

14. Прокопец В.С. Иваницкий Ю.В. Органическое вяжущее на основе нефтяного гудрона и активированной резиновой крошки для укрепления грунтов. Учебное пособие. Омск. Академия, 2005.

15. Гохман Л.М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон. Учебно-методическое пособие. М., ЗАО «ЭКОНОМ-ИНФОРМ», 2008. 117 с.

Информация об авторах

Селицкая Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог, изделий и конструкций.

E-mail: khoruzhaya@front.ru

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

Лашин Максим Викторович, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог.

E-mail: nedostypnbli@yandex.ru

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

Красников Иван Андреевич, студент.

E-mail: VannikovBelgorod@yandex.ru

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

Поступила в марте 2018 г.

© Селицкая Н.В., Лашин М.В., Красников И.А., 2018

N.V. Selitskaya, M.V. Lashin, I.A. Krasnikov
BITUMEN-RUBBER BENDING MATERIALS APPLICATION IN AUTOMOBILE
AND RAILWAYS CONSTRUCTION

Russian roads and railways are among the largest transport networks in the world. Being the basis of the country's transport system, it has extremely important economic, state, defense and social significance. The enormous importance of these transport networks requires the search for rational ways and technologies to improve the quality and technical characteristics of roads and railways. The search for new materials and technologies to improve the quality of roads is vital for the development of the country as a whole. Focus on high-speed movement with a large volume of cargo and large passenger turnover is becoming an increasing problem for today, and the imposition of sanctions requires the exploration and development of domestic technology of construction and repair of roads.

In this article the use of organic binders perspective based on bitumen and vulcanized crumb rubber is considered and methods for improving the quality characteristics of roads and railways are observed.

Keywords: bitumen, rubber-asphalt concrete, astringent, rubber crumb.

REFERENCES

1. Ahmedov S.A., Technology of deep oil and gas processing. Textbook for high schools. Ufa: Gilem, 2002, 672 p.

2. Grushko I.M., Korolev I.M. Road-building materials. Textbook for high schools. Revised and updated. M.: Transport, 1991, 357 p.

3. Dzhumayeva O., Solodova N.L., Emel'yancheva E.A. The main trends of bitumen production in Russia. Bulletin of the Technological University, 2015, vol. 18, no. 20, pp. 132–135.

4. GOST 22245-90. Bitumens petroleum road viscous. Introduce. 1991.01.01 change as of 21.12.2017. M.: Publishing house of standards, 1996, 77 p.

5. Composite bituminous rubber materials BITREK and their application in road construction.

NPG INFOTECH. Available at: / URL: http://snipov.net/data-base/c_4294966400_doc_4293849068.html, (accessed 10/01/2017).

6. STO 58528024.001-2013. Composite bituminous binders BITREK. Enter. 01.12.2013. Moscow: FSUE STANDARTFORM 2014, 13 p.

7. Prokopets V.S., Ivanova T.L. Asphaltic concrete containing mechanically activated rubber chips Patent RF no 2008108049/03, 2009.

8. Duhovny G.S., Sackova A.V., Karpenko D.V., Application of rubber chips in road construction in the framework of import substitution. "Scientific technology and innovation" Proc. of the International Scientific and Practical Conference. BSTU. V.G. Shukhov. Publ., 2016, pp. 79–82.

9. Tyunkov V.V., Bocherova O.A., Voronova Y.V. Ballast prism for high-speed cargo-loaded sections of a seamless railway track. Patent RF, no. 2011114322/11, 2013.

10. Michurin O.A., Fedorov A.V., Khrulev A.V., Shaula Y.I. Method for strengthening the ballast railroad prism. Patent RF, no. 20111117757/11, 2012.

11. Recommendations for the use of bitumen-rubber composite binders for the construction and repair of road surfaces (for advanced applications). Enter. 02.05.2003 change. 01.10.2008. Ministry of Transport of the Russian Federation, State Road Service (Rosavtodor). Moscow, 2003, 20 p.

12. Barabash D.E., Nikitchenko A.A. Optimization of compositions of highly filled reinforced polymer compositions. News of the university. Building, 2006, no. 5, pp. 44–48.

13. Gohman L.M. Regulation of the processes of structurization and the properties of road bitumen additives divinylstyrene thermoplastic elastomers. M., 1974, 277 p.

14. Prokopets V.S. Ivanitsky Y.V. Organic binder based on petroleum tar and activated rubber crumb for strengthening soils. Omsk. Academy, 2005, 88 p.

15. Gohman L.M. Bitumen, polymer-bitumen binders, asphalt concrete, polymer-concrete. M.; "ECONOM-INFORM", 2008, 117 p.

Information about the author

Natalya V. Selitskaya, PhD, Assistant professor.

E-mail: khoruzhaya@front.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Maxim V. Lashin, Postgraduate student.

E-mail: nedostupnbli@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ivan A. Krasikov, student

E-mail: BannikovBelgorod@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2018

Для цитирования:

Селицкая Н.В., Лашин М.В., Красников И.А. Применение битумно-резиновых вяжущих материалов при строительстве автомобильных и железных дорог // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 13–18. DOI: 10.12737/article_5b6d58412e2967.35192709

For citation:

Selitskaya N.V., Lashin M.V., Krasnikov I.A. Bitumen-rubber bending materials application in automobile and railways construction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 13–18. DOI: 10.12737/article_5b6d58412e2967.35192709

DOI: 10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511

Танг Ван Лам, аспирант,
Нго Суан Хунг, аспирант,
Булгаков Б.И., канд. техн. наук, доц.,
Александрова О.В., канд. техн. наук, доц.,
Ларсен О.А., канд. техн. наук, доц.,
Орехова А.Ю., студент,
Тюрина А.А., студент

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЦЕМЕНТИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Золошлаковые отходы, образующиеся в результате сжигания твердого топлива, подвергнутые активации, благодаря своему индексу активности, малому размеру частиц, химическому, а также фазовому составу широко используются как добавки в технологии получения цементов и бетонов, что позволяет корректировать их свойства в нужном направлении, а также значительно снизить расход цемента в композиционных материалах. В работе использованы тонкодисперсные зольно-топливные отходы для повышения экономической эффективности производства цементов, а также с целью решения экологических проблем.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что замена от 10 до 40 % масс. цемента на золу-уноса (ЗУ) или зольный остаток (ЗО) в составе вяжущего хотя и приводит к снижению прочностных показателей образцов из цементно-зольно-песчаной смеси вне зависимости от времени их твердения и тем сильнее, чем в большем количестве произведена такая замена, но одновременно способствует повышению равномерности изменения объема затвердевшего цементно-зольного теста. Выявлена возможность замены до 40 % масс. портландцементного клинкера на золу-уноса или на зольный остаток для получения пуццолановых цементов, которые имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения, соответственно, 33,9 МПа и 25,6 МПа.

Ключевые слова: *загрязнение окружающей среды, золошлаковые отходы, зола-уноса, зольный остаток, цементно-зольно-песчаная смесь, портландцементный клинкер, прочность на сжатие.*

Введение. С целью получения модифицированных бетонов в мире, в том числе и во Вьетнаме, широко применяются различные тонкодисперсные неорганические добавки природного и техногенного происхождения, которые в зависимости от своего минерального состава обладают пуццолановой или гидравлической активностью и служат как для экономии цемента, так и для уплотнения структуры искусственного камня. Например, микро- и нанокремнезем, метакаолин, ЗУ, ЗО, природные пуццоланы и др. [1–5].

Зола-уноса является тонкодисперсным материалом, состоящим из частичек размером до 0,14 мм, которые образуются в результате сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях, после чего улавливаются электрофильтрами и в сухом состоянии с помощью пневмотранспорта поступают в силосы-накопители [6].

Зольный остаток – несгоревший остаток с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей при сжигании твердого топлива и осаждаемый из дымовых газов золоулавливающими устройствами. В зависимости от

вида топлива зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, буроугольную, сланцевую, торфяную и др. [7].

Во Вьетнаме в последние годы из-за большой потребности в электроэнергии наблюдается значительный рост количества тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, что приводит к появлению большего количества золошлаковых отходов.

Промышленные отходы, в том числе топливные, являются очень серьезной причиной возникновения проблем экологического характера, вызывающих загрязнение почвы, воды и воздуха окружающей среды во всех провинциях Вьетнама. При этом, уровень повторного использования техногенных отходов весьма ограничен и составляет всего около 2–5 % [8, 9].

Тепловая электростанция в индустриальном парке «Вунг Анг», расположенная в центральной части Вьетнама, начала свою работу в 2012 году. Ежегодно она образует примерно 1 млн. т. различных золошлаковых отходов, которые помимо загрязнения воздуха вызывают также серьезное загрязнение морской воды, приведшее в 2016

году к массовой гибели рыбы и морских животных (рис. 1) [10].

Поэтому использование отходов сжигания твердого топлива - это не столько вопрос эконо-

мии материальных ресурсов, сколько необходимость решения проблемы возрастающего загрязнения окружающей среды и, следовательно, здоровья нации.



Рис. 1. Загрязнение морской воды техногенными отходами в индустриальном парке «Вунг Анг» (Вьетнам)

Обзор литературы. По материалам исследований [11, 12] уровень утилизации топливных отходов в России составляет около 10 %, в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % годового объема сухих зол-уноса и топливных зольных остатков. Кроме того, во многих странах проводится государственная политика, стимули-

рующая этот процесс. Так, в Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту золошлаковых отходов. В табл. 1 приводится обзор некоторых практических результатов использования золошлаковых отходов при производстве строительных материалов.

Таблица 1

Использование золошлаковых отходов в качестве сырья для производства строительных материалов

Год	Авторы	Название исследования	Виды материалов
1998	Баженов Ю.М. и др.	Мелкозернистый бетон [13]	Мелкозернистый бетон
2005	Malhotra V.M., Mehta P.K.	High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary cementing materials for sustainable development [14]	High performance concrete
2009	Энтин З.Б., Стржалковская Н.В.	Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента [15]	Цемент
2012	Энтин Э.Б. и др.	Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона [16]	Цемент и бетон
2018	Tang Van Lam, Boris Bulgakov & etc.	Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete [17]	High performance concrete

В данной работе было проведено исследование возможности использования золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг» в виде золы-уноса и зольного остатка в качестве дополнительного цементирующего материала при производстве цемента.

Материалы:

- портландцемент (Ц) типа ЦЕМ I 42,5 Н производства завода «Бут Сон» (Вьетнам) с истинной плотностью 3150 кг/м³;

- кварцевый песок (П) реки Ло (Вьетнам) с модулем крупности $M_k = 2,85$, истинной плотностью 2620 кг/м³ и насыпной плотностью 1570 кг/м³;

- зольный остаток (ЗО) ТЭС «Вунг Анг» класса F [18] с истинной плотностью 2220 кг/м³ и насыпной плотностью 765 кг/м³;

- зола-унос (ЗУ) ТЭС «Вунг Анг» класса F [18] с истинной плотностью 2350 кг/м³ и насыпной плотностью 812 кг/м³.

Результаты анализа ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» приведены в табл. 2 и 3, а также на рис. 2.

Таблица 2

Химический состав ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

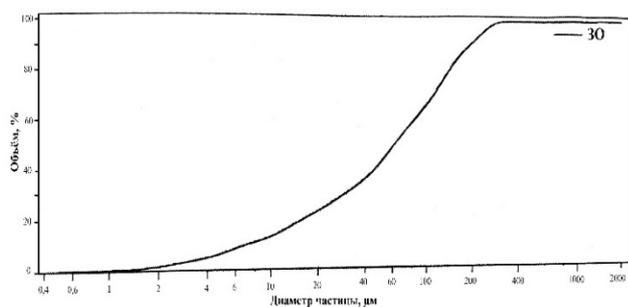
Вид топливных отходов	Средний химический состав, % масс.									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	п.п.п.
ЗО «Вунг Анг»	54,62	25,17	7,11	0,85	1,28	1,25	1,57	1,48	1,63	5,04
ЗУ «Вунг Анг»	54,91	23,1	5,67	0,37	1,05	1,71	2,53	1,55	1,6	7,51

Таблица 3

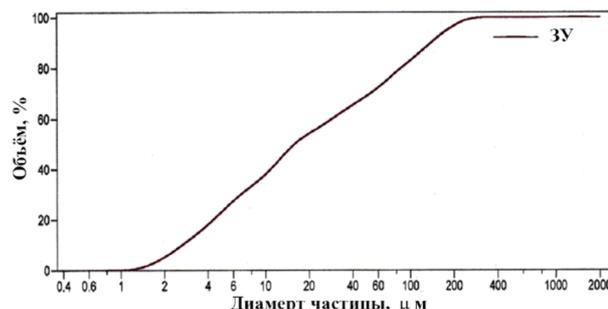
Физические характеристики ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

Свойства	ЗО «Вунг Анг»	ЗУ «Вунг Анг»
Истинная плотность, кг/м ³	2220	2350
Удельная поверхность, м ² /г	14,455	15,23
Влажность, %	5	0,06
Количество зерен, остающееся после просеивания на сите с размером отверстий 45 мкм, %	31	28,5

Частицы ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» имеют сферическую форму, их гранулометрический состав приведен на рис. 2.



(а)



(б)

Рис. 2. Гранулометрические составы: (а) ЗО и (б) ЗУ ТЭС «Вунг Анг»

Методология. Изучение гранулометрического состава, использованных золошлаковых отходов проводили с помощью метода лазерной гранулометрии (рис. 2).

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста определялись в соответствии с требованиями TCVN 6017:2015 (СРВ) [19].

Прочность на изгиб образцов-балочек размером 40×40×160 мм из цементно-зольно-песчаных растворов, а затем их половинок – на сжатие, определяли в соответствии с требованиями TCVN 6061:2011 (СРВ) [20].

Основная часть. Было исследовано влияние замены до 40 % масс. портландцемента в составе вяжущего зольным остатком или золой-уноса ТЭС «Вунг Анг» на динамику набора прочности цементно-зольно-песчаными растворами, которые твердели в течение от 3 до 28 суток в нормальных

условиях. Предварительно золошлаковые отходы высушивали и механоактивировали измельчением до состояния мелкодисперсного порошка с помощью смесителя в Институте строительной науки и технологии (СРВ) (рис. 3).

Образцы для испытаний на прочность формовали из растворяемых смесей, соблюдая соотношения Вяж : П = 1 : 3 и В/Вяж = 0,5, согласно требованиям стандарта TCVN 6061:2011. Содержание ЗО и ЗУ в образцах варьировалось в пределах от 0 до 40 % от массы вяжущего (цемент + топливные отходы). Составы указанных растворов приведены в табл. 4. Из полученных растворов изготавливали по 3 образца-балочки с размерами 40×40×160 мм (рис. 4), на которых после их твердения в нормальных условиях в течение 28 суток сначала определяли прочность цементно-зольно-песчаного камня на растяжение при изгибе (рис. 5), а после этого, на их половинках - прочность на сжатие (рис. 6).



Рис. 3. Измельченные золошлаковые отходы ТЭС «Вунг Анг» (Вьетнам)



Рис. 4. Образцы-балочки из цементно-зольно-песчаных растворов

Таблица 4

Составы цементно-зольно-песчаных растворов

Сырьевые материалы	Содержание ЗУ или ЗО в цементно-зольно-песчаных растворах, % от масс. вяжущего				
	0 (контрольный)	10	20	30	40
Ц, г	450	405	360	315	270
П, г	1350	1350	1350	1350	1350
ЗУ (или ЗО), г	0	45	90	135	180
В, мл	225	225	225	225	225



Рис. 5. Определение прочности образцов на растяжение при изгибе

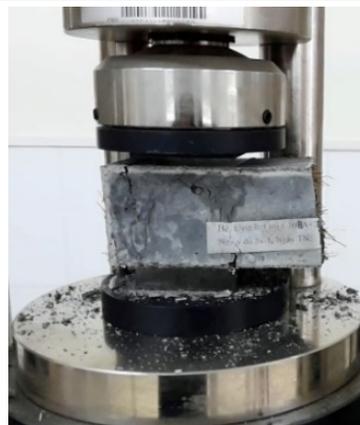


Рис. 6. Определение прочности образцов на сжатие

Зависимость прочности цементно-зольно-песчаного камня при изгибе и на сжатие от количества ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг», введенных взамен части цемента, в различных возрастах нормального твердения представлена в табл. 5 и на рис. 7 и 8.

Из изображенных на рис. 7 результатов видно, что с уменьшением содержания цемента проч-

ность на сжатие во всех возрастах твердения искусственного камня снижается и замена 40 % масс. цемента на зольный остаток ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего и приводит к снижению прочностных показателей образцов в возрасте 28 суток на 51 %, по сравнению цементно-песчаным камнем, не содержащим золошлаковых отходов

Таблица 5

Средняя прочность образцов на растяжение при изгибе в зависимости от содержания ЗО и ЗУ ТЭС «Вунг Анг» в растворных смесях, введенных взамен части цемента, при различном времени твердения

Возраст твердения	Прочность на растяжение при изгибе, МПа, от содержания ЗО					Прочность на растяжение при изгибе, МПа, от содержания ЗУ				
	0%	10%	20%	30%	40%	0%	10%	20%	30%	40%
3 сут.	6,9	5,7	4,4	4,2	3,9	6,9	6,3	4,5	4,2	4,0
7 сут.	7,8	7,2	6,7	5,8	5,1	7,8	7,4	6,1	5,5	4,5
14 сут.	8,2	7,8	7,4	6,7	5,4	8,2	8,0	7,3	6,8	5,4
28 сут.	9,4	8,6	7,9	7,1	6,2	9,4	9,1	8,4	7,2	6,5

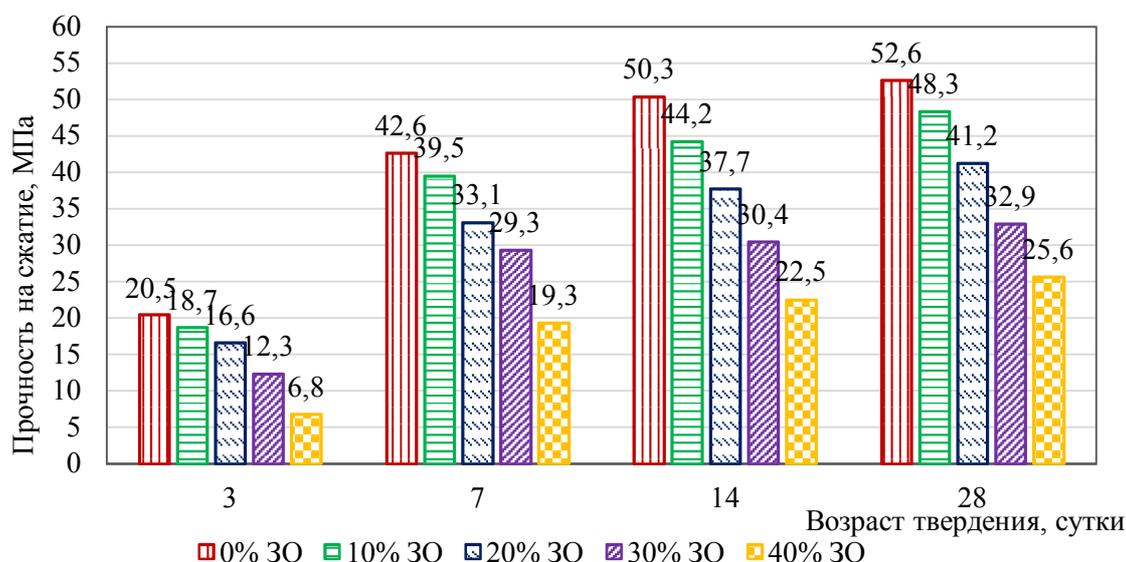


Рис. 7. Влияние замены части цемента зольным остатком ТЭС «Вунг Анг» на среднюю прочность цементно-зольно-песчаного камня на сжатие

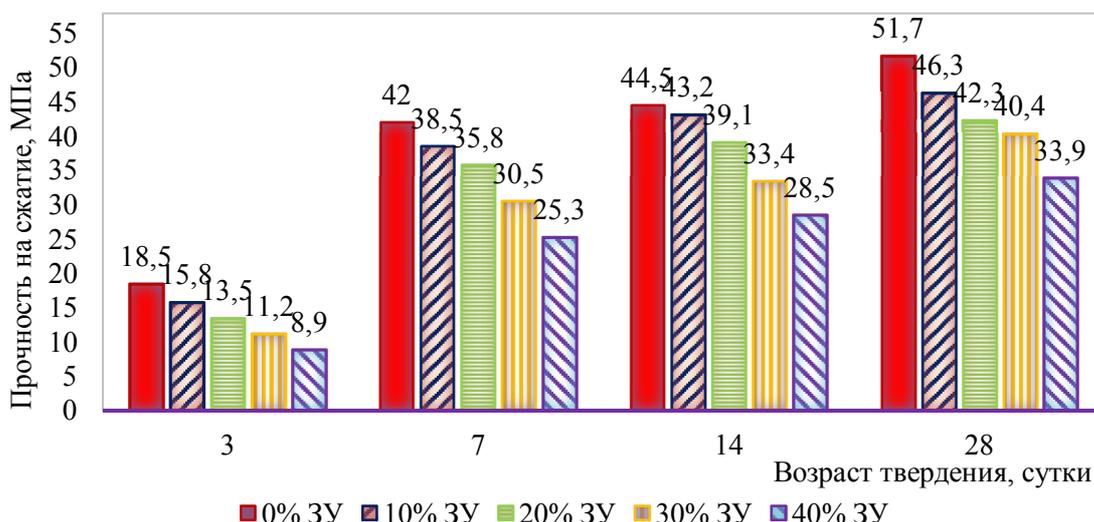


Рис. 8. Влияние замены части вяжущего золой-уноса ТЭС «Вунг Анг» на среднюю прочность цементно-зольно-песчаного камня на сжатие

Из приведенных на рис. 8 результатов исследований следует, что и как в предыдущем случае сокращение расхода цемента приводит к снижению прочности и его замена в количестве 40 % масс. на золу-уноса ТЭС «Вунг Анг» вызывает понижение прочности на сжатие испытанных образцов в возрасте 28 суток твердения на 34,4 %.

Влияния золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг» на сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста, оцениваемой по величине его расширения в кольце Ле Шателье при кипячении в воде в течение 180±5 мин. в соответствии с требованиями ТCVN 6017:2015 (СРВ), представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цементно-зольного теста

Показатели	Вид топливных отходов	Содержания золошлаковых отходов ТЭС «Вунг Анг»				
		0 %	10 %	20 %	30 %	40 %
Начало схватывания, мин.	ЗО	70	72	76	80	83
	ЗУ	70	74	75	82	84
Конец схватывания, мин.	ЗО	285	310	312	325	327
	ЗУ	285	315	316	326	329
Равномерность изменения объема, мм	ЗО	6,8	6,1	5,6	5,2	4,5
	ЗУ	6,8	6,0	5,5	4,6	4,2

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что замена до 40% масс. цемента на, соответственно, зольный остаток и золу-уноса ТЭС «Вунг Анг» в составе вяжущего хотя и ведет к снижению прочности затвердевших цементно-зольно-песчаных растворов в различных возрастах твердения, и чем в большей степени проведена такая замена, тем сильнее, но одновременно способствует повышению равномерности изменения объема цементно-зольного теста. Таким образом, выявлена возможность замены до 40 % масс. портландцементного клинкера на золу-уноса или на зольный остаток для получения пуццолановых цементов, которые имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток нормального твердения, соответственно, 33,9 МПа и 25,6 МПа. Кроме того, использование местных ЗУ и ЗО вместо импортных тонкодисперсных минеральных добавок, применяемых в настоящее время во Вьетнаме для получения бетонов и строительных растворов, позволит значительно снизить их стоимость и будет способствовать улучшению экологической ситуации в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khatib J.M. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Constr. Build. Mater.* 2008. № 22. Pp. 1963–1971.
2. Naik T.R., Ramme B.W. High early strength concrete containing large quantities of fly ash. *ACI Mater. J* 1989. № 86, pp. 111–116.
3. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. *Cem. Concr. Compos.* 2008. № 30. Pp. 880–886.
4. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30 % Cement Replacement. *Procedia Engineering*. 2013. № 51, pp. 35–44.
5. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9(2). Pp. 587–595.
6. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction, *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
7. ИТС НДТ 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигания отходов)) // Бюро НДТ, М., 2016, 208 с.
8. Government Office. Conclusions of the Prime Minister on the implementation of the production program for the utilization of unburned materials and the use of ash, slag and gypsum - waste from thermal power plants and chemical plants. *Advertisement No. 218 / ТВ-VPSP, Hanoi, 17/06/2013, 3 с.*
9. Trinh Hong Tung. Use of industrial waste for the production of building materials. *Collection of lectures for graduate students of the specialty "Building Materials" of the Hanoi Civil Engineering University. Hanoi. 2010, 25 p.*
10. Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А. Возможность использования зольных остатков для производства материалов строительного назначения во Вьетнаме // *Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»*. 2017. №6. С. 6–12.
11. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // *Журнал «Инженерно-строительный»*. 2011. №4. С. 16–22.
12. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. М., 2003, 57 с.
13. Баженов Ю.М., Магдеев У.Х., Алимов Л.А., Воронин В.В., Гольденберг Л.Б. Мелкозернистый бетон. М., 1998, 148 с.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2005, 124 p.*
15. Энтин З.Б., Стржалковская Н.В. Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента // *Цемент и его применение*. 2009. № 2. С. 106–111.
16. Энтин Э.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Зола ТЭС – сырье для цемента и бетона // *Цемент и его применение*. 2012. №2. С. 40–46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. *Publisher construction. Hanoi. 2015, 17 p.*
20. TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. *Publisher construction. Hanoi. 2011, 37 p.*

Информация об авторах

Танг Ван Лам, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: lamvantang@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Нго Суан Хунг, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: xuanhung1610@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: fakultetst@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: aleks_olvl@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов.

