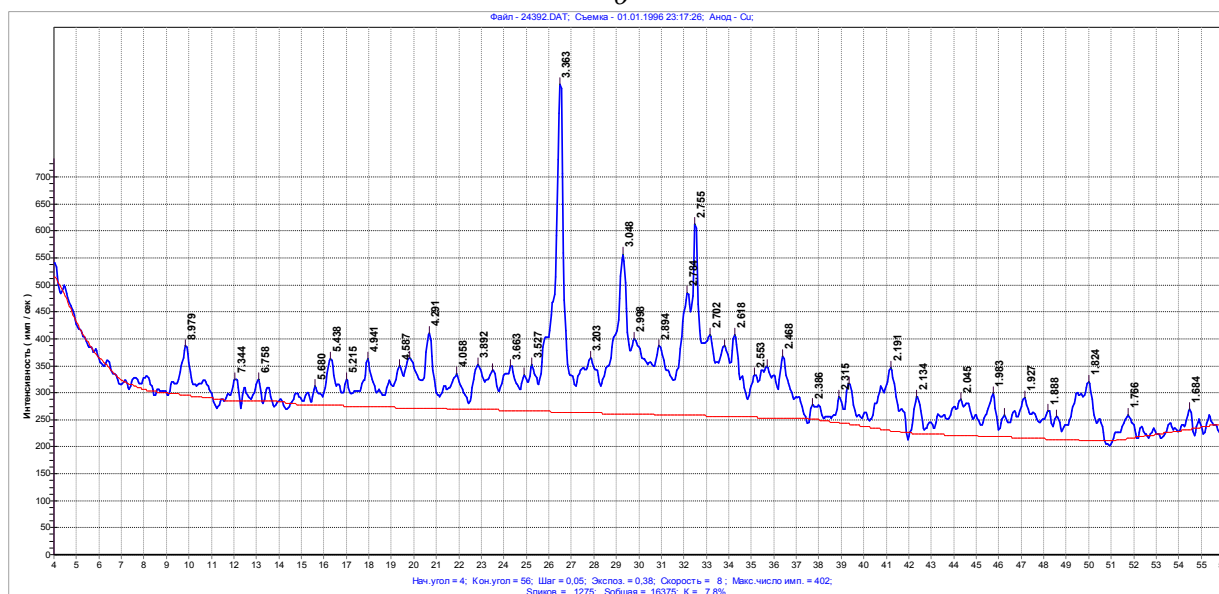


Рис. 1. Рентгенограммы образцов пенобетона:
а – состав № 1; б – состав № 6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2302–2003. Тепловая защита зданий. Нормы проектирования. М.: ГУПЦПП, 2003. 31 с.
2. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография (2-е изд.). Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.
3. Лесовик, В.С. Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77-83.

4. Петрянина Л.Н., Викторова О.Л., Карпова О.В. Ограждающие конструкции зданий. Стены и покрытия: Учебное пособие под ред. А.П. Михеева. М.: Изд-во АСВ, 2008. 200 с.
5. Рахимов Р.З., Шелихов Н.С. Современные теплоизоляционные материалы. Казань: КГАСУ, 2006 г. 392 с.
6. Барина Л.С. Актуальные задачи и перспективы развития промышленности строительных материалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 10. С. 10.

7. Сахаров Г.П., Скориков Е.П. Неавтоклавный энергоэффективный поробетон естественного твердения // Известия вузов. Строительство. 2005. № 7. С. 49–54.

8. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Новые технологии высокопоризованных бетонов // Поробетон – 2005: матер. Междун. научно-практ. конф. Белгород, 2005. С. 6–16.

9. Коломацкий, А.С. Свойства ячеистых бетонов [Электронный ресурс] / Интернет-сайт «Мир пенобетона» <http://penobeton.intbel.ru/product/props>.

10. Lagoaz A., Szymanski P., Walczak P. Influence of the fly ash propepti of autoclaved aerated concrete // 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete “Securing a sustainable future” to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland. 14–17 September, 2011. University of Technology and Life Sciences.

11. Меркин А.П. Научные и практические основы улучшения структуры и свойств поризованных бетонов: дис. ... докт. техн. наук: 05.484. М., 1971, 270 с.

12. Basiurski J., Wells D. The use of foamed concrete in construction and civil engineering // *Conspectus*, 2001, pp. 65–73.

13. ГОСТ 31359–2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия. Взамен ГОСТ 25485–89; введ. 01.06.2008. М.: НИИЖБ, 2009. – 13 с.

14. Гусев Б.В., Куликов В.Г. Обоснование строения внутреннего капиллярно-порового пространства пенокомпозитов структурой пены ПАВ // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 21.

15. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1973. 479 с.

16. Бабушкин В.И. Пенобетонные смеси ускоренного твердения // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2003. № 4. С. 69–73.

17. Хитров А.В., Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я. и др. Современные строительные пены // *Сб.тр. Инженерно-химические проблемы пеноматериалов третьего тысячелетия*. СПб, ГУПС, 1999. С. 62–71.

18. Моргун В.Н. Влияние формы компонентов на интенсивность межчастичных взаимодействий в пенобетонных смесях // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 29–31.

Информация об авторах

Глаголев Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Василий Васильевич, аспирант, кафедра строительного материаловедения, изделий и конструкций.
E-mail: naukavs@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в марте 2018 г.

© Глаголев Е.С., Воронов В.В., 2018

E.S. Glagolev, V.V. Voronov

EFFICIENT COMPOSITE BINDERS FOR MONOLITHIC FOAM CONCRETE

A sharp rise in the price of energy and heat carriers caused a crisis in construction production. One of the ways out of it is the development and implementation of new effective technologies of building materials, products and structures, characterized by simplicity, mobility, economy, high performance and competitiveness of manufactured products that meet the market requirements. One of the most effective building materials nowadays is foam concrete. As a result of the carried out researches the composite binder with use of technogenic waste for monolithic foam concrete is received.

Keywords: *geonics, energy saving, composite binder, fillers, plasticizers, foaming agent, foam concrete.*

REFERENCES

1. SNiP 2302-2003. Thermal protection of buildings. Design standards. Moscow: GUPCUP, 2003. 31 p.

2. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics). Examples of realizations in building materials science:

monograph (2nd ed.). Belgorod: BSTU Publishing House, 2016, 287 p.

3. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics) as a transdisciplinary direction of research. Higher education in Russia, 2014, no. 3, pp. 77–83.

4. Petryanina L.N., Viktorova O.L., Karpova O.V. Building fencing structures. Walls and covers: Textbook ed. A.P. Mikheyev. Moscow: Publishing House of DIA, 2008, 200 p.
5. Rakhimov R.Z., Shelikhov N.S. Modern thermal insulation materials. Kazan: KSASU, 2006, 392 p.
6. Barinova L.S. Actual problems and perspectives of the development of the building materials industry. Building materials, equipment, technologies of the XXI century, 2000, no. 10, pp. 10.
7. Sakharov GP, Skorikov EP Non-auto-key energy-efficient porous concrete of natural hardening. Izvestiya Vuzov. Building, 2005, no. 7, pp. 49–54.
8. Gridchin A.M., Lesovik V.S., Gladkov DI, Suleymanova LA New technologies of highly porous concrete. Porobeton - 2005: mater. Intern. scientific and practical work. Conf. Belgorod, 2005. pp. 6–16.
9. Kolomatsky, A.S. Properties of cellular concrete [Electronic resource] / Internet site "World of foam concrete" <http://penobeton.intbel.ru/product/props>.
10. Lagoaz A., Szymanski P., Walczak P. Influence of the phytomediation of autoclaved aerated concrete. 5 International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable future" to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland. 14-17 September, 2011. University of Technology and Life Sciences.
11. Merkin A.P. Scientific and practical basis for improving the structure and properties of pored concrete: dis. ... Doct. tech. Sciences: 05.484. M., 1971, 270 p.
12. Basiurski J., Wells D., The use of foamed concrete in construction and civil engineering, Conspicuum, 2001, pp. 65–73.
13. GOST 31359-2007. Concretes are cellular autoclaved hardening. Technical conditions. - In exchange for GOST 25485-89; Enter. 06/01/2008. Moscow: NIIAB, 2009, 13 p.
14. Gusev B.V., Kulikov V.G. Substantiation of the structure of the internal capillary-porous space of foam composites by the structure of SAW foam. Stroitel'nye materialy, 2009, no. 8, p. 21.
15. Volzhensky A.V. Mineral knitting substances. Moscow: Stroizdat, 1973. 479 p.
16. Babushkin V.I. Foam concrete mixtures of accelerated hardening. Bulletin the BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, no. 4, pp. 69–73.
17. Khitrov A.V., Svatovskaya L.B., Solovieva V.Ya. and others. Modern construction sites. Sb. Engineering and chemical problems of foams of the third millennium. SPb, GUPS, 1999. pp. 62–71.
18. Morgun V.N. Influence of the form of components on the intensity of interparticle interactions in foam-concrete mixtures. Stroitel'nye materialy, 2007, no. 4, pp. 29–31.

Information about the author

Evgeniy S. Glagolev, PhD, Assistant professor.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st. 46.

Vasiliy V. Voronov, Postgraduate student.
E-mail: naukavs@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st. 46.

Received in March 2018