E-mail: larsen.oksana@mail.ru.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Орехова Анастасия Юрьевна, студент института строительства и архитектуры.

E-mail: nastyorehova@yandex.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тюрина Анастасия Александровна, студент института строительства и архитектуры.

E-mail: sony0016426@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в апреле 2018 г.

© Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Орехова А.Ю.,
Тюрина А.А., 2018

**Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, B.I. Bulgakov, O.V. Alexandrova, O.A. Larsen, A.Yu. Orekhova,
A.A. Tyurina**

USE OF ASH AND SLAG WASTE AS A SUPPLEMENTARY CEMENTING MATERIAL

The ash and slag wastes, which are formed as a result of the combustion of solid fuel, subjected to activation, due to their activity index, small particle size, chemical and phase composition are widely used as additives in the technology for obtaining cements and concretes, which allows to adjust their properties in the required direction, and also significantly reduce the consumption of cement in composite materials. This paper uses ash and slag wastes to improve the economic efficiency of cement production, as well as to solve environmental problems.

As a result of experimental studies, it has been found that the replacement of 10 to 40 % by weight cement on ash fly (FA) or ash residue (AR) in the binder composition, although it leads to a decrease in the compressive strength of samples from the cement-ash-sand mixture outside depending on the time of their hardening and the stronger the more such a replacement is made, but at the same time it helps to increase the uniformity of the volume change of the hardened cement-ash test. The possibility of replacing up to 40 % of the weight of Portland cement clinker on fly ash or ash residue for the production of pozzolanic cements, which have a compressive strength at the age of 28 days of normal hardening, respectively, is 33.9 MPa and 25.6 MPa.

Keywords: *environmental pollution, ash and slag wastes, fly ash, ash residues, cement-ash-sand mixture, portland cement clinker, compressive strength.*

REFERENCES

1. Khatib J.M. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Constr. Build. Mater*, 2008, no. 22, pp. 1963–1971.
2. Naik T.R., Ramme B.W. High early strength concrete containing large quantities of fly ash. *ACI Mater. J* 1989, no. 86, pp. 111–116.
3. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. *Cem. Concr. Compos*, 2008, no. 30, pp. 880–886.
4. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30 % Cement Replacement. *Procedia Engineering*, 2013, no. 51, pp. 35–44.
5. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2018, no. 9(2), pp. 587–595.
6. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction, *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
7. ITS NDT 15-2016. Utilization and neutralization of wastes (except for thermal treatment (incineration of waste). Byuro NDT, Moskva [Bureau NDT, Moscow], 2016, 208 p.
8. Government Office. Conclusions of the Prime Minister on the implementation of the production program for the utilization of unburned materials and the use of ash, slag and gypsum - waste from thermal power plants and chemical plants. Advertisement No. 218 / TB-VPCP, Hanoi, 17/06/2013, 3 c.
9. Trinh Hong Tung. Use of industrial waste for the production of building materials. Collection of lectures for graduate students of the specialty "Building Materials" of the Hanoi Civil Engineering University. Hanoi, 2010, 25 p.
10. Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Larsen O.A. The possibility of using ash residues for the production of construction materials in Vietnam. *Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov*, 2017, no. 6, pp. 6–12.
11. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lakhtinen P. Application of ash and ash and slag wastes in construction. *Engineering and construction*, 2011, no. 4, pp. 16–22.
12. Putilin E.I., Tsvetkov B.C. Application of fly ash and ash and slag mixtures in the construction of highways. Moscow, 2003, 57 p.
13. Bazhenov Y.M., Magdeev U. Kh., Alimov L.A., Voronin V.V., Goldenberg L.B. Fine-grained concrete. Moscow, 1998, 148 p.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa, Canada, 2005, 124 p.
15. Entin Z.B., Strzhalkovskaya N.V. Once again about fly ash from thermal power plants for cement production. *Cement and its application*, 2009, no. 2, pp. 106–111.
16. Entin E.B., Nefedova L.S., Strzhalkovskaya N.V. Ash of TPP - raw materials for cement and concrete. *Cement and its application*, 2012, no. 2, pp. 40–46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. Publisher construction. Hanoi, 2015, 17 p.
20. TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. Publisher construction. Hanoi, 2011, 37 p.

Information about the author

Tang Van Lam, Postgraduate student.

E-mail: lamvantang@gmail.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Ngo Xuan Hung, Postgraduate student.

E-mail: xuanhung1610@gmail.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Boris I. Bulgakov, PhD, Assistant professor.

E-mail: fakultetst@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Olga V. Aleksandrova, PhD, Assistant professor.
E-mail: aleks_olvl@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Oksana A. Larsen, PhD, Associate Professor.
E-mail: larsen.oksana@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Anastasia Yu. Orekhova, student.
E-mail: nastyorehova@yandex.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Anastasia A. Tyurina, Bachelor student.
E-mail: sony0016426@mail.ru
National Research Moscow State University of Civil Engineering.
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in April 2018

Для цитирования:

Танг Ван Лам, Нго Суан Хунг, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Орехова А.Ю., Тюрина А.А. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 19–27.
DOI: [10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511](https://doi.org/10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511)

For citation:

Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Orekhova A.Yu., Tyurina A.A. Use of ash and slag waste as a supplementary cementing material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 19–27. DOI: [10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511](https://doi.org/10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511)

¹Шеховцова Ю.А., PhD,²Жерновский И.В., канд. геол.-мин. наук, проф.,²Кожухова Н.И., канд. техн. наук, доц.,¹Ковтун М.Н., PhD,¹Керсли Э., PhD, проф.,²Жерновская И.В., ст. преп.¹Университет Претории, ЮАР²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПРЕССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛ-УНОСА КИСЛОГО СОСТАВА

Возможность контроля качества сырья при производстве строительных композитов является одним из ключевых преимуществ, позволяющих получать конечные продукты с заранее прогнозируемыми характеристиками. Оценку пригодности того или иного сырьевого компонента принято осуществлять на ранних этапах производственного процесса, а не в результате определения свойств конечного материала с целью оптимизации временного и сырьевого ресурсов. В рамках данного исследования предложена и апробирована экспресс-методика оценки реакционной активности зол-уноса кислого состава в геополимерных вяжущих системах. В основе этой методики лежит ранее предложенная авторами методика прогнозной оценки. В качестве определяющего параметра введен фактор K , который представляет собой комплекс параметров зол-уноса, таких как химический состав, удельная поверхность, морфология частиц, содержание стеклофазы и ее структурные особенности, которые в совокупности позволяют оценить качество техногенного алюмосиликата с высокой степенью достоверности.

Установлено, что коэффициент корреляции между параметром K и пределом прочности при сжатии геополимерного камня в возрасте 1 суток характеризуется более высоким значением по сравнению с аналогичным показателем для геополимерных образцов в возрасте 91 суток.

Установленная закономерность позволяет говорить о более высокой эффективности применения предложенной экспресс-методики оценки реакционной активности зол-уноса для геополимерных вяжущих систем на более ранних сроках твердения.

Ключевые слова: золы-уноса кислого состава, оценка реакционной активности, расчётная экспресс-методика, предел прочности при сжатии геополимеров.

Введение. Среди наиболее масштабных индустриальных источников, производящих твердофазные крупнотоннажные побочные продукты производства, являются энергетические и топливные электростанции, работающие на угольном сырье. При этом, львиная доля образующихся отходов преимущественно алюмосиликатного состава не имеет практического применения, находя свое последнее пристанище в открытых отвалах, зачастую, плохо оборудованных, инициируя негативное экологическое воздействие на прилегающие земельные территории, водные и воздушный бассейны. Наиболее остро стоит проблема утилизации отходов, содержащих в своем составе малое количество оксидов щелочноземельных металлов (CaO, MgO) и, поэтому, не проявляющих вяжущие свойства в водной среде по сравнению с традиционными гидравлическими вяжущими системами [1–5]. В то же время на основании существующего отечественного и зарубежного опыта [6–8] этот тип побочного продукта в виде зол-уноса эффективно

работает в геополимерах. Однако, с учетом особенностей использования техногенного сырья, а также слабой изученности этих вяжущих, которые являются относительно новыми, существует ряд задач исследовательского характера, ориентированных на получение высококачественных строительных композитов. К одной из стратегических задач для геополимерных вяжущих систем на основе кислого алюмосиликатного сырья техногенного происхождения следует отнести разработку методики оценки пригодности сырьевых компонентов с точки зрения их реакционной активности под действием щелочной активации. Актуальность решения отмеченной задачи обоснована комплексностью контроля качества зол-уноса, вызванной варьированием их свойств в широком диапазоне благодаря различию характеристик исходного угольного сырья, а также нестабильности технологических параметров процесса его сжигания. Как следствие, отсутствие четкого контроля качества исходного сырья объ-

ясняет невозможность получения геополимерных систем с необходимыми и заранее установленными эксплуатационными показателями.

Формирование структуры геополимеров зол-уноса кислого состава является сложным и малоизученным процессом, в котором кинетика и особенности новообразований зависят от ряда факторов, таких как фазово-минеральный и химический составы алюмосиликатного компонента, гранулометрия и морфология частиц зол-уноса, вида щелочного активирующего агента и его концентрации в вяжущей системе. Среди технологических факторов следует выделить порядок введения и смешения сырьевых компонентов, а также вид и режим термической обработки свежеприготовленной сырьевой смеси. На основании имеющегося зарубежного опыта, выделены основные критерии эффективности зол-уноса для производства геополимеров, среди которых: содержание оксидов щелочноземельных металлов (CaO, MgO) – до 20 %; концентрация железистого компонента (Fe_xO_y) – до 10 %; содержание силикатного компонента в форме стеклофазы – не менее 50 %; доля тонкодисперсной фракции ($d \leq 45$ мкм) – от 80 до 90 %; содержание несгоревшего углеродного остатка – до 5 % [7–10]. Учитывая многолетний интерес к геополимерным системам, зарубежными и отечественными учеными проведен довольно большой объем исследований, ориентированных на изучение минерально-химических, а также фазовых и структурных характеристик зол-уноса кислого состава [10–12]. Однако вопросы оценки реакционной активности зол-уноса под действием высокощелочного воздействия в системе геополимерных вяжущих с использованием расчетных методик освоены весьма слабо.

Ранее было установлено, что одним из ключевых параметров, определяющих степень активности взаимодействия кислого алюмосиликата с

щелочным компонентом и последующего формирования прочного каркаса, является степень SiO₂-связности элементарных единиц – кремнекислородных тетраэдров – в составе стеклофазы зол-уноса [13].

В рамках данного исследования предложена расчетная методика оценки реакционной активности зол-уноса кислого состава в геополимерной системе с учетом расширенного спектра их генетических характеристик.

Методы и материалы. Для определения химического и фазово-минерального составов образцов зол-уноса был осуществлен рентгенофазовый и рентгенофлуоресцентный анализ зол-уноса на спектрометре ARL9400XP с использованием излучения Си-анода (Ni-фильтр для ослабления β-компоненты излучения). Шаг сканирования 0,05°, время измерения интенсивности в точках сканирования – 1 с.

Содержание кристаллической и аморфной фаз, а также качественный анализ их компонент в составе зол-уноса (табл. 3) были определены с использованием количественного полнопрофильного РФА с внутренним эталонированием (10% вес. металлического Si), а также с использованием расчётной программы DDM v.1.95e [14].

Гранулометрический анализ осуществлялся с использованием лазерного анализатора частиц Mastersizer 2000, Malvern Instruments. Измерение удельного веса зол-уноса осуществлялось с использованием пикнометра AccuPyc II 1340 Pycnometer (Micrometrics).

Удельная поверхность по методу Блейна зол-уноса была измерена на приборе ПСХ-12.

Для проведения исследований в рамках данной работы были использованы золы-уноса кислого состава с 8 предприятий углесжигания ЮАР, работающих на каменном угле (табл. 1).

Таблица 1

Физические характеристики зол-уноса

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8
Удельный вес, г/см ³	2,22	2,26	2,35	2,30	2,31	2,31	2,27	2,14
Удельная поверхность по Блейну (м ² /кг)	232,2	316,2	452,4	368,0	303,6	292,7	247,1	171,6
Удельная поверхность по РРЧ* (м ² /кг)	183,6	304,5	445,8	303,4	192,9	178,1	158,9	79,3
Фактор формы (ξ)	1,26	1,04	1,01	1,21	1,57	1,64	1,56	2,16
<45 мкм, %	51,96	83,02	97,98	86,39	86,02	73,43	51,19	38,22
d ₁₀ , мкм	2,6	1,3	0,8	1,9	3,2	3,2	3,5	8,6
d ₅₀ , мкм	42	11	5	14	14	21	42	62
d ₉₀ , мкм	168	62	21	51	51	76	168	226

*РРЧ – распределение размеров частиц согласно данным лазерной гранулометрии

Более подробное описание такого параметра как фактор формы и пример его расчета отражены в работе С. Хопкинса и др. [15]. В рамках

данного исследования под реакционной активностью зол-уноса принято понимать способность, а

также интенсивность растворения в условиях высокощелочного воздействия. Логично предположить, что наиболее важными параметрами, определяющими реакционную активность зол-уноса, как любого минерального компонента, являются его генетические, т.е. химические, морфологические и физико-механические характеристики, к которым следует отнести, содержание основных оксидов их соотношение; содержание стеклофазы и ее структурный характер, наличие кристаллических минеральных образований и их концентрацию; дисперсность, характер гранулометрического распределения, а также форму твердофазных частиц компонента.

Так, концентрация стеклофазы и ее структурные особенности (степень полимеризации

или SiO₂-связности) определяет степень растворимости золы-уноса под действием щелочного активатора [16]. Морфология (фактор формы) и дисперсность твердофазных частиц оказывает значительное влияние на водопотребность геополлимерной вяжущей системы [15]. Опираясь на выше отмеченное предположение в рамках этого исследования были подобраны и применены необходимые измерительно аналитические методики, позволяющие получить и проанализировать характер влияния исходных характеристик зол-уноса на их реакционную активность, представленную в виде компрессионной прочности геополлимерных вяжущих.

Химический состав образцов зол-уноса представлен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав зол-уноса (вес.%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	57,30	54,90	53,40	50,80	51,90	47,10	51,50	57,80
TiO ₂	1,57	1,62	1,69	1,74	1,60	1,72	1,72	1,24
Al ₂ O ₃	29,60	31,50	31,80	31,10	29,20	32,80	30,50	27,30
Fe ₂ O ₃	3,89	3,53	3,69	3,50	3,05	3,22	4,70	6,13
MnO	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05	0,08
MgO	0,89	1,00	1,12	1,49	1,41	1,90	1,49	0,68
CaO	4,79	4,55	4,59	5,78	7,55	7,67	6,49	3,45
Na ₂ O	0,20	0,40	0,26	0,11	0,31	<0,01	<0,01	<0,01
K ₂ O	0,86	0,83	0,92	1,06	1,19	0,59	0,91	0,98
P ₂ O ₅	0,28	0,37	0,67	0,80	0,54	0,61	0,61	0,36
Cr ₂ O ₃	0,03	0,04	0,06	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02
V ₂ O ₅	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,00	0,04
ZrO ₂	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
SrO	0,12	0,13	0,15	0,32	0,27	0,22	0,20	0,08
WO ₃	0,08	0,04	<0,01	<0,01	0,05	0,06	0,03	0,06
BaO	0,14	<0,01	0,16	0,22	0,16	0,14	0,14	<0,01
п.п.п	0,16	0,96	1,38	2,83	2,67	3,73	1,51	1,63
Σ	100,02	99,98	99,98	99,92	100,04	99,92	99,94	99,92

Методика определения содержания оксидов в составе стеклофазы зол-уноса более подробно представлена в [17]. В данном исследовании использован аналогичный алгоритм, суть которого

заключается в вычитании из значений молекулярных количеств химических компонентов зол-уноса соответствующих компонентов, входящих в состав кристаллических фаз (табл. 3).

Таблица 3

Фазово-минеральный состав исследуемых зол-уноса

Зола-уноса	1	2	3	4	5	6	7	8
Минерал/фаза								
Кварц	10,0	9,4	8,5	7,2	10,6	5,5	9,9	9,0
Муллит	16,0	22,2	18,3	16,4	23,9	27,6	24,0	19,5
Магнетит	0,9	1,3	1,1	1,2	0,9	1,3	2,1	2,1
Гематит	-	-	-	1,0	1,2	0,8	1,2	1,6
Известь	-	0,5	0,5	0,6	1,0	0,7	0,4	-
Периклаз	-	-	-	0,8	0,8	0,9	0,7	-
Стеклофаза	73,1	66,6	71,6	72,8	61,6	63,2	61,7	67,8

Используя информацию о содержании оксидов в составе стеклофазы зол-уноса был произведен расчет значений степени полимеризации или

степень SiO₂-связности кремнекислородного тетраэдра стеклофазы по формуле (1), ранее предложенной А. Аппеном [18, 19]:

$$f_{SiO_2} = \frac{\gamma_{SiO_2}}{\gamma_{Me_2O} + \gamma_{MeO} + 3\gamma_{Me_2O_3} + 2\gamma_{MeO_2} + 5\gamma_{Me_2O_5} + 3\gamma_{MeO_3}} \quad (1)$$

где γ – молярные доли оксидов SiO_2 и Me_xO_y в составе стеклофазы. Полученные результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4

Степень SiO_2 -связности кремнезема в стеклофазе зол-уноса

	1	2	3	4	5	6	7	8
f_{Si}	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
o_2	27	32	26	11	32	20	23	56

Для реализации возможности учета влияния комплекса генетических характеристик зол-уноса на ее реакционную активность в геополлимерной вяжущей системе на данном этапе исследования был введен некий параметр K , который связывает между собой ранее упомянутые ключевые характеристики зол-уноса как минерального компонента и может быть выражен формулами (2) и (3):

$$K = \frac{S^{Блейн}}{\xi} \cdot C_{аморфн.} \cdot \exp(f_{SiO_2}), \quad (2)$$

или

$$K = S^{PPЧ} \cdot C_{аморфн.} \cdot \exp(f_{SiO_2}) \quad (3)$$

где ξ – фактор формы частиц золы-уноса, представляющий собой соотношение экспериментальной и расчетной значений удельной поверхности; $S^{Блейн}$ – экспериментальное значение удельной поверхности золы-уноса, определяемое по методу воздухопроницаемости (метод Блейна); $S^{PPЧ}$ – теоретическое значение удельной поверхности золы-уноса, рассчитываемое на основании данных лазерного анализатора частиц (гранулометрический анализ); $C_{аморфн.}$ – содержание стеклофазы в составе золы-уноса (%); f_{SiO_2} – коэффициент степени полимеризации/связности, рассчитываемый с использованием формулы (1).

Расчетные значения параметра K для исследуемых зол-уноса представлены в таблице 5.

Таблица 5

Расчетные значения параметра K для исследуемых зол-уноса

Зола-уноса	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение параметра K	185,7	286,5	427,5	296,1	174,0	158,0	136,6	80,8

Для оценки реакционной активности используемой подборки зол-уноса были заформованы образцы-балочки геополлимерных вяжущих из смесей равной подвижности – расплав конуса находится в диапазоне 170–180 мм. После формовки образцы были подвержены термической

обработке при температуре 60 °С в сушильном шкафу в течение 24 часов.

Полученные результаты прочностных характеристик затвердевших образцов геополлимерных вяжущих представлены в таблице 6.

Таблица 6

Прочностные характеристики геополлимерных вяжущих

Предел прочности при сжатии, МПа	1	2	3	4	5	6	7	8
1 сутки	28,8	35,9	60,3	42,3	22,2	18,4	8,6	3,5
91 сутки	67,1	71,3	88,9	67,8	36,1	27,1	31,7	16,5

С использованием данных таблиц 5 и 6 были построены графические зависимости между расчетным значением параметра K и прочностными значениями геополлимерных вяжущих в различном возрасте. Для возможности оценки степени корреляции между выбранными параметрами подобрана оптимальная в данном случае аппроксимирующая функция – линейная, а также представлены значения коэффициентов степени корреляции (рисунок 1). Кроме того, представлены обозначения относительных размерных параметров зол-уноса.

Согласно данным рисунка 1, при увеличении параметра K наблюдается увеличение предела прочности при сжатии геополлимерных образцов

вяжущих. Кроме того, анализируя полученные графические зависимости, для геополлимерных вяжущих систем на ранних сроках твердения (1 сутки) характерна преимущественно линейная зависимость от параметра K , что подтверждается высоким значением коэффициента корреляции ($R^2=0.9602$). При увеличении срока твердения экспериментальных вяжущих систем коэффициент корреляции смещается в сторону меньших значений (в возрасте 91 суток $R^2=0.8336$), зависимость отклоняется от линейной. Предположительно, это может быть ассоциировано с непрерывными процессами структуро- и фазообразования при дальнейшем твердении геополлимерной системы.

Таким образом, предложенная усовершенствованная экспресс-методика продемонстрировала свою эффективность и может применяться при синтезе геополимерных систем для осуществления расчетной оценки реакционной активности

зол-уноса кислого состава и прогнозирования прочностных характеристик геополимерных вяжущих систем на ранних сроках твердения.

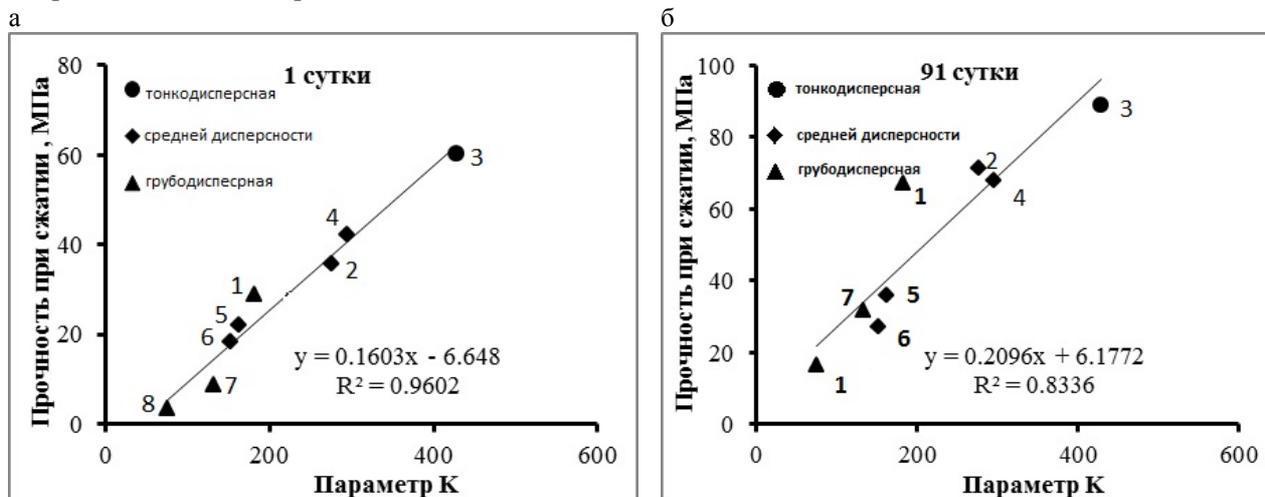


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии геополимерных вяжущих на основе зол-уноса от величины параметра K

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sobolev K. Mechano-chemical modification of cement with high volumes of blast furnace slag // Cement and concrete composites. 2005. № 27(7). P. 848–853.

2. Kozhukhova N., Kadyshev N., Cherevatova A., Voitovich E. Reasonability of application of slags from metallurgy industry in road construction // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. № 692. P. 776–782.

3. Агеева М.С., Боцман Л.Н., Боцман А.Н., Бондаренко А.И. Эффективность использования отходов промышленности в производстве вяжущих веществ // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: Материалы X Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов. Под редакцией А.И. Николаева, Д.П. Домонова. 2016. С. 6–8.

4. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 11. С. 779–783.

5. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 11. С. 745–748.

6. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазаобразование в геополимерных системах на основе зол-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 85–88.

7. Fernández-Jiménez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements // Fuel. 2003. 382. P. 2259–2265.

8. Davidivits J. Geopolymer. Chemistry & Application. 3rd edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, 2011. 612 p.

9. Кожухова Н.И., Жерновский И.В. Геополимерное вяжущее и бетон на основе зол-уноса ТЭС. Монография. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 661123 Saarbücken, Germany, 2015. 183 с.

10. Fernández-Jiménez A., Palomo A., Sobrados I., Sanz J. The role played by the reactive alumina content in the alkaline activation of fly ashes. Microporous and Mesoporous Materials, 91, 2006. P. 111–119.

11. Maxim Kovtun, Mateusz Ziolkowski, Julia Shekhovtsova, Elsabe Kearsley Direct electric curing of alkali-activated fly ash concretes: a tool for wider utilization of fly ashes // Journal of Cleaner Production. 2016. 133. P. 220–227.

12. Матченко Н.А., Ламов И.В., Гончарова М.А. Исследование влияния мелкозернистых отходов производства на физико-механические свойства геополимерных бетонов // Тенденции развития современной науки: Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2-х частях. 2017. С. 432–434.

13. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Соболев К.Г. Влияние различий рентгеноаморфной фазы в составе низкокальциевых алюмосилика-

тов на прочностные характеристики геополимерных систем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 5–12.

14. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // Journal of Applied Crystallography. 2004. 37. P. 743–749.

15. Hopkins C.J., Cabrera J.G., The shape factor: a parameter to assess the effect of pulverized fuel ash on the flow properties of cement pates and concrete. International symposium on cement and concrete science. Beijing, China. 1984.

16. Dove P.M., Han N., Wallace A.F., De Yoreo J.J. Kinetics of amorphous silica dissolution and the

paradox of the silica polymorphs. PNAS. July 22, 2008. Vol. 105. № 29. P. 9903–9908.

17. Ward C.R., French D. Determination of glass content and estimation of glass composition in fly ash using quantitative X-ray diffractometry. Fuel. 2006. 85. P. 2268–2277.

18. Аппен А.А. Химия стекла. Ленинград: Химия. 1974. 352 с

19. Shekhovtsova J., Zhernovsky I., Kovtun M. Kozhukhova N., Zhernovskaya I., Kearsley E. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements – A step towards sustainable building material and waste utilization // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 178. Pp. 22–33.

Информация об авторах

Шеховцова Юлия Александровна, PhD, научный сотрудник кафедры гражданского строительства.

E-mail: j.shekhovtsova@gmail.com

Университет Претории, Претория 0002, ЮАР.

Жерновский Игорь Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: zhernovsky.igor@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кожухова Наталья Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru; kozhuhovana.ni@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ковтун Максим Николаевич, PhD, кандидат технических наук, профессор кафедры гражданского строительства.

E-mail: maxim.kovtun@gmail.com

Университет Претории, Претория 0002, ЮАР

Керсли Эльсабэ, PhD, профессор кафедры гражданского строительства.

E-mail: elsabe.kearsley@up

Университет Претории, Претория 0002, ЮАР.

Жерновская Ирина Васильевна, старший преподаватель кафедры высшей математики.

E-mail: ZIV_1111@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2018 г.

© Шеховцова Ю.А., Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Ковтун М.Н., Керсли Э., Жерновская И.В., 2018

J.A. Shekhovtsova, I.V. Zhernovsky, N.I. Kozhukhova, M.N. Kovtun, E. Kearsley, I.V. Zhernovskaya EXPRESS-METHOD FOR DETERMINATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF GEOPOLYMER BASED ON LOW-CALCIUM FLY ASH

Capability of quality control for raw materials when construction composite production is one of the key advantages, allowing production the products with forecasted characteristics. Suitability evaluation of raw material is preferred to make at early stage of production process, but not when study of final product. It allows saving a time and material sources. In this paper the express-method of determination of reactivity of low-calcium fly ash in geopolymer system was proposed. This method is based on earlier forecast estimation method proposed by the authors. As a main factor the K factor was applied, which consists of such fly ash characteristics as chemical composition, content of vitreous phase and its structure features, specific surface

area, particle shape, those allow estimation a quality of industrial aluminosilicate raw component with high-degree of certainty.

Correlation coefficient between the K parameter and yield compressive strength of geopolymer paste in 1-day age was higher than for geopolymer pastes in 91-days age. This observation demonstrates a high feasibility of the proposed express-method for determination of fly ash reactivity in geopolymer at earlier setting time.

Keywords: low-calcium fly ash, reactivity estimation, calculated express-method, compressive strength of geopolymer paste

REFERENCES

1. Sobolev K. Mechano-chemical modification of cement with high volumes of blast furnace slag. Cement and concrete composites, 2005, no. 27(7), pp. 848–853.
2. Kozhukhova N., Kadyshchev N., Cherevatova A., Voitovich E. Reasonability of application of slags from metallurgy industry in road construction. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, no. 692, pp. 776–782.
3. Ageeva M.S., Botsman L.N., Botsman A.N., Bondarenko A.I. Efficiency of using of industrial wastes when binder production. Research and practice problem in chemistry and chemical technology: Proceeding of Xth Interregional scientific-technological Conf. of young scientists, specialists and students edited by A.I. Nikolaev, D.P. Domonov, 2016, pp. 6–8.
4. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders. Research Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 9, no. 11, pp. 779–783.
5. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement. Research Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 9, no. 11, pp. 745–748.
6. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V., Fomina E.V. Phase Formation in Geo-Polymer Systems on the Basis of Fly Ash of Apatity TPS. Stroitel'nye Materialy, 2015, no. 12, pp. 85–88.
7. Fernández-Jiménez A., Palomo A. Characterisation of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements. Fuel, 2003, no 382, pp. 2259–2265.
8. Davidivits J. Geopolymer. Chemistry & Application. 3rd edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, 2011, 612 p.
9. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V. Fly ash-based geopolymer binder and concrete. Monography. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Dudweiler Landstr. 99, 661123 Saarbücken, Germany, 2015, 183 p.
10. Fernández-Jiménez A., Palomo A., Sobrados I., Sanz J. The role played by the reactive alumina content in the alkaline activation of fly ashes. Microporous and Mesoporous Materials, 2006, no. 91, pp. 111–119.
11. Maxim Kovtun, Mateusz Ziolkowski, Julia Shekhovtsova, Elsabe Kearsley Direct electric curing of alkali-activated fly ash concretes: a tool for wider utilization of fly ashes. Journal of Cleaner Production, 2016, no.133, pp. 220–227.
12. Matchenko N.A., Lamov I.V., Goncharova M.A. Study of effect of fine-aggregate industrial wastes on physical and mechanical characteristics of geopolymer concrete. Development tendencies in modern science: Proceedings of Scientific Conf. of students and postgraduate students from Lipetsk State Technical University: in two parts, 2017, pp. 432–434.
13. Kozhukhova N.I., Zhernovskiy I.V. Sobolev K.G. Effect of variations in vitreous phase of low-calcium aluminosilicates on strength properties of geopolymer systems. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 4, pp. 5–12.
14. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization. Journal of Applied Crystallography, 2004, vol. 37, pp. 743–749.
15. Hopkins C.J., Cabrera J.G., The shape factor: a parameter to assess the effect of pulverized fuel ash on the flow properties of cement pates and concrete. International symposium on cement and concrete science. Beijing, China, 1984.
16. Dove P.M., Han N., Wallace A.F., De Yoreo J.J. Kinetics of amorphous silica dissolution and the paradox of the silica polymorphs. PNAS. July 22, 2008, vol. 105, no. 29, pp. 9903–9908.
17. Ward C.R., French D. Determination of glass content and estimation of glass composition in fly ash using quantitative X-ray diffractometry. Fuel, 2006, no. 85, pp. 2268–2277.
18. Appen, A.A., Chemistry of Glass. Leningrad: Khimiya, 1974, 352 p.
19. Shekhovtsova J., Zhernovskaya I., Kovtun M. Kozhukhova N., Zhernovskaya I., Kearsley E. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements – A step towards sustainable building material and waste utilization. Journal of Cleaner Production, 2018, vol. 178, pp. 22–33.

*Information about the author***Julia A. Shekhovtsova**, PhD.

E-mail: j.shekhovtsova@gmail.com

Department of Civil Engineering, University of Pretoria
Pretoria, 0002, South Africa**Igor V. Zhernovsky**, PhD, Professor.

E-mail: zhernovsky.igor@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, St. Kostukova, 46.**Natalia I. Kozhukhova**, PhD, Assistant professor.

E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, St. Kostukova, 46.**Maxim N. Kovtun**, PhD.

E-mail: maxim.kovtun@gmail.com

Department of Civil Engineering, University of Pretoria.
Pretoria, 0002, South Africa.**Elsabe Kearsley**, Professor.

E-mail: elsabe.kearsley@up

Department of Civil Engineering, University of Pretoria.
Pretoria, 0002, South Africa.**Irina V. Zhernovskaya**, Senior lecturer.

E-mail: ZIV_1111@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, St. Kostukova, 46.

*Received in June 2018***Для цитирования:**

Шеховцова Ю.А., Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Ковтун М.Н., Керсли Э., Жерновская И.В. Экспресс-метод определения компрессионных характеристик геополимеров на основе зол-уноса кислого состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 28–35. DOI: 10.12737/article_5b6d58466ede22.04375827

For citation:

Shekhovtsova J.A., Zhernovsky I.V., Kozhukhova N.I., Kovtun M.N., Kearsley E., Zhernovskaya I.V. Express-method for determination of compressive strength of geopolymer based on low-calcium fly ash. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 28–35. DOI: 10.12737/article_5b6d58466ede22.04375827

*Попова М.В., канд. техн. наук, доц.,
Шохин П.Б., канд. техн. наук, доц.,
Глебова Т.О., аспирант,
Шабардина Н.Д., бакалавр*

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время в условиях глобализации, увеличения демографической численности планеты, истощения природных ресурсов при все возрастающем их потреблении, остро стоит вопрос о рациональном использовании природных ресурсов. На той территории, где формировалась Русь, основными строительными материалами были дерево и глина. Как известно, древесина является возобновляемым природным ресурсом, к тому же экологически чистым. Эксплуатационные качества древесины благодаря развитию современных технологий можно значительно усовершенствовать, расширить область их применения и повысить прочность. Применение деревянных конструкций становится все более технологичным и, таким образом, сфера их применения существенно возрастает. В деревянном малоэтажном строительстве с целью продления сроков эксплуатации, обеспечения более надежной работы конструктивных элементов, важной и актуальной задачей является применение материалов с применением наноклеевых композиций. В ходе проведенной работы получены новые результаты экспериментально-теоретических исследований, отражающие особенности работы деревокомпозитных конструкций с включением в клеевую композицию углеродных нанотрубок. Подтверждена возможность повышения прочностных и жесткостных характеристик деревокомпозитных балочных конструкций, что приводит к повышению эксплуатационной надежности конструкций. Разработаны на теоретическом уровне и подтверждены опытным путем количественные значения прочностных и деформационных характеристик деревокомпозитных балочных конструкций, с учетом ползучести и физической нелинейности. Для расчета усиленных элементов определены коэффициенты, которые необходимо вводить в общепринятые формулы определения крайних напряжений и прогибов.

Ключевые слова: *деревоклееная композитная балка, стеклоткань на основе базальтового волокна, эпоксидная матрица, крайние напряжения и прогибы.*

Введение: Древесина как природный материал имеет широкий спектр свойств, которые дают возможность повсеместно использовать ее в разных отраслях жизнедеятельности человека: домостроении, деревообрабатывающей, энергетике, транспорте, и др. [1], [2]. Перед исследователями стоит ключевая техническая задача - увеличение эффективности применения древесины за счет использования конструкций и изделий с малой материалоемкостью и высокими эксплуатационными характеристиками.

В настоящее время целесообразно применять новые материалы и технические решения на основе наноклеевых композиций, которые дают возможность оптимально использовать древесину при производстве новых видов деревянных конструкций, при усилении сопряжений и узлов. Подобные решения способствуют повышению надежности деревянных конструкций при эксплуатации, помогают снизить расход древесины и создать конструкции с повышенными прочностными и жесткостными характеристиками и параметрами [3].

Методология: Наиболее эффективно исследовать напряженно-деформированное состояние строительных конструкций можно при проведении экспериментальных исследований с использованием следующих методов: метода муаровых полос, метода фотоупругости, метода голографической интерферометрии и метода тензометрии [4].

В отличие от метода тензометрии первые три метода позволяют получить из эксперимента общую картину деформирования элемента в наглядной форме. Необходимой детализации в отдельных областях элемента при исследовании напряжений и деформаций можно достигнуть с помощью соответствующей обработки области и привлечения уравнений теории упругости.

Метод тензометрии был выбран для проведения экспериментальных исследований композитных балок, так как он один дает количественную картину перемещений и напряжений, а не качественную, как остальные вышеперечисленные методы. Численные значения напряжений важны в данной работе для подтверждения теоретических исследований.

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет получить наглядное представление о распределении напряжений в теле конструктивного элемента. Лабораторная и экспериментальная база Владимирского государственного университета имеет в своем распоряжении необходимую аппаратуру для проведения тензометрических измерений. Большое количество испытаний проведено с применением тензометрической аппаратуры, этот метод является апробированным.

При планировании эксперимента определено требуемое количество образцов для установления статистических характеристик материала моделей, а также оптимальное число испытываемых конструкций. Исследования были проведены на четырех вариантах композитных балок, они основывались на вопросах теоретических

расчетов прочности и деформативности композитных балок, применяемых в деревянном домостроении, опирались на результаты системного анализа современных деревоклееных конструкций, а также на вопросы теоретических расчетов прочности.

Основная часть. Работа по исследованию деревоклееных балок была разбита на два этапа. Задачей первого этапа было определение интегрального модуля упругости деревоклееных балок, который в отличие от расчетного модуля упругости учитывает пороки и неоднородность структуры древесины. По тождественным показателям на этом этапе была выполнена подборка заготовок балок. Балка, выполненная из цельной древесины, являлась эталонной, поэтому ее показатели сравнивались с исследуемыми балками (рис. 1).

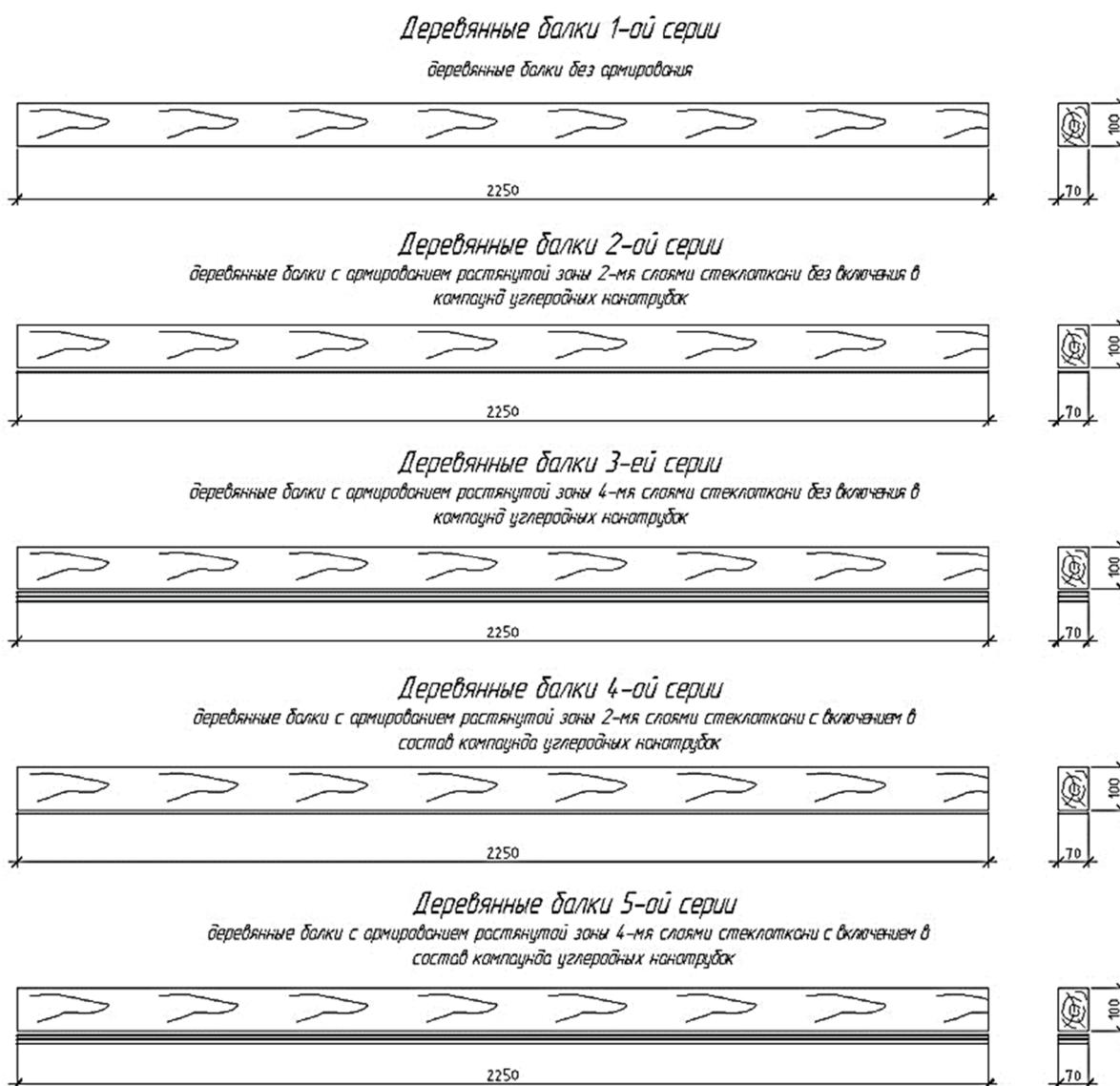


Рис. 1. Геометрические параметры и характеристики испытываемых балок

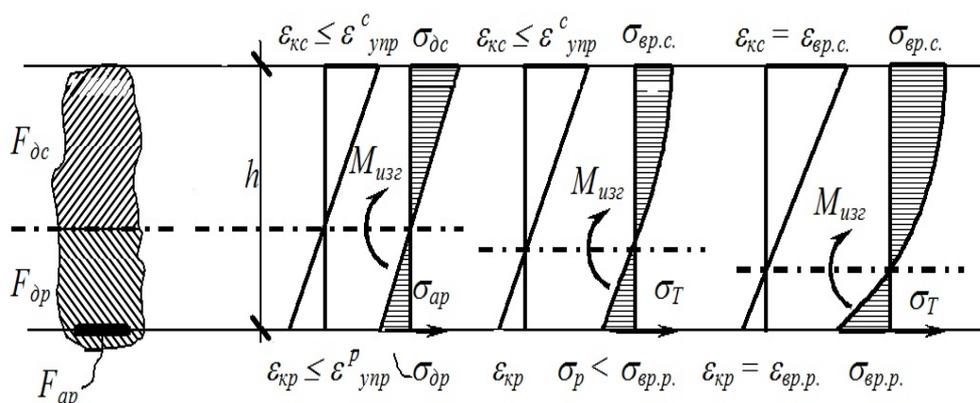


Рис. 2. Три стадии напряженно–деформированного состояния армированного деревянного элемента, работающего на изгиб: а) условно – упругая; б) упруго – пластическая; в) стадия разрушения

Связь между древесиной и предложенным усилением на всех трех стадиях нагружения не нарушается вплоть до момента разрушения, которое происходит из-за разрыва растянутых волокон древесины в зоне наибольших усилий или скалывания (раскалывания поперек волокон) древесины в приопорных зонах от действия главных растягивающих напряжений [6].

Таким образом, в основу расчета деревокомпозитных конструкций положена первая стадия напряженно-деформированного состояния. При этом считается, что связь между элементом усиления и древесиной непрерывна по длине конструкции и обеспечивает их полную совместную работу на весь срок эксплуатации. Рассмотрим стадии напряженно-деформированного состояния испытываемых балок.

1. Первая стадия – стадия условно-упругой работы (рис. 2, а), характеризуется значением деформаций, не превосходящим предельные значения упругих деформаций древесины и армирующего слоя. Для древесины – $\epsilon_d \leq \epsilon_{упр}$; для армирующего слоя – $\epsilon_a \leq \epsilon_T$. После снятия нагрузки у армированных элементов на первой стадии остаточные деформации незначительны или вообще отсутствуют, что дает право их не учитывать. Так как при малых напряжениях несколько нарушается линейная взаимосвязь между напряжениями и деформациями древесины (особенно при сжатии) (рис. 3), разбирать первую стадию напряженно-деформированного состояния можно лишь как условно-упругую.

2. Вторая стадия – стадия упругоупругой работы (рис. 2, б), характеризуется появлением пластических деформаций в сжатых волокнах древесины. Пластическая зона формируется в сжатой части сечения, при возрастании нагрузки она распространяется вглубь сечения. При этом нейтральная ось смещается в сторону

растянутых волокон древесины, так как происходит перераспределение напряжений. Деформации растянутых волокон древесины увеличиваются до значения предела пропорциональности, а в армирующем слое достигают предела прочности. Работа элемента на этой стадии характеризуется появлением значительных остаточных деформаций.

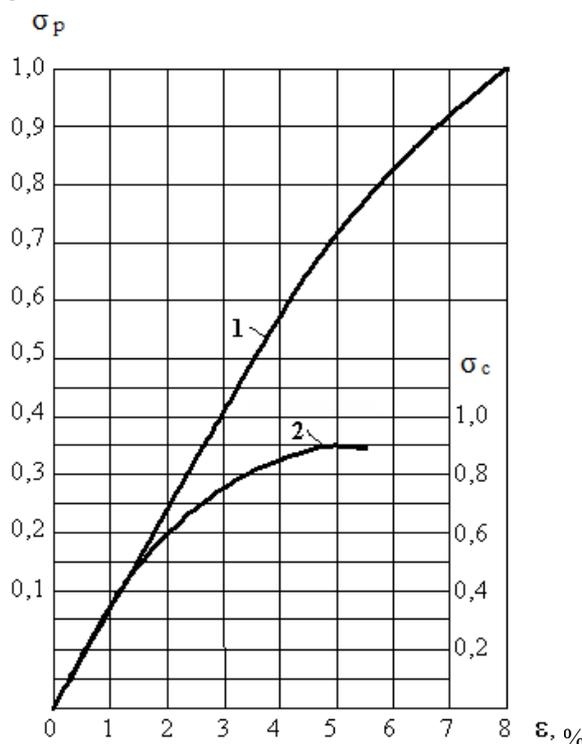


Рис. 3. Приведенные диаграммы работы древесины (сосна) по Белянкину-Прагеру: 1 – растяжение, 2 – сжатие

3. Третья стадия – стадия разрушения (рис. 2, в), характеризуется значительным увеличением деформативности армированного элемента при малом увеличении нагрузки. Пластические деформации древесины и армирующего слоя достигают максимальных значений. Происходит

разрушение элемента, характер которого зависит от вида армирования (усиления) нижней краевой зоны.

С помощью теории упругости анизотропного тела можно оценить напряженно-деформированное состояние армированного элемента на первой стадии работы. Для практических расчетов можно воспользоваться аппаратом сопротивления материалов для частного случая анизотропного тела – трансформированного тела [7].

Производить оценку предельной несущей способности и напряженно-деформированного состояния на второй и третьей стадиях работы необходимо с учетом упругопластической работы материалов, составляющих композицию [8], [9], [10], [11].

С точки зрения проектирования прикладным является инженерный метод расчета деревянных конструкций по приведенным геометрическим характеристикам. Этот метод опираясь на действующие нормы проектирования деревянных конструкций с достаточной степенью точности позволяет оценивать их несущую способность и деформативность в упругой стадии работы.

При выполнении расчета определялась несущая способность и деформативность композитных балок, выполнялся подбор количества слоев стеклоткани в растянутой зоне [12].

На первичном этапе расчета были установлены приведенные геометрические характеристики сечения деревоклееной композитной балки, необходимые для расчета конструкции инженерным методом:

- площадь приведенного сечения:

$$F_{np} = b \cdot h \cdot (1 + \mu \cdot n) \quad (1)$$

- статический момент инерции:

$$S_{np} = b \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right) \quad (2)$$

- момент инерции:

$$I_{np} = \frac{b}{3} \cdot (y_c^3 + h_c^3) + I_{mc} + b \cdot h \cdot \mu \cdot n \cdot (h_c + h_1)^2 \quad (3)$$

- момент сопротивления соответственно для сжатой и растянутой зон:

$$W_{np}^c = \frac{I_{np}}{h_c} \quad (4)$$

$$W_{np}^p = \frac{I_{np}}{y_c} \quad (5),$$

где $F_{op} = b \cdot h$ – площадь древесины;

$\mu = \frac{F_a}{F_{op}} = \frac{F_a}{b \cdot h}$ – коэффициент армирования; F_a – площадь армирующего слоя;

$n = \frac{E_a}{E_{op}}$ – коэффициент приведения; h_1 – тол-

щина армирующего слоя; h – высота сечения; $h_c = h_0 - y_c$ – высота сжатой зоны сечения;

$$y_c = \frac{S_{np}}{F_{np}} = \frac{b \cdot h^2 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right)}{b \cdot h \cdot (1 + \mu \cdot n)} = \frac{h \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\mu \cdot n}{h} \cdot h_1 \right)}{(1 + \mu \cdot n)}$$

- положение центра тяжести сечения.

Расчет был произведен по известным формулам сопротивления материалов по двум группам предельных состояний [10].

Расчет по древесине на действие максимального изгибающего момента выполнен для сечений с наибольшими напряжениями, которые находятся в середине пролета балки.

Для шарнирно опертой балки на двух опорах при загрузке ее точечной нагрузкой в середине пролета изгибающий момент определяется по следующей формуле:

$$M = \frac{P \cdot l}{4} \quad (6)$$

Расчетное сопротивление древесины при растяжении с учетом усиления должно превышать максимальные нормальные напряжения в древесине растянутой зоны:

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{np}^p \cdot k_{yw}} \leq R_p \quad (7)$$

k_{yw} – коэффициент «усиления», получаемый экспериментально [13].

Расчетное сопротивление древесины на сжатие должно превышать максимальные нормальные напряжения в сжатой зоне древесины:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{np}^c} \leq R_c \quad (8)$$

Расчет на устойчивость плоской формы деформирования выполнен с учетом нормальных напряжений при действии максимального изгибающего момента, определяемых по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M}{\varphi_m \cdot W_{np} \cdot k_{yw}} \leq R_u \quad (9)$$

где

$$\varphi_m = 140 \cdot \frac{b^2}{l_p \cdot h} \cdot k_\varphi \quad (10)$$

Расчет по второй группе предельных состояний состоит в определении максимального вертикального перемещения и сравнении его с предельно допустимым.

На первоначальном этапе вычисляют прогиб балки постоянного сечения высотой h пролетом l без учета деформаций сдвига на действие равномерно распределенной нагрузки P ;

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{P^n \cdot l^4}{E \cdot I_{np}} \cdot k_t \quad (11)$$

Наибольший прогиб в середине пролета балки не должен превышать предельно допустимого прогиба:

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left(1 + c \cdot \left(\frac{h_0}{l} \right)^2 \right) \leq f_{np} \quad (12)$$

где $k=1$ – коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения; $c = 15,4 + 3,8 \cdot \beta$ – коэффициент, учитывающий влияние деформа-

ций сдвига от поперечной силы; $k_{уж}$ – коэффициент «ужесточения», который определен экспериментально [14].

Усиление стеклотканью повышает несущую способность деревокомпозитных балок на 34...56 % и уменьшает деформативность на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками. Усиление стеклотканью с применением наноклеевой композиции повышает их несущую способность на 25...27 % и уменьшает деформативность на 20...25 % по сравнению с балками без применения углеродных нанотрубок [15]. Результаты испытаний композитных балок пролетом 2,25 м представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний композитных балок пролетом 2,25 м

Серии балок	Сечение		Нагрузка Р, кг	Деформации $\epsilon \times 10^{-4}$		Прогибы, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	h, мм	b, мм		Древесина			
				сжат	раст		
БД-1	100,0	70,1	1040	19,63	21,62	7,47	1180
БД-2	100,2	69,0	—”—	19,60	21,75	7,52	1200
БД-3	99,8	70,0	—”—	19,57	21,72	7,45	1160
БК-1-1	101,1	60,8	1250	15,94	13,48	8,88	1750
БК-1-2	100,8	70,0	—”—	15,88	13,59	8,92	1830
БК-1-3	101,0	70,3	—”—	15,88	13,44	8,90	1820
БК-2-1	101,9	70,0	1400	20,48	14,54	9,09	2120
БК-2-2	102,3	70,1	—”—	20,48	14,46	9,22	2150
БК-2-3	102,1	70,0	—”—	20,53	14,50	9,25	2030
БКУНТ-1-1	101,2	69,7	1250	15,31	10,95	7,95	2400
БКУНТ-1-2	101,0	69,9	—”—	15,26	10,90	7,90	2420
БКУНТ-1-3	101,2	69,9	—”—	15,32	10,87	7,93	2400
БКУНТ-2-1	102,4	70,0	1400	20,50	11,00	8,0	2680
БКУНТ-2-2	102,4	70,2	—”—	20,53	10,98	7,98	2690
БКУНТ-2-3	102,2	69,8	—”—	20,44	11,02	8,02	2730

Маркировка балок:

- Серия БД – деревянные балки без армирования;
- Серия БК-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;
- Серия БК-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, проклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;
- Серия БКУНТ-1 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3 %;
- Серия БКУНТ-2 – то же, с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок концентрацией 0.3 %.

Выводы. В ходе проведения исследований было установлено, что инженерный метод расчета рекомендуется применять для деревокомпозитных конструкций в упругой стадии работы древесины. Для расчета усиленных элементов в общепринятые формулы определения краевых напряжений и прогибов необходимо вводить коэффициенты «упрочнения» $k_{ув}=1,25 \dots 1,5$ и коэффициенты «ужесточения» $k_{уж}=1,3 \dots 1,55$, полученные экспериментальным путем [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рощина С.И., Лукин М.В., Лисятников М.С., Сергеев М.С. Реконструкция покрытия над одноэтажной пристройкой льнопрядильной фабрики в г. Вязники // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 4 (370). С. 226–230.
2. Рощина С.И., Лисятников М.С., Грибанов А.С., Лисятникова М.О., Стрекалкин А.А. Развитие области применения стеклокомпозитов в деревянных конструкциях // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 5 (993). С. 50-51.

3. Рощина С.И., Лисятников М.С., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Лукин М.В. Применение высоких деревоклееных балок в покрытии зданий текстильных цехов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 5 (365). С. 267–271.

4. Пат. 117474 Российская федерация, Деревянная балка. / Рощина С.И., Смирнов Е.А., Репин В.А., Лукин М.В.; заявитель и патентообладатель ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. № 2011151987/03, заявл. 19.12.11; опубл. 27.06.12, Бюл. № 18. 5 с.

5. Рощина С.И., Лисятников М.С., Грибанов А.С., Глебова Т.О. Расчет и усиление предельно-напряженных приопорных зон высоких деревоклееных балочных конструкций // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 187–197.

6. Лисятников М.С. Совершенствование технологии изготовления деревоклееных конструкций с усилением приопорных зон // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 2 (18). С. 137–148.

7. Roshchina S.I., Lukin M.V., Lukina A.V., Sergeyev M.S., Lisyatnikov M.S. Experimental research on pressed-bending reinforced timberwork // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45307–45312.

8. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. Т. 33. № 1. С. 1034–1041.

9. Попов Е.В., Филиппов В.В., Лабудин Б.В. Влияние жесткости связей сдвига на напряженно-деформированное состояние деревянных ребристых плит перекрытий / Развитие Северо-Арктического региона: сб. материалов конф. Научная конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Северного (Арктического) федерального

университета имени М.В. Ломоносова // Северный (Арктический) федеральный университет. (Архангельск, 10-14 апреля 2016 г.), Архангельск: Изд-во С(А)ФУ, 2016. С. 95–99.

10. Попов Е.В., Столыпин Д.А., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Напряженно-деформированное состояние панелей на деревянном каркасе с различными вариантами крепления обшивки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. № 5–2 (25-2). С. 133–139.

11. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Влияние трещин на напряженно-деформированное состояние клееных деревянных балок / Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: сб. материалов конф. Междунар. академические чтения // Курский государственный университет. (Курск 05-08 апреля 2015 г.), Курск: Изд-во КГУ, 2015. С. 153-158.

12. Рощина С.В., Лукин М.В., Лисятников М.С., Марков С.В., Синютин А.В., Голубко А.И. Совершенствование деревокомпозитных балочных конструкций // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 376–377.

13. Roshchina S.I., Lukin M.V., Shokhin P.B., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 9s. С. 192–195.

14. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В., Лисятников М.С. Исследование деревокомпозитных конструкций с применением эпоксидных олигомеров модифицированных углеродными нанотрубками // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 2. С. 189–192.

15. Лукин М.В., Рощина С.И., Грибанов А.С. Расчет деформативности композитных балок на основе численных исследований в программном комплексе Lira 9.2 // Строительство и архитектура. 2014. Т. 2. № 1. С. 64–67.

Информация об авторах

Попова Марина Владиславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: popovamv@bk.ru

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Шохин Павел Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: pashka333@bk.ru

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Глебова Татьяна Олеговна, аспирант кафедры строительных конструкций.

E-mail: t.glebova@outlook.com

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Шабардина Надежда Дмитриевна, студент.

E-mail: rsi3@mail.ru

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Поступила в мае 2018 г.

© Попова М.В., Шохин П.Б., Глебова Т.О., Шабардина Н.Д., 2018

M.V. Popova, P.B. Shokhin, T.O. Glebova, N.D. Shabardina
ENGINEERING CALCULATION FEATURES OF WOOD-COMPOSITE DESIGNS

The rational use of natural resources is a pressing issue. Wood is an environmentally friendly and renewable natural resource, so its use in construction can only be welcomed and expanded. Modern technologies allow to improve considerably operational properties of wood, to increase durability. In order to increase the service life and reliability of structural elements, the use of materials on the basis of nanoclay compositions is quite topical in wooden housing construction. In the course of the work we obtained new results of experimental and theoretical studies reflecting the peculiarities of working derivatising designs with the inclusion in the adhesive composition of carbon nanotubes. The possibility of improving tree-composite beam structures with increasing strength and stiffness characteristics is proved, which provides high operational reliability of structures. Obtained theoretically and confirmed experimentally, quantitative values of strength and deformation indicators derivatising beams, taking into account physical nonlinearity and creep. For calculation of the strengthened elements coefficients which need to be entered into the generally accepted formulas of determination of boundary stresses and bends are defined.

Keywords: wood-glued composite beam, glass fiber based on basalt fiber, epoxy matrix, edge stresses and deflections.

REFERENCES

1. Roshchina S.I., Lukin M.V., Letnikov M.C., Sergeev, M.S. Reconstruction of the roof above the single storey annexe flax factory in the town of Vyazniki. News of higher educational institutions. Technology of textile industry, 2017, no. 4 (370), pp. 226–230.

2. Roshchina S.I., Letnikov M.S., Griбанov A.S., Resetnikova M.O., Strekalin A.A. Development of the scope of steklokompozita in wooden structures. BST: Bulletin of construction equipment, 2017, no. 5 (993), pp. 50–51.

3. Roshchina S.I., Letnikov S.M., Melekhov V.I., Labudin B.V., Lukin M.V. Application of the high wooden beams to cover the buildings of textile constructions. News of higher educational institutions. Technology of textile industry, 2016, no. 5 (365), pp. 267–271.

4. Roshchina S.I., Smirnov E.A., Repin V.A., Lukin M.V. Wooden beam. Patent RF, no. 2011151987/03, 2011.

5. Roshchina S.I., Letnikov M.S., Griбанov A.S., Glebova T.O. Calculation and amplification of extremely intense primarnih areas with high wooden beam structures. Journal of Forestry, 2015, vol.5, no. 1 (17), pp. 187–197.

6. Letnikov M.S. Improvement of technology of fabrication of wooden structures with increased primarnih zones. Journal of Forestry, 2015, vol. 5, no. 2 (18), pp. 137–148.

7. Roshchina S.I., Lukin M.V., Lukina A.V., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S. Experimental research on pressed-bending reinforced timberwork. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 45307–45312.

8. Telichenko V.I., Rimshin V.I., Karelskii A.V., Labudin B.V., Kurbatov V.L. Strengthening technology of timber trusses by patch plates with toothed-plate connectors. Journal of Industrial Pollution Control, 2017, vol. 33, no. 1, pp. 1034–1041.

9. Popov E.V., Filippov V.V., Labudin B.V. The influence of the stiffness of shear ties on the stress-strain state of ribbed wooden slabs. Development of the North-Arctic region: proceedings of conf. Scientific conf. teaching staff, researchers and graduate students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. (10-14 April 2016). Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University, 2016, pp. 95–99.

10. Popov E.V., Stolypin D.A., Labudin B.V., Melekhov V.I. The stress-strain state of panels on a wooden frame with various options of fastening of a covering. Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice, 2016, vol. 4, no. 5-2 (25-2), pp. 133–139.

11. Karelsky A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V., Melekhov V.I. Effect of cracks on the stress-strain state of glued wooden beams. Bezopasnost stroitelnogo fonda Rossii. Safety of the construction Fund of Russia. Problems and solutions: collection of materials Conf. International. academic reading

(05-08 April 2015). Kursk, Kursk state University, 2015, pp. 153–158.

12. Roshchina, S.V., Lukin M.V., Letnikov M.S., Markov S.V., Sinyutin A.V., Golubkov A.I. Improvement derivatising beam structures. Natural and technical Sciences, 2014, no. 9-10 (77), pp. 376–377.

13. Roshchina S.I., Lukin M.V., Shokhin P.B., Sergeev M.S., Lisiatnikov M.S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions. Life Science Journal, 2014, vol. 11, no. 9s, pp. 192–195.

14. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V., Letnikov M.S. Research derivatising structures using epoxy oligomers modified with carbon nanotubes. Scientific-technical Vestnik of the Volga region, 2013, no. 2, pp. 189–192.

15. Lukin M.V., Roschina S.I., Griбанov A.S. Calculation of deformation of composite beams on the basis of numerical studies in the program complex Lira 9.2. Construction and architecture, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 64–67.

Information about the author

Marina V. Popova, PhD, Assistant professor.

E-mail: popovamv@bk.ru

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Pavel B. Shokhin, PhD, Assistant professor.

E-mail: pashka333@bk.ru.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Tatyana O. Glebova, Postgraduate student.

E-mail: t.glebova@outlook.com.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Nadezhda D. Shabardina, Bachelor student.

E-mail: rsi3@mail.ru.

Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletovyh.

Russia, 600000, Vladimir, st. Gorkogo, 87.

Received in May 2018

Для цитирования:

Попова М.В., Шохин П.Б., Глебова Т.О., Шабардина Н.Д. Особенности инженерного расчета деревокомпозитных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 36–43. DOI: [10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118](https://doi.org/10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118)

For citation:

Popova M.V., Shokhin P.B., Glebova T.O., Shabardina N.D. Engineering calculation features of wood-composite designs. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 36–43. DOI: [10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118](https://doi.org/10.12737/article_5b6d5846d16d19.35588118)

DOI: 10.12737/article_5b6d5847c3d153.97115322

Донченко О.М., канд. техн. наук, проф.,
Аль-Хашими Омар Исмаел, аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА КЛАДКИ ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ КАМНЕЙ ПРИ СЖАТИИ

Благодаря своим хорошим физико-механическим свойствам искусственные бетонные камни высотой 200–300 мм сейчас широко применяются при строительстве наружных и внутренних стен мало- и многоэтажных гражданских зданий, существенно потеснив традиционный керамический и силикатный кирпич. Из пустотелых керамзитобетонных и полнотелых ячеистобетонных камней автоклавного изготовления возводят более 65 % стен таких зданий. Учитывая низкую теплопроводность, их применяют для устройства однослойных наружных несущих стен малоэтажных и самонесущих стен многоэтажных и высотных зданий, опирающихся на перекрытия. Более широкое применение новых наиболее эффективных ячеистобетонных материалов автоклавного изготовления, являющихся наиболее действенными для снижения материалоемкости нашего строительства, сдерживается отсутствием достоверной и физически обоснованной теории сопротивления и удовлетворительной нормативной методики расчета их кладки.

Ключевые слова: сопротивление сжатию кладки, центральное сжатие, прочность при внецентренном сжатии, изгибающий момент, кладка из ячеистобетонных камней.

Рекомендуемые нормами [1] и отдельными стандартами [2, 3] применяемые на практике методы ее расчета разрознены по форме и существу, противоречивы и несовершенны. Даже по самому главному фактору – расчетному сопротивлению кладки при сжатии R в официальных документах [1, 2, 3] единства их количественной оценки нет.

Так, если для камней различной прочности на сжатие классов от В 1,5 до В 15 на растворах марок от М 25 до М 100 расчетное сопротивление кладки R по Стандартам [2, 3] в среднем на 15–20 % больше, чем по нормам [1], то по сравнению с результатами, получаемыми по известной зависимости проф. Л.И. Онищика [4], на которой основаны нормы [1], такие превышения являются более значительными (50–75 %).

Существенное снижение расчетных сопротивлений кладки R из таких камней по зависимости проф. Л.И. Онищика [4].

$$R^H = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + R_2 / 2R_1} \right) \cdot \eta, \quad (1)$$

где R_1 и R_2 – сопротивление сжатию, соответственно, камня и раствора, а коэффициент конструктивного качества камня определяется по еще одной эмпирической зависимости:

$$A = \frac{100 + R_1}{100m + nR_1}, \quad (2)$$

можно объяснить неточностью большого количества эмпирических коэффициентов (a ; b ; η ; m и n), поскольку в годы ее создания массового производства ячеистобетонных камней автоклавного изготовления не было, но занижение расчет-

ных сопротивлений кладки по нормативной методике [1] по сравнению с данными стандартов [2, 3] объяснить трудно.

Если по нормативной методике [1] центрально сжатая кладка в действительности есть и ее расчеты осуществляются по простой и хороша знакомой для пользователей, короткой формуле:

$$N \leq m_g \cdot \varphi \cdot A \cdot R, \quad (3)$$

где m_g – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки N_g и определяемый по зависимости

$$m_g = 1 - \eta \frac{N_g}{N_n} \left(1 + \frac{1.2 e_{0g}}{h} \right), \quad (4)$$

при $e_{0g} = 0$, а индексы φ и A обозначают, соответственно, коэффициент продольного изгиба и площадь поперечного сечения элемента, то по стандартам [2, 3] такого нагружения и деформирования кладки из ячеистобетонных камней нет и она всегда работает в условиях внецентренного сжатия.

При этом, расчетные формулы стандартов [2, 3] кардинально и по форме и по существу отличаются от расчетной зависимости норм [1] для внецентренно сжатой кладки. Так, по стандарту [2] прочность кладки из ячеистобетонных камней при внецентренном сжатии от вертикальных нагрузок и изгибающих моментов определяется по формуле:

$$N \leq R \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b9} \cdot \gamma_{b11} \cdot \gamma_c \cdot m_g \cdot \varphi_1 \cdot b \cdot h \cdot \left(1 - \frac{2e_0}{h} \right), \quad (5)$$

Где индексы обозначают, γ_{b2} – коэф. условий работы, учитывающий длительность дей-

ствия нагрузки и равный 0,85; γ_{b9} – коэф. условий работы для неармированных конструкций и равный 0,9; γ_{b11} – коэф. условий работы, учитывающий влажность камней более 25 % и равный 0,85; γ_c – масштабный коэф. для столбов и простенков площадью сечения менее $0,3 \text{ м}^2$ за вычетом длины площадок для опирания перемычек и равный 0,8; b – ширина простенка (за вычетом длины площадок для опирания перемычек) и h – толщина стены.

В зависимости (5) коэффициент продольного изгиба элемента при внецентренном сжатии определяется по формуле:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_s}{2}, \quad (6)$$

где φ – такой же коэф. для всего сечения в плоскости действия изгиба; φ_s – аналогичный коэф. но только для сжатой части этого сечения; e_0 – сумма случайного (0,02 м) и моментного (M/N_n) эксцентриситетов, где M – изгибающий момент от перекрытия и ветровой нагрузки, а N – сумма всех вертикальных нагрузок.

По Стандарту [3] такая формула для определения прочности кладки при внецентренном сжатии содержит такие же многочисленные эмпирические коэффициенты и отличается от аналогичной зависимости Стандарта [2] только заменой простого множителя в скобках на другой множитель в сложные формы с отрицательным показателем степени

$$N = R \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b9} \cdot \gamma_{b11} \cdot \gamma_c \cdot m_g \cdot \varphi_1 \cdot b \cdot h \cdot \left[12 \left(\frac{b}{h} \right)^2 + \frac{6e_0}{h} + 1 \right]^{-0,5}, \quad (7)$$

Однако, по существу зависимость (7) существенно отличается от расчетных формул норм [1] и Стандарта [2], поскольку высота сжатой части поперечного сечения здесь равняется $h_c = 1,5(h - 2e_0)$. Но это небольшое изменение коренным образом изменяет физическую сторону рассматриваемого явления. Если нормативная методика [1] и Стандарт [2] в сжатой зоне принимают прямоугольную эпюру сжатия и наделяют ячеистый бетон свойствами упруго-пластичности, то Стандарт [3] уже рассматривает другой материал, а именно упругий с треугольной эпюрой сжатия в предельном состоянии.

Стандарты [2, 3] вообще не учитывают влияние краевого эффекта на повышение сопротивления материала при внецентренном сжатии, которое в нормативной методике [1] отражается множителем ω , повышающим несущую способность элемента до 45 %.

$$N \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot \omega, \quad (8)$$

Но в отличие от нормативной методики [1], Стандарты [2, 3] дают расчетные формулы со-

противления внецентренному сжатию армированной кладки из ячеистобетонных камней путем замены расчетного сопротивления неармированной кладки R на R_{sk} , определяемого по зависимости:

$$R_{sk} = R + \frac{2\mu_s R_{sw}}{100}, \quad (9)$$

где $\mu_s = \frac{V_s}{V_k} * 100$ – процент объемного армирования, а V_s и V_k – соответственно, объемы арматурных сеток и кладки. При этом максимальное значение R_{sk} ограничивается величиной $1,24R$, а процент косвенного армирования – значением 0,3 %. Этот подход Стандартов [2,3] является чисто эмпирическим в связи отсутствием соответствующего теоретического решения, но и отличается от нормативного [1] отсутствием учета влияния величины относительного эксцентриситета при назначении сопротивления R_{sk} , который присущ нормативной методике [1] при расчете кладки из камней высотой до 150 мм при внецентренном сжатии.

Такой диссонанс в теории работы и методиках расчета, действующих официальных нормативных материалах, вносит неразбериху в дальнейшее исследование, проектирование и применение конструкций из эффективного ячеистого бетона. Да и в отличие от СНиП и нормативной методики [1] Стандарты [2, 3] обозначают элементы из ячеистого бетона высотой 200–300 мм не камнями, а блоками.

Анализируя аналитические решения опубликованных в последнее время работ других исследований [5, 6, 7], где изучали сопротивление и работу неармированных и армированных кладок из ячеистобетонных камней при сжатии, следует отметить, что в них не поднимались вопросы теоретического решения сопротивления кладок из таких материалов, а лишь осуществлялись попытки нахождения других уточняющих эмпирических коэффициентов для общеизвестных формул проф. Л.П. Онищика [4] и нормативной методики [1]. Однако добиться более общих и более точных коэффициентов для этих решений пока не удалось.

На основании вышеизложенного необходимо отметить, что состояние теории сопротивления и методики расчета кладки из эффективных ячеистобетонных элементов при сжатии оставляет желать много лучшего и возможно лишь на основании других физически обоснованных теоретических решений и предпосылок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 11-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования». М., Стройиздат, 1983, 61 с.

2. СТО 501-52-01-2007 Стандарт организации. Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации. М., Ассоциация Строителей России, 2007, 41 с.

3. СТО НААГЗ.1-2013 Стандарт организации. Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства, Национальная Ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2013, 171 с.

4. Онищик Л.И. Каменные конструкции. Госстройиздат, М., 1939, 208 с.

5. Гойкалов А.Н. Прочность и деформативность сжатых элементов кладки из мелких ячеистобетонных блоков с косвенным армированием. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, Воронеж, 2005, С. 4–12.

6. Долев А.А. Эффективные клеевые композиции для омоноличивания стеновых блоков». Автореферат диссертации на соиска е ученой степени канд. техн. наук. М., 2003. С. 5–13.

7. Дегтев И.А., Донченко О.М., Тарасенков В.И. Прочность и деформативность каменной кладки при силовом сжатии. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015, 174 с.

Информация об авторах

Донченко Олег Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: saltanova.ev@yandex.ru

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

Омар Исмаел Аль-Хашими, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: OOMMAARR2011@yahoo.com

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

Поступила в марте 2018 г.

© Донченко О.М., Аль-Хашими Омар Исмаел, 2018

O.M. Donchenko, Al-Hashimi Omar Ismael

PRESENT STATE OF THE RESISTANCE THEORY AND METHODS OF CALCULATION MASONRY OF AERATED STONES WHILE COMPRESSION

Due to their good physic- mechanical properties, artificial concrete stones of 200–300 mm in height are now widely used in the construction of exterior and interior walls of small and multi- storey civil buildings, substantially replacing traditional ceramic and silicate bricks. Of hollow haydite-concrete and full-bodied aerated concrete stones of autoclave manufacture erect more than 65% of the walls of such buildings. Given the low thermal conductivity, they are used for the construction of single-layer outer bearing walls of low-rise and self-supporting walls of multi-storey and high-rise buildings, supported by ceilings. The wider use of new most efficient cellular concrete materials of autoclave manufacturing, which are the most effective for reducing the material consumption of our construction, is hampered by the lack of a reliable and physically based resistance theory and a satisfactory normative methodology for calculating their masonry.

Keywords: *compression resistance of masonry, central compression, strength at eccentric compression, bending moment, masonry of cellular stone.*

REFERENCES

1. SNiP 11-22-81 “Stone and reinforced structures. Norms of designing”. М., Stroiizdat, 1983, 61 p.

2. СТО 501-52-01-2007 The standard of the organization. Designing and erection of enclosing structures of residential and public buildings with the use of cellular concrete in the Russian Federation. М., Association of Builders of Russia, 2007, 41 p.

3. СТО НААГЗ.1-2013 The standard of the organization. Designs using autoclaved aerated concrete in the construction of buildings and structures.

Design and Construction Rules, National Association of Autoclaved Aerated Concrete Manufacturers, 2013, 171 p.

4. Onishchik L.I. Stone constructions. Gosstroyizdat, М., 1939, 208 p.

5. Gojkalov A.N. Strength and deformability of compressed masonry elements from small cellular concrete blocks with indirect reinforcement. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree kand. tech. Sciences, Voronezh, 2005, pp. 4–12.

6. Dolev A.A. Effective glue compositions for monolithic wall blocks. "The dissertation author's

abstract on the competition of a scientific degree
kand. tech. sciences. M., 2003, pp. 5–13.

7. Degtev I.A., Donchenko O.M., Tarasenkov
V.I. Strength and deformability of masonry under
force compression. Belgorod: BSTU, 2015, 174 p.

Information about the author

Oleg M. Donchenko, PhD, Professor.

E-mail: saltanova.ev@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Str. Kostyukova 46.

Omar Ismael Al-Hashimi, Postgraduate student.

E-mail: OOMMAARR2011@yahoo.com

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, Str. Kostyukova 46.

Received in March 2018

Для цитирования:

Донченко О.М., Аль-Хашими Омар Исмаел Современное состояние теории сопротивления и методов расчета кладки из ячеистобетонных камней при сжатии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 44–47. DOI: 10.12737/article_5b6d5847c3d153.97115322

For citation:

Donchenko O.M., Al-Hashimi Omar Ismael. Present state of the resistance theory and methods of calculation masonry of aerated stones while compression. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 44–47. DOI: 10.12737/article_5b6d5847c3d153.97115322

DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157

¹Рыбникова И.А., ст. препод.,²Рыбников А.М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.¹Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова
(Новороссийский филиал)²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНШЕЙНОЙ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» С РАМНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Траншейная «стена в грунте» – это подземная стена разной конфигурации, сооружаемая в траншее под тиксотропным раствором с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными элементами (стеновыми панелями) в качестве заглубленных сооружений разного назначения. Разработан новый способ прямоугольной в плане «стены в грунте» с поперечными несущими стальными рамами и прикрепленными к ним горизонтальными рядами наружных стеновых панелей. Конструкция внедрена при возведении подземной части размером в плане 30×12 м глубиной 15,5 м перегрузочного узла № 8 базисного склада бокситов Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода. Показаны конструкции и технология возведения такого сооружения в траншеях шириной 0,6 м. Применение траншейной «стены в грунте» с рамными элементами позволило уменьшить стоимость подземной части перегрузочного узла № 8 на 40 % и сократить срок строительства.

Ключевые слова: грунт, траншея, заглубленное сооружение, стена в грунте, глинистая суспензия, стальная рама, стеновые панели, экономический эффект.

Введение. Нормативный документ [1] даёт определение «стены в грунте» как «...общее название подземным конструкциям (монолитным, сборным, сборно-монолитным или свайным), предназначенным для защиты стен (откосов) котлованов глубокого заложения от обрушения в процессе их разработки, создания противофильтрационных завес и в случае совмещения функции фундамента, восприятия нагрузок от сооружения».

Известны конструкции «стены в грунте», возводимые различными способами – шпунтовые, из буронабивных свай, РИТ-свай (разрядно-импульсная технология), jet-grouting (струйная цементация) и др. Из прокатных стальных шпунтин, плотно примыкающих друг к другу посредством водонепроницаемых замков, создают вертикальные ограждающие стенки котлованов [2]. В этом случае появляется возможность работать в котлованах, расположенных в водонасыщенных и обводнённых грунтах, вода из которых если просачивается внутрь котлована снизу, то откачивается из него. После возведения подземной части сооружения в котловане шпунт извлекается для повторного применения.

При возведении «стены в грунте» из буронабивных цилиндрических свай скважины в грунте разрабатываются, бетонируются с последовательным соприкосновением, пересечением (сочленением) по длине одна с другой или через одну с последующей заделкой междусвайного пространства [1, 2, 3]. Их обычно возводят круг-

лыми в плане, чтобы элементы кольцевого сечения «стен» работали без возникновения в них растягивающих напряжений.

Разрядно-импульсная технология РИТ-свай заключается в том, что буровую скважину, заполненную мелкозернистым бетоном или цементным раствором, обрабатывают серией высоковольтных электрических разрядов. При этом возникает электрогидравлический эффект, в результате которого первоначальный диаметр скважины (до 300 мм) может быть увеличен более чем в два раза, а песчаные грунты вокруг ствола частично цементируются. Технология изготовления РИТ-свай позволяет при сочленении свай по длине получить ограждающую конструкцию типа «стена в грунте», способную нести достаточно большую вертикальную нагрузку. Однако нести большие горизонтальные нагрузки такая «стена» не способна, поэтому она может применяться в основном как противофильтрационная завеса.

Сущность технологии струйной цементации грунтов jet-grouting – в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором в режиме «mix-in-place» (перемешивания на месте). После твердения раствора образуется новый материал – грунтобетон, обладающий достаточно высокими прочностными и деформационными характеристиками. По сравнению с традиционной технологией инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет укреплять практиче-

ски весь диапазон грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов. Через лидерное отверстие диаметром 112 мм нагнетаемым цементным раствором при давлении 400...500 атм. получают сваи диаметром 500...1500 мм, которые могут соприкасаться между собой и создавать стенку. Практическое применение такая технология нашла в числе других при ограждении котлованов в обводнённых грунтах и устройстве противодиффузионных завес.

Известны конструкции полностью сборной [4], а также сборно-монолитной «стены в грунте» в виде двухслойной панели, одна часть которой – сборная железобетонная панель, а вторая – монолитная неармированная, бетонируемая непосредственно в траншее под защитой глинистой суспензии непосредственно на строительной площадке [5].

Приведенные типы конструкций «стены в грунте» относятся к сооружениям, предназначенным для устройства подземных конструкций незначительной глубины при небольших вертикальных и горизонтальных нагрузках. Для восприятия значительных нагрузок применяется глубокая монолитная и массивная траншейная «стена в грунте», как правило, прямоугольная в плане. Нормативный документ [2] конкретизирует термин траншейной «стены в грунте» как «...подземной стены, сооружаемой в траншее под тиксотропным глинистым (или иным) раствором, с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными элементами» и уточняет, что несущая «стена в грунте» – это «... стена в грунте, предназначенная в качестве несущего элемента постоянной конструкции». Однако ни в приведенных документах, ни в аналогичных других рассмотренных технических и научных работах отсутствует понятие «стены в грунте» рамной конструкции.

Методология. При разработке траншей для возведения «стены в грунте» используются специализированные механизмы: напорные грейферы или грунтовые фрезы. Ширина и глубина траншей ограничиваются техническими возможностями применяемых механизмов [1, 2]. Ширина траншей может быть в пределах от 0,4 до 2 м, глубина – от 4 до 50 м. Устройство траншей глубиной меньше 4 м для возведения «стены в грунте» в большинстве случаев экономически нецелесообразно [2].

Способ возведения траншейной «стены в грунте» применяют при возведении сооружений в непосредственной близости от существующих зданий. При таком способе, благодаря малым поперечным размерам грунтовой выработки, влияние на здания от её разработки минимальное.

Траншейная «стена в грунте», как правило, устраивается отдельными захватками. Захватки могут быть разработаны за один или несколько проходов рабочего органа землеройного механизма.

Классический способ применения траншейной монолитной «стены в грунте» был использован для сохранения устойчивости фундаментов существующего корпуса среднего дробления бокситов (КСДБ) Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода (ПАГЗ) на период возведения рядом с ним подземной части перегрузочного узла № 8 (ПУ-8). Первоначально предлагалось устройство ломанного в плане (по контуру КСДБ) предохранительного ограждения длиной 24 м в виде металлической шпунтовой стенки. Стенка предусматривалась из шпунтин корытообразного сечения марки Ларсен Л-IV высотой 11 м. Чтобы избежать применения дефицитного и дорогостоящего шпунта, а также предохранить основание фундаментов КСДБ от динамического воздействия при его забивке, ограждение было возведено в виде монолитной железобетонной траншейной «стены в грунте» [6].

Траншеи под стену отрывались в определённой последовательности – в разбежку захватками (шлицами) длиной 2,5 м, шириной 0,6 м, глубиной 11 м (рис. 1). Для этого использовался плоский напорный грейфер на базе экскаватора. Шлицы армировались каркасами из арматуры диаметром 28 мм класса А-300 с шагом 0,4 м. Каркас вставлялся в шлиц после его заполнения бетоном класса В12,5 на высоту 1,5...2 м от забоя. Во избежание оплывания стенок шлицов они (шлицы) заполнялись глинистой суспензией, которая периодически откачивалась по мере заполнения шлицов бетоном. По мере твердения бетона шлицы последовательно перехлестывались между собой на 0,5 м. Чтобы бетон не успел набрать прочность, при которой его нельзя было бы разрабатывать грейфером на перехлестываемых участках, перерыв между устройством 1-й и 3-й захватками составлял не более суток.

Применение конструкции «стены в грунте» вместо шпунтовой стенки позволило закончить в срок устройство предохранительного сооружения без увеличения сметной стоимости. При этом расход металла был сокращён на 28 тонн с учётом нормированного возврата шпунта.

Основная часть. Заглубленные сооружения в плане стараются устраивать круглыми, чтобы элементы цилиндрической «стены» работали не как балка, а как кольцевое сечение без возникновения в них растягивающих напряжений. Однако в ряде случаев по технологическим, объёмно-планировочным или иным требованиям, предъявляемым к заглубленным сооружениям, им

необходимо придавать прямоугольную форму. В целях обеспечения устойчивости такой «стены в грунте» в период строительства необходимо при-

менять пояса жёсткости, временные и постоянные распорки, грунтовые анкеры, что приводит к увеличению стоимости и трудоёмкости работ.

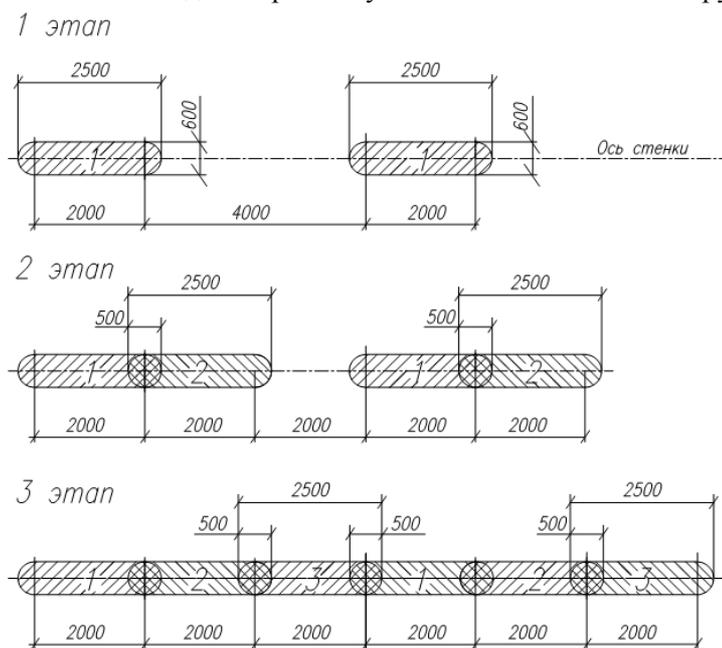


Рис. 1. Последовательность устройства шлицов предохранительной «стены в грунте»

Авторами [7] разработан новый способ возведения прямоугольной «стены в грунте» без выполнения указанных дополнительных факторов, который был реализован при возведении перегрузочного узла № 8 (ПУ-8) в период реконструкции базисного склада бокситов ПАГЗ. Площадка строительства сложена напластованиями супесей, суглинков, глин и водонасыщенных песков (плывунов). Подземные воды залегают на глубине 5 м. Подземная часть ПУ-8 размером в плане 30×12 м заглублена на 15,5 м, имеет одно промежуточное перекрытие на отметке – 8,8 м, опирающееся на средний ригель на отметке – 9,3 м.

Первоначально строительство подземной части ПУ-8 предусматривалось с применением опускного колодца с толщиной стен 1,9 м. По календарному графику работ срок строительства составлял 25 месяцев, что не устраивало ПАГЗ, так как не обеспечивало запланированного ввода в эксплуатацию всего пускового комплекса. Были также сомнения у подрядной организации в возможности равномерного опускания громоздкого прямоугольного колодца с соотношением сторон 1:2,5. Поэтому предпочтительнее оказался другой вариант строительства подземной части – способом траншейная полносборная «стена в грунте» с рамными элементами [7]. В разработанном варианте были приняты следующие конструктивные решения (рис. 2):

– рамы каркаса 1 – стальные сварные из широкополочных двутавров (с шагом 6 м) размером

12×19 м, вывешивались в траншеях на форшактах 3;

– наружные стены 2 – из сборных железобетонных панелей массой до 9 т, размером 6×1,2 м, толщиной 300...500 мм и теплоизоляцией 8 мм;

– снаружи стены из панелей предохранялись от соприкосновения с грунтом гидроизоляционной бетонной рубашкой 4;

– перекрытие на отметке – 8,8 м – монолитное по металлическим балкам, опирающимся на средний ригель 5;

– днище – толщиной 1 м, включающее в себя нижние ригели рам 6, обсыпанные на всю высоту песком и опирающиеся нижней полкой на бетон в траншее;

– надземная часть – сборный каркас из навесных панелей с перекрытием по верхнему ригелю 7.

Работы по устройству «стены в грунте» велись из пионерного котлована с отметкой заложения – 4 м. Траншеи глубиной 15,6 м, шириной 0,6 м под рамы и под стены разрабатывались штанговым напорным грейфером Воронежского экскаваторного завода. Для предохранения устья траншей от обрушения перед разработкой по кромкам будущей траншеи с обеих сторон устраивались форшахты из дорожных железобетонных плит. Глинистая суспензия приготавливалась из местных глин по заранее подобранному составу.

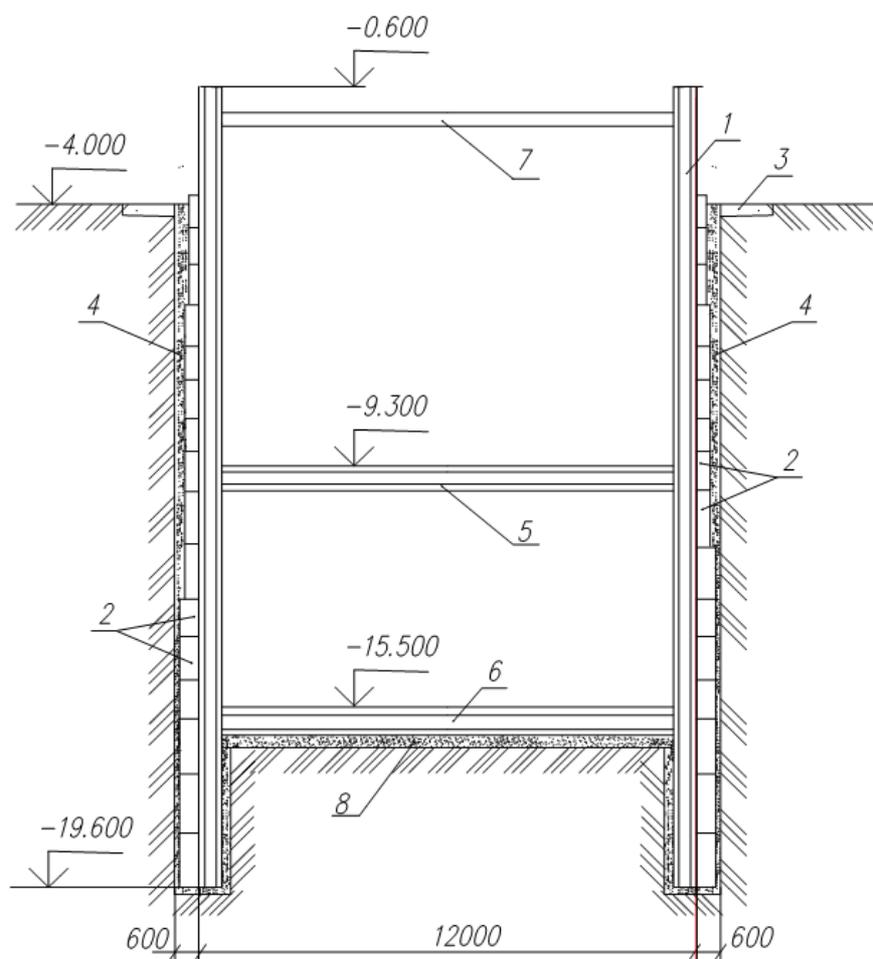


Рис. 2. Схематический разрез подземной части ПУ-8

Рамы массой 40 т монтировались гусеничным краном. Для их установки в траншее использовались специальные кондукторы, закреплённые в торцах траншеи, точность установки которых контролировалась теодолитом (рис. 3). По окончании монтажа рам дно траншеи с нижним ригелем тампонирувалось быстротвердеющей бетонной смесью, а по высоте они засыпались песком. В центре крайних рам предусматривались фахверковые стойки для монтажа панелей торцевых стен.

Панели монтировались тем же гусеничным краном, что и рамы. Монтажные петли были утоплены в панели, чтобы между ними образовывался плотный горизонтальный стык. Для монтажа панелей была сконструирована и изготовлена траверса с дистанционным управлением. Посредством зацепных уголков (замки-полосы), приваренных к металлоизоляции панелей, они (панели) опускались по стойкам рам (из двутавров) как по направляющим, обеспечивая плотное прилегание к ним. Во избежание прорыва пловуна внутрь сооружения наружные стены заглублялись в водоупорный слой на 2...3 м ниже дна сооружения. К стойкам рам в нижней части приваривались консоли для опирания на них

панелей. По мере монтажа панелей глинистая суспензия из траншеи откачивалась грунтовым насосом, и после восстановления её качества использовалась повторно на других участках траншеи. После монтажа панелей полость между наружной стороной панели (без металлоизоляции) и стенкой траншеи тампонирувалась быстротвердеющей бетонной смесью образуя гидроизоляционную бетонную рубашку.

Грунтовое ядро разрабатывалось и удалялось по контуру стен напорным грейфером, в остальных местах – тросовыми грейферами и малогабаритным гусеничным бульдозером, опущенным внутрь котлована. По мере удаления грунта горизонтальные швы между панелями обваривались полосовой сталью, а сами панели приваривались к стойкам рам. Для обеспечения пространственной жёсткости на нижних ярусах каркаса устанавливались связи. Ригели рам использовались как несущие элементы перекрытий (рис. 4) и днища заглубленного сооружения. Поступающая через незаваренные ещё щели панелей грунтовая вода постоянно откачивалась грязевым насосом из специально устраиваемых зумпфов.



Рис. 3. Монтаж рамы в траншею при строительстве ПУ-8



Рис. 4. Открытые рамы заглубленного сооружения перегрузочного узла № 8 со средним ригелем и временными распорками. Ниже бульдозер разрабатывает грунтовое ядро

Принятые конструктивные и технологические решения по устройству «стен в грунте» позволили сократить срок строительства ПУ-8 в два раза. При этом стоимость строительства подземной части была уменьшена почти на 40 %. Конструкция ПУ-8 является уникальной и не имеет аналогов в отечественной и зарубежной

практике устройства «стен в грунте». До настоящего времени ПУ-8 эксплуатируется нормально, что говорит о надёжности разработанной конструкции.

Вывод. В разработанном конструктиве «стен в грунте» поперечные стальные рамы со-

здают самостоятельный жёсткий каркас подземной части заглубленного сооружения, воспринимают боковое давление грунта и давления отпора днища, а также воспринимают нагрузки от надземной части сооружения. Строительство подземной части перегрузочного узла № 8 Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода способом траншейная «стена в грунте» с рамными элементами показало надёжность такой конструкции и позволило сократить сроки строительства, а также получить значительный экономический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство «стены в грунте». СТО НОСТРОЙ 2.5.74-2012. М.: Изд-во: Типография «Богенпринт». 2012. 76 с.
2. Свод правил СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры подъёмно-транспортных машин и комплексов.

E-mail: a.ribnikov@novoroshkhp.ru

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в февраль 2018 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2018

3. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Опыт устройства заглубленных сооружений способом свайная «стена в грунте» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 26–31.

4. Першин В.Г. Разработка методики расчёта сборно-монолитных «стен в грунте»: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 1986. 23 с.

5. Першин В.Г., Рыбников А.М. Новый вид сборно-монолитной «стены в грунте» – двухслойная панель по высоте конструкции // Информационный листок. Серия 67.11.31. Караганда: Изд-во Карагандинский ЦНТИ. 1990. № 5–91. 5 с.

6. Першин В.Г., Рыбников А.М. «Стена в грунте» вместо шпунтовой стенки // Информационный листок. Серия 67.11.29. Караганда: Изд-во: Карагандинский ЦНТИ, 1990. № 77–90. 3 с.

7. Першин В.Г., Рыбников А.М. Опыт устройства сборных сооружений способом «стена в грунте» с использованием рамных элементов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1991. № 4. С. 4–5.

A.I. Rybnikova, A.M. Rybnikov

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE CONSTRUCTION TRENCH OF THE "WALL IN THE GROUND" WITH FRAME ELEMENTS

Trench "slurry wall" is an underground wall of different configurations built in the trench under thixotropic solution with subsequent filling of the trench with a monolithic reinforced concrete or prefabricated elements (wall panels) as embedded structures for different purposes. A new method rectangular "wall in the ground" with a cross bearing steel frames and attached to horizontal rows of external wall panels is developed. The design is implemented in the construction of the underground part in terms of size 30x12 m with a depth of 15.5 m transfer group No. 8 warehouse base of the Pavlodar aluminium bauxite and alumina plant. Shown design and technology of erection of such constructions in the trenches with a width of 0,6 m the use of trench "wall in the ground" with frame elements allowed to reduce the cost of the underground part of the transfer group No 8 by 40 % and shorten the construction period.

Keywords: ground, trench, buried structure, slurry wall, clay suspension, steel frame, wall panels, economic effect.

REFERENCES

1. Ustroystvo «steny v grunte». SТО NOSTROY 2.5.74-2012. M.: Izd-vo: Tipografiya «Bogenprint», 2012, 76 p.

2. Svod pravil SP 45.13330.2012. Zemlyanyye sooruzheniya, osnovaniya i fundamenti. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.02.01-87.

3. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Opyt ustroystva zaglublennykh sooruzheniy sposobom svaynaya «stena v grunte». Bulletin named after V.G. Shukhov, 2017, no. 4, pp. 26–31.

4. Pershin V.G. Razrabotka metodiki raschota sborno-monolitnykh «sten v grunte»: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moskva, 1986, 23 p.

5. Pershin V.G., Rybnikov A.M. Novyy vid sborno-monolitnoy «steny v grunte» – dvukhsloynaya panel' po vysote konstruktsii. Informatsionnyy

listok. Seriya 67.11.31. Karaganda: Izd-vo Karagandinskiy TSNTI, 1990, no. 5–91, 5 p.

6. Pershin V.G., Rybnikov A.M. «Stena v grunte» vmesto shpuntovoy stenki. Informatsionnyy listok. Seriya 67.11.29. Karaganda: Izd-vo: Karagandinskiy TSNTI, 1990, no. 77–90, 3 p.

7. Pershin V.G., Rybnikov A.M. Opyt ustroystva sbornykh sooruzheniy sposobom «stena v grunte» s ispol'zovaniyem ramnykh elementov. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1991, no. 4, pp. 4–5.

Information about the author

Irina A. Rybnikova, Senior lecturer.

E-mail: 7upa7@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch.

Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, str. Myshaksky highway, 75.

Aleksandr M. Rybnikov, PhD, Assistant professor, Senior researcher.

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru

State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov.

Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in February 2018

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка и применение конструкции траншейной «стены в грунте» с рамными элементами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 48–54. DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157

For citation:

Rybnikova A.I., Rybnikov A.M. Development and application of the construction trench of the "wall in the ground" with frame elements. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 48–54. DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157

DOI: 10.12737/article_5b6d5854e4caf7.59290917

Лазарева Н.В., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНОГО УРОВНЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Представленная статья посвящена проблеме регулирования экономическими методами явлений и процессов, происходящих в пространстве инвестиционно-строительной деятельности в направлении реализации целей устойчивого развития. Инновационный вектор ускорения развития строительной организации предполагает создание эффективной корпоративной инновационной системы, ориентированной на долгосрочную перспективу в рамках стратегии отраслевого наукоемкого сектора. Генезисом подобной парадигмы должен стать анализ опыта экономически развитых стран и детальное изучение отечественного опыта. В этой связи применение новаций на корпоративном уровне, как интегрального преимущества в конкуренции, повышают требования к адаптивности подсистемы научно-технического обеспечения строительства, которая должна способствовать поступательному, устойчивому развитию строительной организации, её надежности и стабильности благодаря преобразованию научно-технических проектов в инновационные. Одной из причин неудовлетворительного уровня инновационной активности не только в строительной отрасли проявляются различия и несогласованность организационных методов, структур и форм коммерциализации новшеств.

Ключевые слова: устойчивое развитие, организация, инновации, инжиниринг, управление, строительство.

Введение. Приоритетными задачами государственной стратегии в отношении науки и отечественного инновационного сектора в настоящее время являются стимулирование создания и развития инфраструктуры коммерциализации технологий (в том числе и корпоративного уровня), а также содействие расширению тех направлений, которые уже подтвердили свою конкурентоспособность внутри страны и на мировых рынках. В этой связи можно предположить возможность создания механизма трансфера новаций в строительную отрасль на основе новых организационных схем, базисом которых является методология кластерного построения и технология дезагрегирования [1–8].

Исходя из того, что инвестиционно-строительная деятельность обладает аллелопатией между структурой, поведением и режимом функционирования, можно интерпретировать устойчивое развитие инвестиционно-строительной деятельности как оптимальную траекторию, учитывающую разнообразные связи между ее составляющими (проектирование, строительное производство, его подготовка, инвестиционное, кадровое, материально-техническое, информационное обеспечение и т.д.). Оптимальное развитие отдельной подсистемы должно быть возможным лишь в рамках общего оптимального (равно считать устойчивого) развития.

Основная часть. В кибернетике состояние

устойчивого равновесия является гомеостатичным по той причине, что система управления обеспечивает перманентный контроль каждого элемента системы инвестиционно-строительной деятельности с целью нахождения её на траектории оптимального развития.

В развитии данного предположения можно допустить, что устойчивое развитие – это движение от одного состояния к другому, и каждому отдельному состоянию отвечает определенный уровень риска, который выступает важной функцией во взаимодействии с внешней средой и внутренними трансформациями, а затем проявляется в его стратегии. Поэтому необходимо диагностировать уровень риска инвестиционно-строительной деятельности в определенный момент времени (например, в контрольных точках).

Уровень риска может быть установлен на основании следующих базовых критериев: наивысшей осторожности, средней эффективности, контролируемого риска.

Идея устойчивого развития зиждется на применении критерия контролируемого (допустимого) риска, а два первых критерия используются как дополнительные, уточняющие решения, которые были сформулированы на его основе.

Кибернетическая модель, отображающая планомерное устойчивое развитие инвестиционно-строительной деятельности, включает в себя те же подсистемы, которые

действуют в пространстве экономики страны, её структура построена на иерархическом принципе и выделяется сложностью функционирования. Необходимо отметить её синергизм, т. е. такое свойство, когда целое обладает специфическими свойствами, которые в их совокупности не встречаются ни в одной из его составных частей.

Характерные особенности строительства, а также необходимость обеспечения её устойчивого роста указывают на то, что её можно квалифицировать как комплекс трех основных функциональных групп подсистем: 1) анализа и синтеза; 2) основного и вспомогательного производства; 3) результата. К каждой из них относят элементы, обладающие специфическими механизмами для устойчивого роста.

Между элементами системы инвестиционно-строительной деятельности действуют потоки трудовых, материально-технических, энергетических, информационных и финансовых ресурсов, обладающие

значительным числом прямых и обратных связей, придающие инвестиционно-строительной деятельности характер сложной и единой системы [9–13]. Детализация данных взаимодействий относительно инновационной составляющей позволило сформировать новую организационную схему, основанную на технологии кластерного дезагрегирования.

Технология кластерного дезагрегирования – единство организационных методов, а также приемов получения, передачи и коммерческого использования новаций, предполагающая качественное преобразование предметов деятельности за счет поэтапной организационной трансформации результатов исследований, полученных на корпоративном уровне, через осуществление поначалу научно-технического, а далее инновационного проекта и уже на финальной стадии формирования самостоятельной малой венчурной компании (рис. 1).

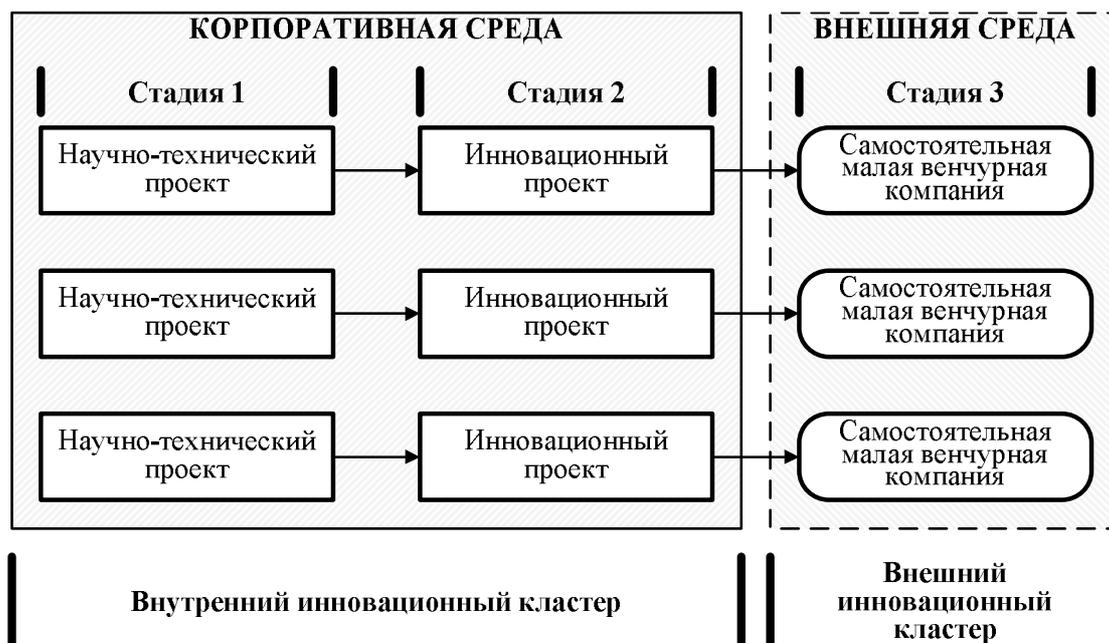


Рис. 1. Схема реализации технологии кластерного дезагрегирования

Совокупность научно-технических проектов строительной организации, переходящих постепенно в инновационные, формируют внутренний инновационный кластер, а самостоятельные малые венчурные фирмы, из ближайшего внешнего окружения компании, образуют внешний инновационный кластер. Необходимо указать на то, что подобное вычленение из состава строительного предприятия малой венчурной фирмы может сопровождаться потерей над ней либо полного, либо частичного контроля.

Коммерциализация может предполагать реализацию компанией не только своих научных

разработок, но и приобретенных на различных условиях у сторонних контрагентов (т. н. полный или неполный инновационный проект) (рис. 2).

Кластерное дезагрегирование в компаниях, ориентированных на новые знания, могут осуществляться на основе трех уже известных типов организационных структур:

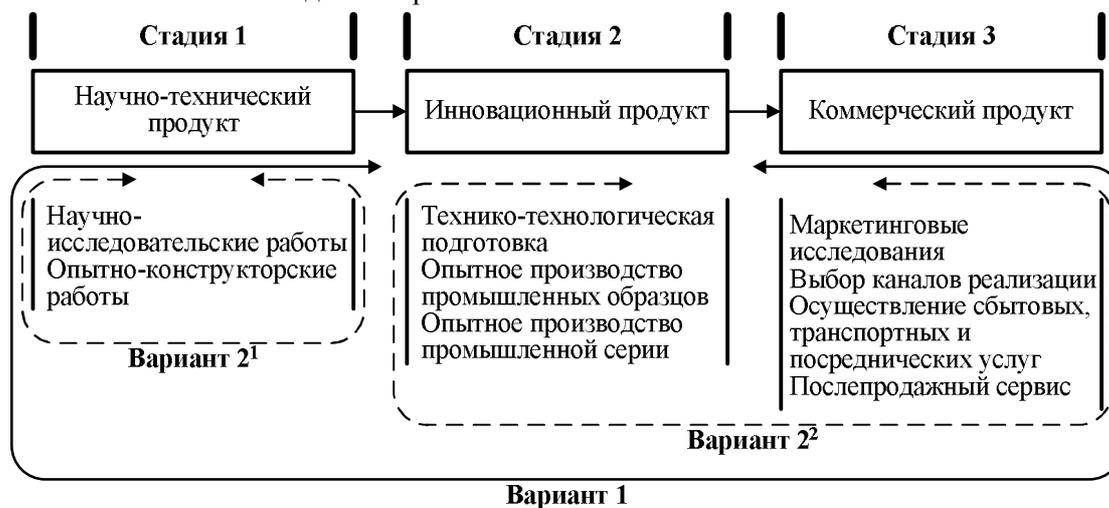
1) проектная структура, в которой руководитель проекта может иметь широкий спектр полномочий для завершения своей программы работ с имеющимися в его распоряжении ресурсами.

2) матричная структура, полномочия руководителя проектов в которой ограничены, и

разделены с функциональными управляющими.

3) структура, в которой руководитель проекта исполняет роль наблюдателя или эксперта и не имеет никакого административного

влияния на деятельность, ведущейся в функциональных подразделениях в рамках проекта.



Вариант 1 - полный инновационный проект

Вариант 2¹ - неполный инновационный проект первого вида

Вариант 2² - неполный инновационный проект второго вида

Рис. 2. Содержание этапов коммерциализации научных разработок на основе кластерного дезагрегирования

В рамках, указанных выше типов организационных структур, управляющая подсистема оказывает на управляемую (инновационный кластер) два типа влияния:

1) непосредственные (административные) воздействия;

2) корректирующие воздействия, изменяющие внутрикорпоративные условия реализации научно-технического или инновационного проекта.

К корректирующим воздействиям можно отнести информационное, финансовое, материально-техническое, правовое, кадровое и нормативное обеспечение. Управляя интенсивностью и характером непосредственных и корректирующих воздействий, строительная компания может обеспечить благоприятные условия для протекания инновационной и научно-технической деятельности.

Необходимо отметить, что характер взаимодействий будет различен во внешнем и внутреннем инновационных кластерах из-за особенностей организации воздействий материнской строительной компании на реципиента (кластер), как инициатора их создания. Во внутреннем инновационном кластере управляющие воздействия и их ресурсное наполнение зиждется на связях подчиненности, т. к. научно-технические и

инновационные проекты на данном этапе – это часть строительной компании и функционально обслуживаются ею.

Во внешнем инновационном кластере воздействия со стороны материнской строительной компании имеют в основном ассоциативный характер, т. к. объекты подобных воздействий – самостоятельные малые венчурные фирмы, связанные с материнской компанией или уставным капиталом, или исполнением совместных проектов, или тем и другим.

Фундамент деятельности подобных фирм – это собственные ресурсы, которые частично могут быть сконцентрированы на продолжении научно-технических разработок, служащие в свою очередь каркасом их конкурентоспособности. Можно отметить две тенденции реализации научно-технических разработок:

1) развитие имеющегося научного задела в рамках монопродуктовой компании;

2) диверсификация научно-технических разработок, что приведет к трансформации в полипродуктовую компанию.

Современная парадигма научно-технического прогресса идентифицирует научные исследования и технологические разработки как важный фактор

конкурентоспособности, результатом которых являются новые виды продукции, перспективные технологические методы, а также методы организации производства. Результативность научно-технического прогресса определяет инновационную способность, которая в свою очередь описывает способность преобразования новых знаний в факторы производства [14–17].

Современные тенденции развития строительной науки и практики очерчивает возможности *регулирования явлений и процессов в пространстве инвестиционно-строительной деятельности для достижения целей устойчивого развития*. В этой связи подсистемы планирования, финансирования и ценообразования должны решать задачи: 1) обеспечения строительства; 2) поддержания гомеостатического равновесия системы; 3) установление эффективности и рентабельности производственных и обеспечивающих процессов.

Указанные подсистемы совместно с подсистемой информационного обеспечения очерчивают конфигурацию инвестиционных потоков, а также определяют результаты инвестиционно-строительной деятельности на уровнях иерархии. Подсистемы планирования, финансирования и ценообразования по средствам скоординированного взаимодействия своих элементов поддерживают оптимальную интенсивность всех инвестиционных потоков, что является определяющим фактором эффективного функционирования строительства как кибернетической системы.

Синтез концепций устойчивого развития и кибернетики предполагает, что между потоками на входе и выходе инвестиционно-строительной деятельности формируются тесные корреляции, при этом расходы возможны лишь в той мере, в какой допускают источники поступлений, т.е. должно соблюдаться состояние гомеостатического равновесия. Баланс притока и оттока инвестиционных ресурсов верифицирует корреляции между распределением и потреблением в рамках расширенного воспроизводства.

Выводы. Приведенное в статье описание теоретических основ обеспечения устойчивого развития корпоративного уровня в строительстве на основе механизма активизации и стимулирования научно-технической и инновационной деятельности посредством организации кластерных систем позволяет сформулировать комплекс мероприятий, направленных на:

1) эффективное использование ограниченных ресурсов;

2) ориентацию их на наиболее полное удовлетворение потребностей строительной отрасли;

3) повышение конкурентоспособности строительных компаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарева Н.В. Кластерная модель организации инновационной деятельности на корпоративном уровне в строительстве. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет). Москва. 2015. С. 185.

2. Сборщиков С.Б. Организационные методы активизации научно-технической и инновационной деятельности в строительстве на основе территориально-отраслевых технопарков. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2000. С. 167.

3. Сборщиков С.Б. Логистика регулирующих воздействий в инвестиционно-строительной сфере (теория, методология, практика). Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. Российская экономическая академия им. Г.В. Плеханова. Москва. 2012. С. 305

4. Лазарева Н.В. Стоимостной инжиниринг как основа интеграции процессов планирования, финансирования и ценообразования в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 178-185.

5. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. К вопросу определения гомеостатического равновесия инвестиционно-строительной деятельности // Научное обозрение. 2015. №13. С. 217–220.

6. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В., Жаров Я.В. Структура и состав системотехнической модели устойчивого развития инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 210–218.

7. Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. Системотехническое описание научно-технического обеспечения инвестиционно-строительной деятельности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3 (44). С. 210–215.

8. Ганиев С.Р., Пустовгар А.П., Сборщиков С.Б. Проблемы управления и мониторинга инновационной деятельностью предприятий // В книге: Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2009) Материалы третьей международной конференции (секции 4-6). Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2009. С.

317–320.

9. Aleksanin A., Sborshikov S. Specifics of system of external influences on the life cycle of a construction object // В сборнике: MATEC Web of Conferences 5. Сер. «5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», IPICSE 2016» DOI: 10.1051/mateconf/20168605013. 2016. С. 05013.

10. Журавлев П.А. Цена строительства и этапы ее формирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 9 (104). С. 174–178.

11. Ермолаев Е.Е. Управление потребительной стоимостью объектов строительства // Гуманитарные и социальные науки (электронный журнал). 2013. № 3. С. 18–23.

12. Алексанин А.В. Перспективные направления развития организации строительства // Научное обозрение. 2015. № 10-1. С. 378–381.

13. Жаров Я.В. Учет организационных аспектов при планировании строительного производства в энергетике // Журнал ПГС. 2013. № 5. С. 69–71.

14. Шумейко Н.М. Обоснование унифицированной формы локальной сметы на проектные работы // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 300–305.

15. Шумейко Н.М. Разработка методических рекомендаций по применению нового шаблона ЛС-П(ШН) для определения стоимости проектных работ // Сметно-договорная работа в строительстве. 2016. № 1. С. 19–20

16. Бахус Е.Е. К вопросу совершенствования организационно-технологических решений обеспечения качества строительства объектов ядерной энергетики // Научное обозрение. 2016. № 14. С. 20–23.

17. Ляпин А.В., Ляпин В.Ю. Современный подход к организации сметной деятельности в строительстве // Научное обозрение. 2016. № 8. С. 251–255.

Информация об авторах

Лазарева Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации и управления строительством.

E-mail: tous2004@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в мае 2018 г.

© Лазарева Н.В., 2018

N.V. Lazareva

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR PROVIDING SUSTAINABLE CORPORATE LEVEL DEVELOPMENT IN CONSTRUCTION BASED ON THE IMPLEMENTATION OF NEW ORGANIZATIONAL SCHEMES OF INNOVATIVE ACTIVITY MANAGEMENT

The article is devoted to the problem of regulating by economic methods the phenomena and processes occurring in the space of investment and construction activities in the direction of realizing the goals of sustainable development. The innovative vector of accelerating the development of the construction organization involves the creation of an effective corporate innovation system, oriented to a long-term perspective within the strategy of the sectoral science-intensive sector. The genesis of such a paradigm should be an analysis of the experience of economically developed countries and a detailed study of domestic experience. In this regard, the use of innovations at the corporate level, as an integral advantage in competition, increases the requirements for the adaptability of the subsystem of scientific and technical support for construction, which should promote the steady, sustainable development of the construction organization, its reliability and stability through the transformation of scientific and technical projects into innovative ones. One of the reasons for the unsatisfactory level of innovative activity not only in the construction industry is the difference and inconsistency of organizational methods, structures and forms of commercialization of innovations.

Keywords: sustainable development, organization, innovation, engineering, management, construction.

REFERENCES

1. Lazareva N.V. Cluster model of the organization of innovative activity at the corporate level in construction. The thesis for a degree of Candi-

date of Technical Sciences. Moscow state construction university (national research university). Moscow, 2015, 185 p.

2. Sborshchikov S.B. Organizational methods of activation of scientific and technical and inno-

vative activity in construction on the basis of territorial and branch science and technology parks. The thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow, 2000, 167 p.

3. Sborshchikov S.B. Logistics of the regulating influences in the investment and construction sphere (the theory, methodology, practice). The thesis for a degree of the Doctor of Economics. Russian economic academy of G.V. Plekhanov. Moscow, 2012, 305 p.

4. Lazareva N.V. Cost engineering as a basis of integration in processes of planning, financing and pricing in investment and construction activity. MGSU Bulletin, 2015, no. 11, pp. 178–185.

5. Sborshchikov S.B., Lazareva N.V. To a question of definition of homeostatic balance of investment and construction activity. Scientific review, 2015, no. 13, pp. 217–220.

6. Sborshchikov S.B., Lazareva N.V., Zharov Ya.V. Struktur's Heats and structure of sistemotekhnicheskoy model of sustainable development of investment and construction activity. MGSU Bulletin, 2014, no. 2, pp. 210–218.

7. Sborshchikov S.B., Lazareva N.V. Sistemotekhnicheskoye description of scientific and technical ensuring investment and construction activity. Bulletin of the Tomsk state architectural and construction university, 2014, no. 3 (44), pp. 210–215.

8. Ganiyev S.R., Pustovgar A.P., Sborshchikov S.B. Collectors. Problems of management and monitoring of innovative activity of the enterprises. In the book: Management of development of large-scale systems (MLSD'2009) Materials of the third international conference (section 4-6). Institute of problems of management of V.A. Trapeznikov of RAS, 2009, pp. 317–320.

9. Aleksanin A., Sborshchikov S. Specifics of system of external influences on the life cycle of a construction object. MATEC Web of Conferences 5. Сер. «5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», IPICSE 2016» DOI: 10.1051/mateconf/20168605013. 2016, pp. 05013.

10. Zhuravlev P.A. Price of construction and stages of her formation. Messenger of the Irkutsk state technical university, 2015, no. 9 (104), pp. 174–178.

11. Yermolaev E.E. Management of the profitable cost of construction objects. Humanitarian and social sciences (online magazine), 2013, no. 3, pp. 18–23.

12. Aleksanin A.V. Perspective directions of development of the organization of construction. Scientific review, 2015, no. 10-1, pp. 378–381.

13. Zharov Ya.V. Accounting of organizational aspects when planning construction production in power. PGS Magazine, 2013, no. 5, pp. 69–71.

15. Shumeyko N.M. Development of methodical recommendations about application of the LS-P(ShN) new template for determination of cost of project works. Smetnodogovornaya work in construction, 2016, no. 1, pp. 19–20.

16. Bakhus E.E. To a question of improvement of organizational technology solutions of ensuring quality of construction of facilities of nuclear power. Scientific review, 2016, no. 14, pp. 20–23.

17. Lyapin A.V., Lyapin V.Yu. Modern approach to the organization of budget activity in construction. Scientific review, 2016, no. 8, pp. 251–255.

Information about the author

Natalya V. Lazareva, PhD, Assistant professor.

E-mail: tous2004@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in May 2018

Для цитирования:

Лазарева Н.В. Теоретические основы обеспечения устойчивого развития корпоративного уровня в строительстве на основе реализации новых организационных схем управления инновационной деятельностью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 55–60. DOI: 10.12737/article_5b6d5854e4caf7.59290917

For citation:

Lazareva N.V. Theoretical foundations for providing sustainable corporate level development in construction based on the implementation of new organizational schemes of innovative activity management. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 55–60. DOI: 10.12737/article_5b6d5854e4caf7.59290917

DOI: 10.12737/article_5b6d585981d2e6.17115004

^{1,2}Власов Д.Н., д-р техн. наук, проф.,^{1,2}Немов П.П., аспирант¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет²ГУП «НИ и ПИ Генерального плана города Москвы»

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕЩЕНИЯ АВТОВОКЗАЛОВ И АВТОСТАНЦИЙ В ГОРОДЕ МОСКВЕ

В настоящее время автобусный транспорт является одним из самых быстрорастущих и востребованных среди прочих видов внешнего транспорта России, однако заметно отставание в развитии инфраструктуры внешнего автобусного транспорта в крупнейших городах, по сравнению с железнодорожным или авиационным транспортом. В статье обоснована необходимость развития системы из нескольких автовокзалов и автостанций на территории крупнейших городов, таких как Москва, Санкт-Петербург и т.д. Автором представлена статья являющаяся частью диссертационного исследования по теме развития автовокзалов и автостанций на территории крупнейших городов, где изложен комплексный метод оценки размещения автовокзалов и автостанций на территории города Москвы, с оценкой участков территорий как существующих автовокзалов и автостанций, так и предлагаемых под размещение территорий. Разработанный автором метод базируется на квалиметрической оценке качества размещения и количественной оценке территории под размещения автовокзала по «интегральному индексу размещения автовокзалов и автостанций». Автором разработана совокупность систем критериев оценки размещения автовокзалов и автостанций, представляющих собой дерево свойств показателей качества размещения автовокзалов и автостанций, представляющих таблицу с иерархией сложных свойств с делением до простых и квазипростых свойств, определяющих качество размещения на территории вокзальной инфраструктуры. На примере 2 существующих и 6 предлагаемых под размещение автовокзалов или автостанций территорий апробирован метод комплексной оценки качества размещения разработанный автором. По результатам проведенной оценки составлен рейтинг наиболее благоприятных под размещение автовокзалов и автостанций территорий, что в дальнейшем позволит органам государственного управления принимать решения по размещению вокзальной инфраструктуры внешнего автобусного транспорта на территории крупнейших городов и может являться инструментом управления в устойчивом развитии транспортной системы города в целом.

Ключевые слова: автовокзал, автостанция, транспортно-пересадочный узел, автобусный транспорт дальнего следования, квалиметрический анализ, индекс размещения автовокзалов и автостанций, дерево показателей качества размещения, система размещения.

Введение. Развитие автобусного транспорта, как элемента системы внешнего транспорта, неразрывно связано с историей развития человечества и урбанизационными процессами. Потребность людей в перемещении между населенными пунктами возникла одновременно с появлением самих пунктов. А с ростом населенных пунктов и городов, а также с появлением железных дорог, самолетов и автомобильного транспорта появилась возможность для удовлетворения потребности в перемещении наиболее комфортным и экономичным способом.

Бурный рост межрегионального автобусного сообщения начинается с начала 20-х годов прошлого века и продолжается до его середины. В этот момент появляются: компания «Greyhound» (Грейхаунд) – крупнейший оператор рынка межрегиональных пассажирских перевозок в США, формируются автотранспортные предприятия в Советской России, в Москве, Ленинграде, Екатеринбурге и в других городах, в задачу которых

входит и организация межрегиональных перевозок.

В 1940 г. автомобильные пассажирские перевозки были организованы более чем в 300 городах, автобусами общего пользования было перевезено 3,4 млрд. пасс.-км. В послевоенные годы автобусные перевозки быстро восстановили свой рост и уже в 1950г. автобусное сообщение было организовано в 459 городах. Период с 1960 по 1990 гг. ознаменовался высокими темпами роста автомобильных перевозок, такими же темпами развивался внешний автомобильный транспорт [2, 3].

Значительные изменения в структуре дальнего автобусного сообщения произошли после развала СССР в 1991 году.

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ, в период с 1990 по 2015 г. автобусные перевозки пассажиров в дальнем следовании уменьшились более чем в

пять раз. Больше снижение пережил только водный транспорт (объем перевозок которого уменьшился более чем в 20 раз). Значительно меньше снизились объемы перевозок в железнодорожном транспорте (объем сократился в три раза), а воздушный транспорт практически сохранил объемы перевозок.

Подтверждение вышеприведенного тезиса, служат цифры. В России на автобусном транспорте общего пользования в 1929 г. [3] пассажирооборот составил порядка 0,7 млрд. пасс.-км, а в 1937г. – 2,2 млрд. пасс.-км.

Проведенные в тот же период времени обследования пассажиропотоков проведенные в Москве показывали, что размер пассажиропотока не только не снижается, но и наоборот растет, в то время как анализа численности парка автобусов в период с 1990 года по 2015 гг, в РФ вырос более чем в два раза. Основной прирост был достигнут за счет того, что количество автобусов в частной собственности выросло более чем в сто раз [2, 3].

Таким образом, исходя из анализов пассажиропотоков и статистики прироста автобусов находящейся в частной собственности вполне логичным вытекают традиции организации автобусных перевозок дальнего следования сложившихся еще в 90-е годы XX века.

В это время в крупнейших городах России возник целый ряд новых сегментов рынка междугородних и международных перевозок автобусным транспортом. К ним относятся:

– поездки с целью торговли (так называемые поездки «челноков»). Целью поездок были крупные оптовые рынки, расположенные на территории Москвы, а отправление автобусов осуществлялось практически из всех населенных пунктов РФ;

– туристические поездки. Большой популярностью пользовались автобусные туры за рубежом России (например, туры по Европейским странам из Москвы, туры по Скандинавии из Санкт-Петербурга).

В том или ином виде данные виды перевозок существуют до настоящего дня.

Большая часть данных видов перевозок осуществлялась частными предпринимателями, на принадлежащих им автобусах на свой страх и риск. Отчетные данные по ним не направлялись ни в один из надзорных органов. В связи с этим возникают сомнения в достоверности цифр официальной статистики. Более достоверной представляется картина с размерами перевозок пассажиров в Москве, где было организовано несколько обследований загрузки маршрутов межрегионального и международного сообщения и в

2016–2017 гг. большая часть пригородных маршрутов и маршрутов дальнего следования была передана в управление ГУП "Мосгортранс", вместе с основными инфраструктурными элементами данных перевозок – автовокзалами и автостанциями.

Если первый шаг на пути решения проблем с дальними автобусными перевозками правительством Москвы уже сделан - появился единый оператор рынка перевозок (ГУП «Мосгортранс»). То размещение автовокзалов и автостанций все еще уделено недостаточно внимания. Исследования иностранных систем размещения автовокзалов и автостанций в крупнейших городах показали, что для Москвы и других крупнейших мегаполисов с соотносимым населением и пассажиропотоками необходима реализация системы размещения из нескольких автовокзалов и автостанций.

Методология. В данной статье рассматриваются автомобильный внешний транспорт, т.е. автобусные маршруты дальнего следования в крупнейших городах. Крупнейшими городами можно считать Москву, Санкт-Петербург, Казань, Екатеринбург, и т.д., методика исследования опробирована на примере Москвы. Маршрутом дальнего следования является региональный, межрегиональный или международный маршрут с дальностью выше 50 км от населенного пункта отбытия. Таким образом некоторые пригородные сообщения по связи Москва-Московская область также попадают под классификацию дальних автобусных перемещений, но следует отметить, что обслуживание пассажиров на пригородных автобусных маршрутах должно производиться на территории транспортно-пересадочных узлов [6, 7].

Для выбора метода проведения оценки автором было проанализированы распространенные методы размещения АВ и АС на территории города, можно выделить 4 метода размещения [4, 7]:

- 1) По прогнозируемому пассажиропотоку по вылетным магистралям или направлениям.
- 2) Метод свободных территорий.
- 3) Бальная система оценки только транспортной доступности площадок под размещение.
- 4) SWOT анализ и метод шкалирования.

В связи с тем, что оцениваемые объекты исследования представляют собой сложную систему тесно связанную с городом методика формирования такой системы по своей точности и охвату не должна уступать проекту планировки территории или проекту планировки ТПУ но в тоже время методика должна быть менее трудоемкой [7, 9].

На данный момент нет научно обоснованной системы размещения данных инфраструктурных элементов на территории города. Поэтому авторами была предложена методика оценки территории под размещение автовокзалов и автостанций основанная на **квалиметрической оценке** качества [16] и выявлении **индекса размещения автовокзала и автостанции (Ир АВ)** [15]. Данная методика отвечает следующим критериям оценки:

1. Имеет большой спектр факторов для оценки.

2. Факторы, влияющие на оценку имеют различную степень влияния (веса).

3. Взаимоувязанное рассмотрение качественных и количественных факторов.

4. Показатели могут иметь различные единицы измерения, и при этом оцениваться в комплексе.

5. Результат оценки должен иметь численное и точное значение, позволяющее на его основе формировать систему из нескольких объектов.

Этапы проведения оценки приведены на (рис. 1).

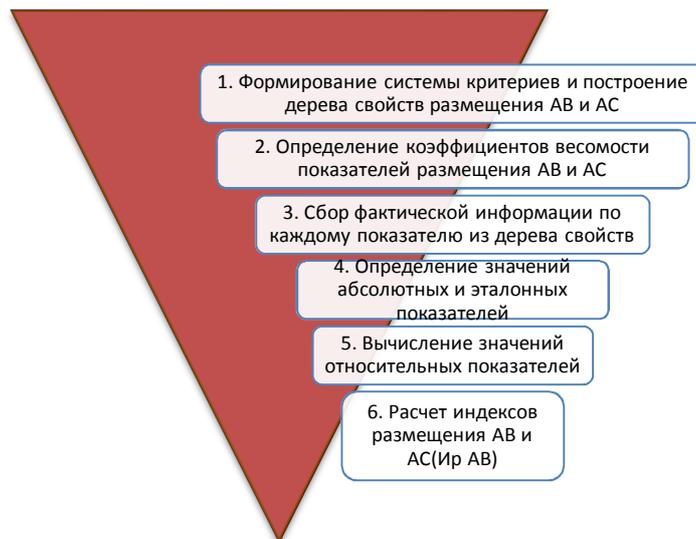


Рис. 1. Этапы определения индекса размещения автовокзалов и автостанций

Определение интегрального показателя размещения АВ и АС

Идеальная модель размещения представляет собой автовокзал или автостанцию, размещение которого на оцениваемом участке соответствует всем стандартам качества, который максимально удобен пассажирам, и который имеет максимальный потенциал для градостроительного развития прилегающей территории, а также не затрагивает градостроительные ограничения и является привлекательным для перевозчиков и инвесторов. Идеальная модель размещения имеет индекс размещения автовокзала и автостанции равный 100 ($Ир АВ=100$).

По результатам проведения расчетов, оцениваемый участок под размещение АВ или АС, имеющий наибольшее значение Ир АВ, станет в ранжированном перечне наиболее приоритетным к реализации по совокупности оцениваемых свойств.

Основная часть. Формирование системы критериев было сформировано из двух основных многокритериальных показателей:

- Градостроительного;
- Транспортного.

Градостроительные показатели являются основными при любом проектировании в городе в которых действуют законы и нормы градостроительного проектирования, которые в свою очередь накладывают большое количество территориальных ограничений для проектирования.

Транспортные показатели являются основными при проектировании объектов транспортной инфраструктуры, которым как раз является объект исследования автора – автовокзал и автостанция. На основе установленной системы критериев согласно требованиям квалиметрии, автором было разработано дерево показателей размещения АВ и АС, которое представляет собой систему из 58 свойств и 38 расчетных показателей.

Следующим этапом квалиметрического анализа является определение коэффициентов весомости назначенных в дереве свойств показателей [8, 13]. В рамках разработанного метода назначение коэффициентов весомости отобранных показателей выполнялось **экспертным методом** [8], заключающийся в анкетировании экспертов по дереву показателей размещения АВ и АС с выявлением весомости каждого простого и квазипростого свойства дерева основываясь на профессиональном мнении и опыте каждого эксперта. В

анкетировании были задействованы 30 экспертов, работающих в различных сферах градостроительной, транспортной, архитектурной деятельности, а также представители городского управления. Далее были рассчитаны Ненормированный групповой коэффициент весомости G_j' , Нормированный коэффициент весомости G_j , формула (1, 2) [10]

$$G_j = \frac{G_j'}{\sum_{j=1}^n G_j'}; \quad (1)$$

$$\bar{G}_j = \frac{\sum_{j=1}^n G_j \times K_j}{\sum_{j=1}^n K_j}; \quad (2)$$

Вместе с тем была проведена проверка на согласованность мнений экспертов по каждому отдельному показателю размещения АВ и АС рассчитываемая по формуле (3).

$$B_j = \frac{S_{G_j}}{\bar{G}_j}; \quad (3)$$

где B_j – коэффициент вариации; S_{G_j} – среднеквадратическое отклонение оценок экспертов для j -го показателя; \bar{G}_j – средняя оценка по всем экспертам j -го показателя.

При $B_j > 33\%$ однородность являлась низкой и совокупность мнений экспертов считалась неоднородной.

Ярусный коэффициент весомости G_j'' это коэффициент весомости, который характеризует значимость показателя по отношению к любому другому показателю, входящему в одну группус ним и в один с ним ярус, к любому показателю, находящемуся на другом ярусе дерева свойств (4). G_j'' - всегда варьируется от 0 до 1, также в пределах одного яруса всегда обеспечивается условие $\sum G_j'' = 1$

$$G_j'' = G_{j-1} \times G_j; \quad (4)$$

Коэффициент компетентности эксперта K_j определяемый по формуле (5).

$$K_j = \sum_{i=1}^g M_i \times P_{ig} \quad (5)$$

K_j – коэффициент компетентности эксперта; M_i – весомость показателей по шкале компетентности; P_{ig} – весомость, зависящая от данных анкет экспертов.

Интегральный индекс размещения АВ и АС ($I_p AB$), представляющий собой количественное отображение оценки территории под размещение АВ или АС, рассчитывается как средне взвешенная арифметическая из показателей отдельных свойств оценки K_{ij} и соответствующих коэффициентов весомости G_j'' по формуле (6) [4].

$$I_p AB = \sum_{j=1}^n K_{ij} \times G_j''; \quad (6)$$

При определении значения комплексного показателя выполняется условие:

$$0 \leq I_p AB \leq 100.$$

После проведения квалиметрического оценивания свойств качества территории под размещение автовокзалов и автостанций были описаны границы оцениваемых участков, основанные на пересадках ТПУ (рис. 2). Т. к. любое размещение автовокзала или автостанции влечет за собой формирование ТПУ, а также из-за наиболее удобного размещения этих объектов в зоне действующих транспортно-пересадочных узлов, о чем показал опрос экспертного сообщества.

Границу оцениваемого участка автором приняты равными, радиусу 190 метрового удаления от вестибюля скоростного внеуличного транспорта (рис. 2). Данный радиус определен как зона исследования для сбора фактических показателей простейших свойств дерева размещения автовокзалов и автостанций.

Для определения оцениваемых участков территории как существующих, так и перспективных под размещение была использована выборка объектов, по результатам которой было предложено оценить 6 территории существующих автовокзалов (Новоясеневская, Парк Победы, Белорусская, Красногвардейская, ВДНХ, Комсомольская) и 2 предлагаемых под размещение участка (Саларьево и Ботанический сад). Выборка рассчитывалась по суточному отправлению пассажиров от автостанции или автовокзала (табл. 1).

Комплексная оценка территории проводилась с помощью электронных ресурсов (рис. 3), натурных обследований, комплекса программ макромоделирования (рис. 4) и анализа пассажиропотоков на данной территории.

После физического обчета выбранной территории и учета весомости свойств размещения получается рейтинг оцениваемых территорий благодаря которому можно обосновать размещение и проектирование предполагаемой автостанции или продолжение функционирования существующей автостанции или автовокзала на занимаемой им территории в соответствии с рангами, присвоенными тому или иному участку (рис. 5).

Выводы. Научно-обоснованное размещения автовокзалов и автостанций является важнейшей задачей для повышения эффективности функционирования системы внешних автобусных транспортных связей крупнейших городов, а также является необходимым условием для предоставления комфортных условий пассажирам, перевозчикам и инвесторам.

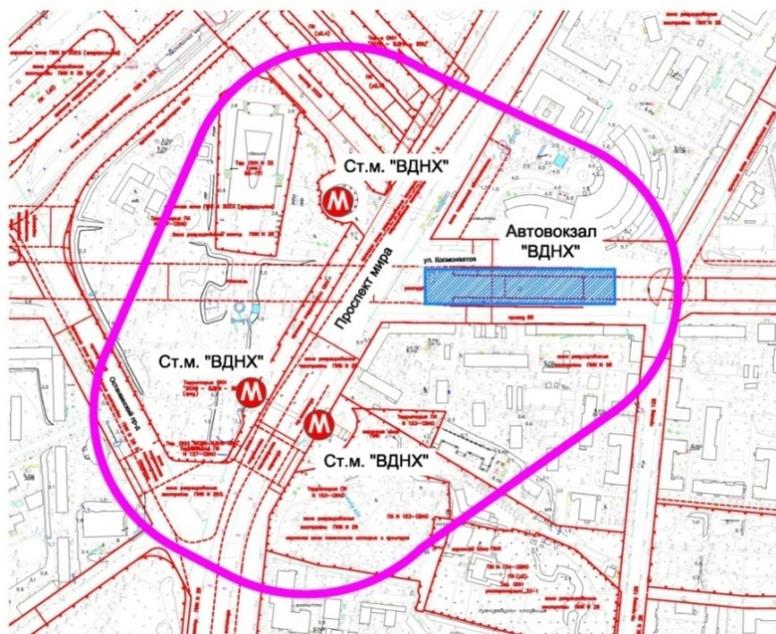


Рис. 2. Граница оцениваемого участка (ВДНХ)

Таблица 1

Выборка обследуемых территорий под размещение автовокзалов и автостанций

Название пункта отправления	Автовокзал/автостанция	Планировочная зона	Суточное отправление, (пасс.в сутки)
Новоясеневская	Автостанция	Окраинная	577
Парк Победы	Автостанция	Срединная	452
Белорусская	Автостанция	Центральная	312
Красногвардейская	Автовокзал	Окраинная	4266
ВДНХ	Автовокзал	Срединная	2088
Комсомольская	Автовокзал	Центральная	2248
Итого существующих объектов			9943
Саларьево	Автовокзал	Окраинная	6100
Ботанический Сад	Автовокзал	Окраинная	4600
Итого существующих объектов			10700
Выборочная совокупность			8148

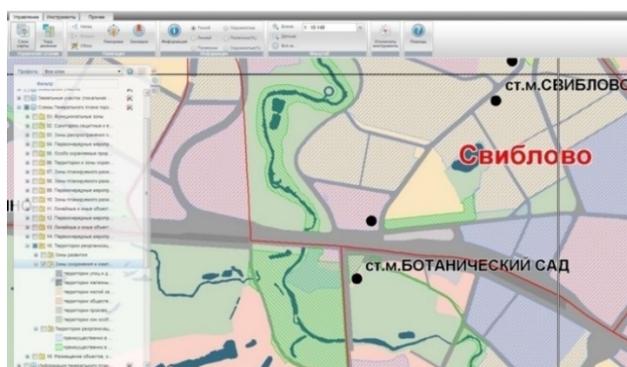


Рис. 3. Определение фактических показателей Зон запланированного развития территории (Ботанический Сад)



Рис. 4. Определение фактических показателей Загруженности УДС (Парк Победы)

Важную роль в транспортном обслуживании города Москвы играет система внешнего автомобильного транспорта, а именно АВ и АС, как основные элементы инфраструктуры внешнего автомобильного транспорта на территории города.

В связи с этим разработка новых подходов/методов развития системы АВ и АС в г. Москве становится особенно важной задачей обеспечивающей комфортное передвижение пассажиров дальнего следования. Выбор места для строи-

тельства пассажирских автовокзалов и автостанций предложено устанавливать по Индексу размещения АВ (Ир АВ), для определения которого обосновано применение метода квалиметрии и

построено дерево показателей свойств размещения [14]. Ир АВ может измеряться от 0 до 100 баллов, где 100 максимально эффективное расположение автовокзала.

Ранги территорий по интегральному индексу размещения АВ и АС

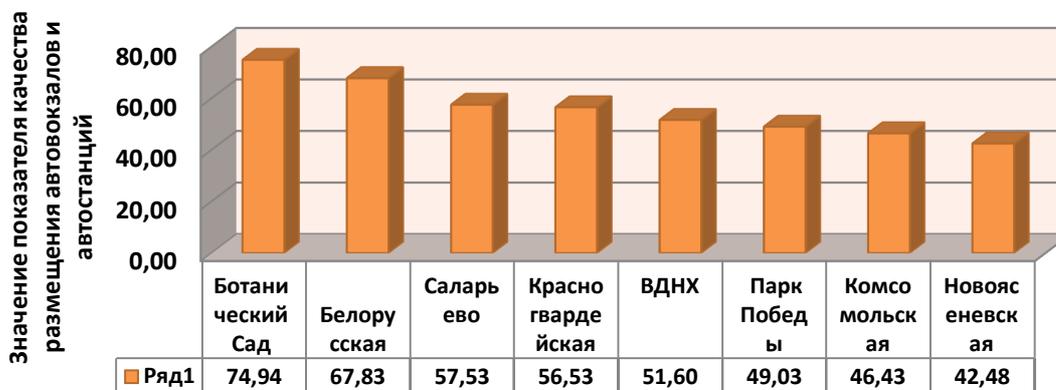


Рис. 5. Ранги территорий по интегральному индексу размещения АВ и АС

Разработанная методика позволяет оценивать территории под размещение автовокзалов и автостанций в планировочной структуре крупнейших городов, опираясь на многофакторный метод математической статистики, используя экспертный метод прогнозирования, а также анализировать территории существующих АВ и АС. Результаты метода обоснованы законами математической статистики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 23.04.2018).
2. www.gks.ru Статистические сборники Федеральной службы государственной статистики.
3. Работа ГУП «Научно-исследовательского и проектного института Генерального плана города Москвы» (ГУП «НИ и ПИ Генплана Москвы») в 2002 и 2012 гг.
4. Власов Д.Н., Немов П.П. Оценка методов размещения автовокзалов и автостанций в крупнейших городах // Интернет-журнал "Экология урбанизированных территорий" №3 (2017) <http://www.ecoregion.ru/annot/eut-N3-2017.pdf> № 3. С. 60–67.
5. Власов Д.Н. Региональные транспортно-пересадочные узлы и их планировочное решение (на примере г. Мацумото, Япония) // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 21–28
6. Власов Д.Н. Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 86–89.
7. Власов Д.Н. Структура системы транспортно-пересадочных узлов агломерации //

Градостроительство. 2013. № 2 (24). С. 84–88.

8. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М.: Стройиздат. 1989. 264 с.

9. Sherbina E.V.E., Danilina N.V.E., Vlasov D.N. City planning issues for sustainable development // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 22. С. 43131–43138.

10. Шагмуратова А.А. Методика оценки развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9. №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/111VN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

11. Херцег К. Проектирование и строительство автобусных и железнодорожных станций. Под ред. Г.Е. Голубева. пер. с вен. В.Н. Беляева. М.: Стройиздат, 1985. 318 с.

12. Гольденберг Ю.А. Автовокзалы и пассажирские автостанции. М.: Транспорт, 1971. 160 с.

13. Кириллов В.И. Квалиметрия и системный анализ: учебное пособие. Минск: Новое знание. М.: ИНФРА-М, 2012. 440 с.

14. Шагмуратова А.А. Развитие системы транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта с учетом градостроительных факторов. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. (2017) http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/shagimuratova-anna-anatolievna/Dissertaciya_Shagimuratova_AA.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.

15. Горбенкова Е.В., Щербина Е.В. Старолаванникова О.М. Методика определения

индекса развития агрокородка // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7. №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/92TVN215

16. Власов Д.Н., Немов П.П. Использование системного анализа в развитии системы

автовокзалов и пассажирских автостанций крупнейших городов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. Часть II. С. 151–154.

17. Station Site and Access Planning Manual. Washington DC, 2008.

Информация об авторах

Власов Денис Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры архитектуры и градостроительства.

E-mail: Vlasov_genplan@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Начальник мастерской развития ТПУ и транспортного обслуживания НПО Транспорта и дорог ГУП «НИ и ПИ Генерального плана города Москвы»

Россия, 125047, 2-я Брестская ул., 2/14.

Немов Павел Павлович, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства.

E-mail: 2202sokoll@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Инженер 1 категории НПО Транспорта и дорог ГУП «НИ и ПИ Генерального плана города Москвы».

Россия, 125047, 2-я Брестская ул., 2/14.

Поступила в апреле 2018 г.

© Власов Д.Н., Немов П.П., 2018

D.N. Vlasov, P.P. Nemov COMPLEX EVALUATION OF BUS STATIONS ACCOMMODATION AND BUS STOPS IN THE CITY OF MOSCOW

Currently, bus transport is one of the fastest growing and most popular among other types of external transport in Russia, but there is a noticeable lag in the development of external bus transport infrastructure in major cities, compared to the rail or air transport. The article substantiates the need to develop a system of several bus stations and bus stations in the territory of the largest cities, such as Moscow, St. Petersburg, etc. The author presents the article which is a part of the dissertation research of the development of bus stations and bus stations in the territory of the largest cities, which sets out a comprehensive method for assessing the placement of bus stations and bus stations in the city of Moscow, with an assessment of the areas of both existing bus stations and bus stations, and proposed the method developed by the author is based on the qualitative assessment of the quality of accommodation and the quantitative assessment of the territory under the location of the bus station on the "integral index of the location of bus stations and bus stations." The author has developed a set of criteria for assessing the placement of bus stations and bus stations is a tree of properties of indicators of the quality of placement of bus stations and bus stations representing a table with a hierarchy of complex properties with division to simple and quasi-simple properties that determine the quality of accommodation on the territory of the station infrastructure. On the example of 2 existing territories and 6 territories proposed for bus stations or bus stations placement the method of complex assessment of accommodation quality developed by the author is tested. According to the results of the evaluation, the rating of the most favorable territories for the placement of bus stations and bus stations was compiled, which will further allow public authorities to make decisions on the placement of the station infrastructure of external bus transport in the territory of major cities and can be a management tool in the sustainable development of the transport system of the city as a whole.

Keywords: bus station, bus stops, transport interchange node, long distance bus transport, qualimetric analysis, bus station and bus stations index, tree of placement quality indicators, accommodation system.

REFERENCES

1. Gradostroitelny code of the Russian Federation of 29.12.2004 N 190-FZ (edition of 23.04.2018).

2. www.gks.ru Statistical compilations of the

Federal state statistics service.

3. Works " Genplan Institute of Moscow" in 2002 and 2012 years.

4. Vlasov D.N., Nemov P.P. Evaluation of methods of placing bus stations and bus stops in

major cities. Journal of the Internet "Ecology of urban areas" no. 3 (2017) <http://www.ecoregion.ru/annot/eut-N3-2017.pdf> (access is free).

5. Vlasov D.N. Regional transport hubs and their planning solution (on the example of Matsumoto, Japan). Vestnik MGSU, 2013, no. 6, pp. 21–28.

6. Vlasov D.N. Priority directions of development of the system of transportation hubs of agglomeration. Academia. Architecture and construction, 2013, no. 3, pp. 86–89.

7. Vlasov D.N. Structure of the system of transportation hubs of agglomeration. Urban planning. 2013, no. 2 (24), pp. 84–88.

8. Azgaldov G.G. Qualimetry in architectural design. M.: Stroizdat. 1989, 264 p.

9. Sherbina E.V.E., Danilina N.V.E., Vlasov D.N. city planning issues for sustainable development. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 22, pp. 43131–43138.

10. Shagimuratova A. A. Methods of evaluation of the development of transport hubs of railway transport. Internet journal NAUKOVEDENIE Vol. 9, no. 1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/111VN117.pdf> (access is free).

11. Herceg K., Design and construction of bus

and railway stations. Lane with veins. V.N. Belyaev. Moscow: Stroyizdat, 1985, 318 p.

12. Goldenberg Yu.A. Bus terminals and passenger bus. Moscow: Transport, 1971, 160 p.

13. Kirillov V.I. Qualimetry and system analysis: textbook. Minsk: New knowledge; Moscow: INFRA-m, 2012, 440 p.

14. Shagimuratova A.A. Development of the system of transport hubs of railway transport taking into account urban planning factors. Author's abstract on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. (2017) http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/shagimuratova-anna-anatolievna/Dissertaciya_Shagimuratova_AA.pdf (access is free).

15. Gorbunova E.V., Shcherbina E.V. Starodavnikh O.M. Method of determination of index of development of the agrotown. Internet-journal "science of SCIENCE". vol. 7, no. 2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN215.pdf> (access is free).

16. Vlasov D.N., Nemov P.P. The use of system analysis in the development of bus stations and passenger bus stations in major cities. Modern trends in science and technology, 2015, Part II, pp. 151–154.

17. Station Site and Access Planning manual. Washington DC, 2008.

Information about the author

Denis N. Vlasov, PhD, Professor.

E-mail: Vlasov_genplan@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

NPO Transport and roads sue "NI and PI the General plan of the city of Moscow»

Russia, 125047, 2-ya Brestskaya str., 2/14

Pavel P. Nemov, Postgraduate student.

E-mail: 2202sokoll@mail.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26.

NPO Transport and roads sue "NI and PI the General plan of the city of Moscow»

Russia, 125047, 2-ya Brestskaya str., 2/14

Received in April 2018

Для цитирования:

Власов Д.Н., Немов П.П. Комплексная оценка размещения автовокзалов и автостанций в городе Москве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 61–68. DOI: 10.12737/article_5b6d585981d2e6.17115004

For citation:

Vlasov D.N., Nemov P.P. Complex evaluation of bus stations accommodation and bus stops in the city of Moscow. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 61–68. DOI: 10.12737/article_5b6d585981d2e6.17115004

*Ильвицкая С.В., д-р арх., проф.,
Лобкова Т.В., аспирант
Государственный университет по землеустройству*

ФИЛОСОФИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ АРХИТЕКТУРЫ КАК ОСНОВА СОВРЕМЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛИЩА

В статье рассматривается взаимосвязь архитектуры жилища и природной среды, исследуется необходимость единения с природой, раскрываются перспективы «зеленого» проектирования. В настоящее время ухудшения экологической обстановки и использования в архитектуре материалов и технологий, зачастую не отвечающих экологическим требованиям, современное архитектурное сообщество задумывается над экологическим аспектом в проектировании как основе создания благоприятной среды для человека. Рассматривая экологию архитектурной среды, и в частности экологию жилища, мы имеем в виду прежде всего связь с природой: именно природные ресурсы сохраняет система энергоэффективности зданий, и именно природа в свою очередь формирует экологически чистую среду. Помимо решения проблемы энергосбережения, важно установить связь архитектуры с естественной средой на уровне мировоззренческом, раскрывающем необходимость интеграции архитектуры в природу. «Зеленая» архитектура является актуальным направлением в современном проектировании, и одним из элементов экологичного подхода в архитектуре становится неразрывная связь с природным аспектом.

Ключевые слова: экология жилища, философия «зеленой» архитектуры, природное окружение, принципы взаимосвязи.

*«В природе все одно с другим связано и нет
в ней ничего случайного»*

Михаил Пришвин

В настоящее время современный стиль и ритм жизни все больше отдаляют нас от природы. Но человек, подчас неосознанно, все более тянется к ней. Огромное количество горожан стараются оказаться среди тишины и чистоты сельской местности, окруженной лесами, полями, озерами. И причину такого тяготения к природе можно усмотреть не только в чисто физической потребности дышать свежим воздухом и давать отдых глазам, созерцая просторы и удивительную красоту пейзажей. Можно проследить и установить неразрывную духовную связь человека с природой. Природа является той средой, в которой человек ощущает себя естественно и комфортно, которая создает благоприятные и экологические условия жизнедеятельности. Природа самым непосредственным образом оказывает влияние на формирование мировоззрения, целостности и гармонии не только личности, но и всего общества. Таким образом, архитектура, окружающая человека повсеместно, и особенно архитектура жилища во всех ее аспектах, должны быть максимально приближены к природе. Мировое сообщество уже давно акцентирует свое внимание на формировании экологически чистого пространства, привлекая к решению этой задачи инновационные технологии, актуальные научные открытия, успешную современную

практику, в которой природное окружение является основой архитектурного проекта [1–4].

Исследовав принципы взаимосвязи архитектуры и природной среды, следует выделить две основные составляющие. Первую можно определить, как философско-мировоззренческую, заключающуюся в потребности человека быть окруженным природой и природным, естественным. Другая составляющая решает вопросы экологичности архитектурной среды (рис. 1). Рассмотрим подробнее каждую из них.

Существует понятие «контекста природного окружения в архитектуре», отражающее взаимодействие человека с окружающей средой. Изначально архитектура – это воплощение совершенных форм природы. Именно в ней люди находили вдохновения еще с древнейших времен, создавая свои дома и города. Имитировались не только природные формы и цвета, но зачастую в качестве ассоциаций в них вкладывался мировоззренческий и духовный смысл. Даже элементы декора и орнамент имели растительный мотив. «Благая природа так обо всем позаботилась, что повсюду ты находишь чему учиться» – так звучат слова мудрого философа, гениального скульптора и живописца, разработчика многих новаторских архитектурных решений своего времени, Леонардо да Винчи.

Таким образом, к философско – мировоззренческой составляющей взаимосвязи архитектуры и естественной среды можно отнести: подражание природе в формообразовании и декори-

ровании фасадов, интеграция здания в окружающую среду, слияние с существующим ландшафтом, использование натуральных материалов и

забота о сохранении живых природных источников, вдохновение природой во всех деталях архитектурного проекта.



Рис. 1. Философско-мировоззренческий и экологические аспекты как основа «зеленой» архитектуры

Вышеперечисленные критерии нашли отражение во многих направлениях архитектуры [13–15]. К примеру, в 30-е годы возникло направление **органической архитектуры**, основоположником которой считается американский архитектор Фрэнк Ллойд Райт. Его архитектурное видение представляет собой целую философию о гармонии человека, архитектуры и природного мира. По замыслу архитекторов, здание и окружающее пространство должны представлять собой одно целое, а каждый дом должен быть отражением душевного мира его обитателей (рис. 2, рис. 3).

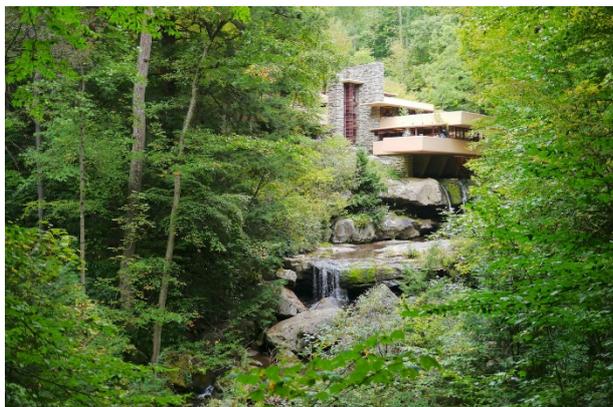


Рис. 2. Дом над водопадом. Ф.Л. Райт

Особенности ландшафта и возможность использования природных материалов данной местности является основной задачей еще одного актуального направления – **биотектуры**. Это понятие было придумано архитектором Майклом

Рейнольдсом. В биотектуре так же уделяется большое внимание интеграции архитектуры в природу и снижению пагубного влияния на экологию местности (рис. 4)

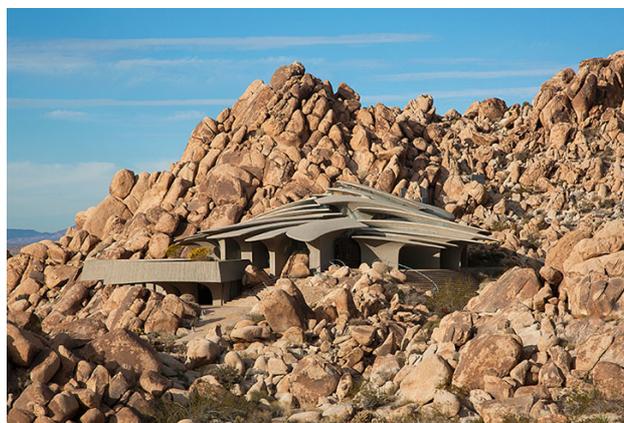


Рис. 3. Дом в Калифорнийской пустыне. Kendrick Bangs Kellogg

Очень интересны проекты **современного** вьетнамского архитектора Во Тронг Нгиа (рис. 5, рис. 6) Именно природа является главным вдохновителем и мерилем качества в работе его архитектурной мастерской Vo Trong Nghia Architects. В проектах архитектора следует отметить и серьезную заботу об экологической стороне проекта: в каждом удобном случае Во Тронг Нгиа использует возобновляемые материалы и делает природу естественной частью здания. Как пишут о его интересных проектах, «в них даже не всегда

понятно, что главное — растения или архитектура».



Рис. 4. Экологическое жилье. Майкл Рейнольдс



Рис. 5. Vo Trong Nghia Architects. Жилой комплекс



Рис. 6. Vo Trong Nghia Architects. План жилого комплекса

Рассмотрев внимательнее теперь уже экологическую составляющую взаимосвязи архитектуры и природы, отметим что экологически чистая архитектура имеет в своей основе сохранение энергоресурсов и сбережение окружающей среды [5–7, 12]. «Зеленые» здания проектируются, строятся и обеспечиваются с тем учетом, чтобы сделать их максимально жизнеспособными с минимальным воздействием на природу. Началом становления «зелёной» архитектуры принято считать 70-80-е гг. XX века (рис. 7).

С этого времени актуальное «зеленое» направление активно развивается. Для улучшения качества энергоэффективности и экологичности многие страны создали так называемые «зеленые стандарты» или систему экологической сертификации. Наиболее популярными в настоящее время являются американская LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design - Руководство в энергетическом и экологическом проектировании), больше учитывающая энергоэффективность, и английская BREEAM (BRE Environmental Assessment Method - Метод оценки экологической эффективности зданий), которая акцентируется на учете экологических требований. Можно назвать и другие системы сертификации, как Green Star, NABERS, NatHERS, Passivhaus. В качестве примера российских систем сертификации можно назвать в числе прочих «Зеленые стандарты» и «Рейтинговую систему оценки экоустойчивой среды обитания CAP-СПЗС». Существуют и хорошо известны инновационные технологии, как GREEN BIM и др, в свою очередь учитывающие экологический аспект в архитектуре (рис. 8). К примеру, подобрать наиболее подходящий вариант энергоэффективности позволяет технология BUILDING ENERGY MODELING (BEM), которая является составляющей GREEN BIM (рис. 9).



Рис. 7. Эко-дом в США. Bates Masi Architects



Рис. 8. Система «зеленых» рейтингов по всему миру

Классы энергоэффективности зданий		Энергопотребление для класса
		% от нормативного энергопотребления
A	Очень высокий	$\geq -51\%$
B	Высокий	$-10 \div -50\%$
C	Нормальный	$+5 \div -9\%$
D	Низкий	$+6 \div +75\%$
E	Очень низкий	$\geq +76\%$

Рис. 9. Классы энергоэффективности зданий

Не случайно проблеме сбережения ресурсов и интеграции архитектуры в природу уделяется значительное внимание. Симбиоз человека и природы уходит корнями в глубокую древность, и с того времени является неотъемлемой частью жизни общества. Архитектурная среда определенным образом воздействует на человека, является фоном его жизнедеятельности. И какой бу-

дет архитектура, насколько близка она будет человеку, а значит и природе, зависит от осознания необходимости упрочнять роль «зеленых» зданий в современном мире. Одновременно и ухудшение экологической обстановки заставляет общество обратиться к инновационным направлениям в энергосбережении и сохранении природных ресурсов, формированию экологически чистого пространства. Таким образом, можно видеть, что лишь комплексный подход к проектированию, охватывающий как выделенную нами философско-мировоззренческую, так и экологическую составляющую взаимосвязи архитектуры и природной среды, может обеспечить максимально благоприятную основу жизни для человека (рис. 10).

Как заявляет Во Тронг Нгиа, пришло время признать, что теперь «архитектура» означает «зелёная архитектура», а зелёная архитектура – это образ жизни».



Рис. 10. Иллюстрация взаимосвязи архитектуры и природной среды

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Ильвицкая С.В., Охлябинин С.Д., Даниленко И.А. Глоссарий архитектурно-строительных терминов и научных дефиниций в области истории архитектуры и реставрации памятников архитектуры. М., 2015, 154 с.

2.Ильвицкая С.В., Поляков И.А. Этапы развития архитектуры и природы как единой системы // Естественные и технические науки. 2014. № 11–12. С. 78.

3.Ильвицкая С.В., Поляков И.А. Гелиоархитектура // Архитектура и строительство России. 2016. № 1–2. С. 58.

4.Иванова Н.В., Антонова Н.Н., Данилина А.Н. Экологическая архитектура / Ежегодная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава и студентов волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы конференции: в 2-х частях // Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. 2014. С. 89–91.

5. Исаева Ю.В. Экологическая архитектура // Альманах мировой науки. 2016. № 11-3 (14). С. 119–120.

6. Джалагания Т.В. Архитектура, окружающая среда и экология // Гуманитарный научный журнал. 2014. № 2 (3). С. 39–43.

7. Смирнова С.Н. Экологическая ответственность архитектора и ее влияние на обеспечение экологической безопасности архитектурных решений // Приволжский научный журнал. 2014. № 4. С. 193–199.

8. Бродач М., Имз Г. Рынок зелёного строительства в России [Электронный ресурс] // Журнал «Здания высоких технологий». 2013. №5 URL: [http://zvt.abok.ru/\(2.04.18\)](http://zvt.abok.ru/(2.04.18))

11. Федоров О.П. Методика прогнозирования тенденций развития экоустойчивой архитектуры на основе анализа международных систем

экологической сертификации в архитектуре // Фундаментальные исследования. 2016. № 11–1. С. 90–95.

12. Заяц И.С. Истоки экологического формирования жизнеспособной архитектуры // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 1990.

13. Clarke Snell, Alex Carpenter. Energy Independence and the Sustainable Resilient Sun // Architectural Design. 2018. No.1. Pp. 64–71.

14. Claire Weisz. Resilient Design: 'Systems Thinking' as a Response to Climate Change // Architectural Design. 2018. No. 1. Pp. 24–31.

15. Философия Во Тронг Нгиа [Электронный ресурс] arch:speech. 2017. URL: <http://archspeech.com> (20.04.18)

Информация об авторах

Ильвицкая Светлана Валерьевна, доктор архитектуры, профессор, зав. кафедры архитектуры.

E-mail: Ilvitskaya@mail.ru

Государственный университет по землеустройству.

Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15.

Лобкова Татьяна Владимировна, аспирант кафедры архитектуры.

E-mail: Tanya.ten.z@mail.ru

Государственный университет по землеустройству.

Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15

Поступила в апреле 2018 г.

© Ильвицкая С.В., Лобкова Т.В., 2018

S.V. Ilvitskaya, T.V. Lobkova
PHILOSOPHY OF ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF ARCHITECTURE
AS BASIS OF MODERN DESIGN OF THE DWELLING

The article deals with the interrelation between the architecture of the dwelling and the natural environment, the need for unity with nature is explored, and the prospects for "green" design are revealed. Currently, the deterioration of the environmental situation and the use of materials and technologies in the architecture that often do not meet environmental requirements, the modern architectural community is thinking about the environmental aspect in designing as the basis for creating an enabling environment for people. Considering the ecology of the architectural environment, and in particular the ecology of the dwelling, we have in mind primarily a connection with nature: it is natural resources that preserve the energy efficiency of buildings, and it is nature that in turn forms an environmentally friendly environment. In addition to solving the problem of energy conservation, it is important to establish a connection between architecture and the natural environment at the worldview level, which reveals the need for integrating architecture into nature. "Green" architecture is an actual direction in modern design, and one of the elements of an ecological approach in architecture is the inextricable link with the natural aspect.

Keywords: *dwelling ecology, philosophy of "green" architecture, natural environment, principles of interrelation.*

REFERENCES

1. Ilvitskaya S.V., Okhlyabinin S.D., Danilenko I.A. The glossary of architectural and construction terms and scientific definitions in the field of history of architecture and restoration of monuments of architecture. M, 2015, 154 p.

2. Ilvitskaya S.V., Polyakov I.A. Stages of development of architecture and nature as uniform system. Natural and technical science, 2014, no. 11–12, p. 78.

3. Ilvitskaya S.V., Polyakov I.A. Helioarchitecture. Architecture and construction of Russia, 2016, no. 1-2, p. 58.

4. Ivanova N.V., Antonova N.N., Danilina A.N. Ecological architecture. Annual scientific and technical conference of professor-sko-teachers and students of the Volgograd state arkhitek-turno-construction university conference Materials: in 2 parts. Volgograd state architectural and construction university, 2014, pp. 89–91.

5. Isaeva Yu.V. Ecological architecture. Almanac of world science, 2016, no. 11–3 (14), pp. 119–120.

6. Dzhagalaniya T.V. Architecture, environment and ecology. Humanitarian scientific magazine, 2014, no. 2 (3), pp. 39–43.

7. Smirnova S.N. Ecological responsibility of the architect and her influence on ensuring ecological safety of architectural concepts. Volga scientific magazine, 2014, no. 4, pp. 193–199.

8. Brodach M., Eames. The market of green construction in Russia [An electronic resource].

Zdaniya Vysokikh Tekhnology Magazine. 2013, no. 5 URL: <http://zvt.abok.ru/> (2.04.18)

11. Fedorov O.P. A technique of forecasting of tendencies of development of ecosteady architecture on the basis of the analysis of the international systems of ecological certification in architecture. Basic researches, 2016, no. 11-1, pp. 90–95.

12. Zaytsev I.S. Sources of ecological shaping of viable architecture. Modern problems of science and education, 2015, no. 1-1, pp. 1990.

13. Clarke Snell, Alex Carpenter. Energy Independence and the Sustainable Resilient Sun. Architectural Design, 2018, no. 1, pp. 64–71.

14. Claire Weisz. Resilient Design: ‘Systems Thinking’ as a Response to Climate Change. Architectural Design, 2018, no. 1, pp. 24–31.

15. Philosophy In Trong Ngia [An electronic resource] of arch:speech, 2017. URL: <http://archspeech.com> (20.04.18)

Information about the author

Ilvitskaya Svetlana Valerievna, PhD, Professor.

E-mail: Ilvitskaya@mail.ru

State University of land management.

Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Lobkova Tatiana Vladimirovna, Postgraduate student.

E-mail: Tanya.ten.z@mail.ru

State University of land management.

Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Received in April 2018

Для цитирования:

Ильвицкая С.В., Лобкова Т.В. Философия экологичности архитектуры как основа современного проектирования жилища // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 69–74. DOI: 10.12737/article_5b6d585bcd1b55.50847042

For citation:

Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. Philosophy of environmental friendliness of architecture as basis of modern design of the dwelling. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 69–74. DOI: 10.12737/article_5b6d585bcd1b55.50847042

DOI: 10.12737/article_5b6d585f08a625.50385604

*Иванькина Н.А., магистрант,
Перькова М.В., канд. арх., доц.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

КОНЦЕПЦИЯ НОВОГО УРБАНИЗМА: ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Новый урбанизм – это градостроительная концепция, направленная на создание комфортного городского пространства. В статье изучены предпосылки возникновения и развития концепции от идеи города-сада Эбенизера Говарда до возникновения конгресса Нового урбанизма, возглавляемого Андресом Дуэни и Элизабет Платер-Зибек. Прослежены этапы развития идей с целью формирования города для людей, их основные представители и их вклад в формирование концепции: К. Линч, который заложил основы средового подхода к проектированию, критическая деятельность по отношению к планировочной парадигме градостроительства Д. Джекобс, критик нерационального использования исчерпаемых ресурсов Д. Говард Кунстлер, основоположник европейской ветви движения Нового урбанизма Леон Крие, а также П. Карлтрон и Д. Соломон, А. Дуэни, Э. Платер-Зибек, С. Полизойдес и Э. Мьюл. Рассмотрен основной документ – Хартия Нового Урбанизма, который описывает основные постулаты движения и состоит из трех блоков, описывающих формации разного масштаба: 1) регион: агломерация – город – поселок; 2) соседство – район – коридор; 3) квартал – улица – здание. Сформулированы и раскрыты основные положения Нового урбанизма: транспортно-ориентированное развитие, направленное на максимальное использование территории вокруг транспортных узлов; компактное развитие, направленное на ограничение бесконтрольного роста городов; трансектное планирование (градостроительная модель постепенной смены зон от городского ядра к природной); смешанное функциональное использование территории, направленное на создание функционально насыщенных территорий.

***Ключевые слова:** город-сад, средовой подход, Новый урбанизм, транспортно-ориентированное развитие, компактное развитие, город для людей.*

Введение. На сегодняшний день достаточно активно в градостроительстве развиваются принципы Нового урбанизма – концепции, которая получила свое развитие от идеи города-сада. Это связано с наличием проблем в городах, которые обусловлены быстрыми темпами урбанизации и ее влиянием на природный каркас и комфортность городской среды. Исследованиями в этой области велись такими зарубежными теоретиками и практиками градостроительства, как Э. Говард, П. Геддес, Д. Джекобс, Я. Гейл, Л. Крие, А. Дуэни и др.

Основная часть. Новый урбанизм является попыткой соединить в себе все плюсы противоположных по своей сути подходов в градостроительстве: восприятия города как системы и восприятия города как среды. Целью концепции Нового урбанизма является создание комфортного городского пространства, удовлетворяющего потребности горожан в коммуникации при сохранении функции города как системы эффективного создания, распространения и приумножения ресурсов. Свою окончательную форму как движение Новый урбанизм приобрел только в 90-е годы XX века, однако идеи, повлиявшие на его становление, зародились еще в конце XIX века.

Первой была идея города-сада, которую в 1898 году описал в своей книге «Garden Cities of Tj-mogow» Эбенизер Говард – английский судебный репортёр. К концу XIX века индустриализация привела к росту городов и упадку деревень. Выход из данной ситуации Говард видел в деурбанизации и ограничении роста крупных городов [1]. В центре его идеи стояло создание самодостаточного малого города нового типа, где основополагающими условиями застройки были комфортные условия проживания и близость к природе, в противовес крупным промышленным городам. Структура идеального города-сада Говарда представляла собой концентрические круги, в центре которых расположен парк с общественными и культурными учреждениями, который опоясывала торговая зона в виде стеклянной галереи, окружённый жилой застройкой. Всё производство вынесено на внешний круг. Город занимал площадь 6000 акров, из них под застройку выделялась только шестая часть, остальное отводилось под сельскохозяйственные угодья. Надзором и контролем над соблюдением правил застройки должен был заниматься специальный общественный орган, главными задачами которого являлись пресечение нерационального изменения использования земли, а также строгое

соблюдение линий фасадов улиц. В основах идей Говарда лежали не только смена образа жизни, но и смена социального и политического устройства общества: небольшое сообщество (в городе должно было жить максимум 32000 человек), независимое от внешних факторов, должно было выступать саморегулятором внутри города. Подход Говарда к проектированию носил авторитарный и патерналистский характер (рис. 1).

Во время, пока в Англии Говард формировал идею города-сада, в США в 1893 году на Чикагской выставке зародилось движение «города красоты» (City Beautiful Movement) которое активно существовало всего десять лет – с 1899 по 1909 год [2]. В основе этого движения лежала

идея создания Монументального города. Сторонники этого движения предполагали, что красота и церемониальность города способствует гармоничному его развитию. Самым значимым проектом этого движения стал генеральный план Чикаго, созданный архитектором Даниелом Бёрнемом в 1909 году, который предполагал устройство системы бульваров и пышных парков, создание значимых для города общественных пространств. В отличие от движения города-сада, которое предлагало бросить большие города и начать строить новые в гармонии с сельской местностью и природой, движение «города красоты» выступало за изменение существующих городов.

КОНЦЕПЦИЯ «ГОРОДА-САДА»

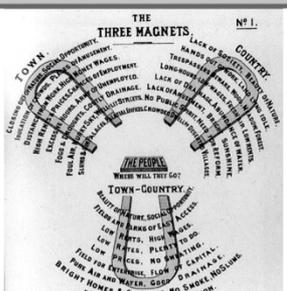


Рис.1. Схема Э. Говарда, содержит список пороков отдельно города и деревни, акцентируя стремление совместить их достоинства в «городе-саде»



Рис. 2. Иллюстрация Э.Говарда «К завтра. Мирный путь к реальной реформе, Лондон»
Swan Sonnenschein & Co., Ltd., 1898

➔ Основные цели

- Дезурбанизация крупных промышленных городов;
- Достижение высокого уровня и качества жизни населения;
- Возведения автономных и самодостаточных поселений за чертой существующих городов;
- Совмещение преимуществ жизни, приближенной к природе с повышением уровня обслуживания.

➔ Основные принципы

- Гексагональная система расселения определенного района;
- Сочетании преимуществ города и села в одном поселении;
- Процессы жизни рассматривались как базовые, фундаментальные, сущностные, определяющие смысл возникновения поселения и механизмы его развития.

➔ Основные термины и понятия

- Город-сад;
- Город-спутник;
- Зеленый пояс;
- Сельскохозяйственный пояс;

➔ Основные представители

Э.Говард, Р. Барри Паркер, Р. Анвином, Лесли Патрик Аберкромби и др.

Влияние на проектную практику

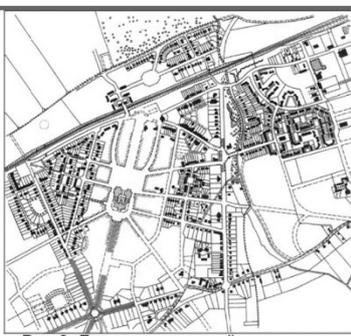


Рис.3. Лечворт – первый из реально построенных «городов-садов».



Рис.4. Тридцать два города-сада в Великобритании (цифрами указан год открытия)
Источник интернет-журнал о дизайне и архитектуре BERLOGOS

Рис. 1. Структура концепции «города-сада». Разраб. Ладик Е.И., Перькова М.В.

Не меньшее влияние на формирование идей Нового урбанизма оказал Патрик Геддес, которого называют отцом-основателем современного городского планирования. Зоолог по образованию, Геддес в молодости проникся эволюционной теорией Дарвина, и в последствии, занимаясь городским планированием, он понимал, насколько важны для эволюции среда и наследственность. В своей книге «Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and the study of civics», вышедшей в 1915 году он формулирует основы регионального планирования, где излагалась идея, что город является инструментом эволюции, что при планировании нельзя не

учитывать естественные особенности территории, которые создают сложные многоуровневые взаимосвязи между людьми и окружающей средой, взаимоотношения между городом и сельской местностью, определяют характер как поселений, так и профессии людей, в них живущих (рис. 2) [3].

Идеи Геддеса формализовал и популяризировал его ученик Льюис Мамфорд – американский историк и социолог, входивший в Ассоциацию регионального планирования Америки, созданную в 1923 году Кларенсом Стайном. Главной работой Мамфорда можно считать вышедшую в 1961 году, после почти пятидесяти лет его

76

деятельности, книгу «The city in history», в которой были изложены основные его идеи по поводу функций города, которыми Мамфорд считал сохранение и трансляцию культурного наследия человеческой цивилизации. Он был противником беспорядочного разрастания городов и их огромных размеров, считал, что город должен быть, в

первую очередь, для человека. Он одним из первых указал, что именно социальное и экономическое разнообразное использование города делает его устойчивым. Кроме того, Мамфорд утверждал, что горожане, промышленность и производство, земля и природа составляют единую систему, деятельность которой необходимо планировать и регулировать [4].

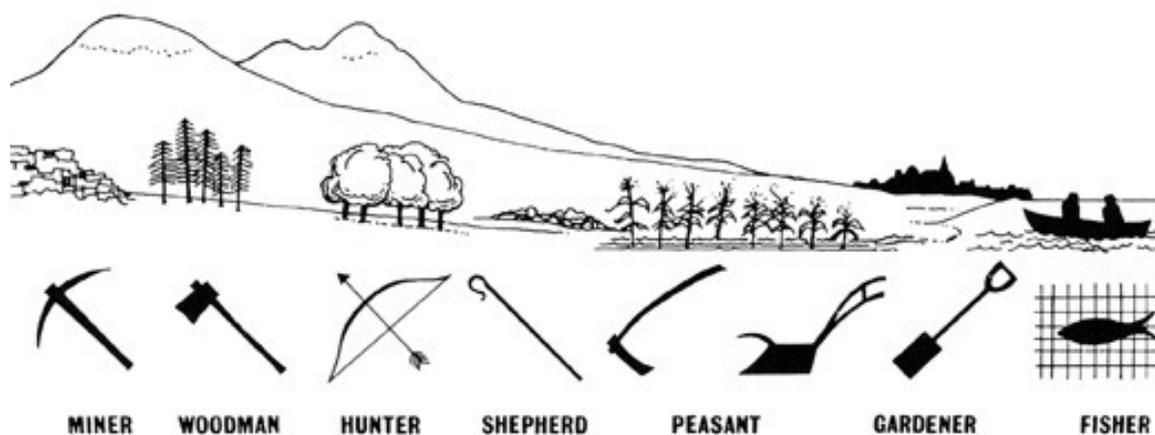


Рис. 2. Разрез долины (valley section) Патрика Геддеса, 1909 год

Во многом Новый урбанизм возник как ответ на модернистские идеи Ле Корбюзье, который в 1920-е годы разработал идею «Лучезарного города» – совершенно противоположного городу-саду. В 1925-м году он представил «План Вуазен», где предполагалось снести большую половину центра Парижа и застроить его высокими жилыми зданиями, окруженными парками. Помимо этого, Ле Корбюзье считал нужным приспособить города к автомобилям – он задавался вопросом, как организовать в городе максимально быстрое движение [5]. В противоположность Геддесу, который считал преемственность важной для города, Ле Корбюзье стремился к сносу старых строений и возведению новых на их месте. Созданный в 1928-м году Международный Конгресс Современной Архитектуры, просуществовавший до 1959 года, в 1933-м принял Афинскую хартию, написанную Ле Корбюзье, в которой, прежде всего, признавалось, что многоквартирное многоэтажное здание, свободно расположенное в пространстве, является единственным приемлемым в современных условиях типом жилища, а также, что всю городскую территорию следует разделять на жилые, производственные и рекреационные зоны, имеющие четкие границы. Модернистские идеи Ле Корбюзье оказали огромное влияние на градостроительство и архитектуру во всем мире, в том числе и на Советский Союз, наследием которого и являются современные российские города.

На формирование идей Нового урбанизма повлияли последствия экономического подъема

в США после Второй Мировой войны, который начался сразу после ее окончания и продолжался до 1970-х годов. Это время для США и многих европейских стран можно охарактеризовать стабильным экономическим ростом, такими социальными эффектами, как бэби-бум, появление субкультур, в связи с увеличением свободного времени у молодежи, а также удешевление топлива и автомобилей. Это повлекло их массовое распространение, что привело к субурбанизации – росту пригородов американских городов. Именно в это время формируется образ «американской мечты» в виде загородного домовладения, автомобиля у каждого взрослого члена семьи и работы в городе. В связи с необходимостью обслуживания новых американских субурбий и предотвращения заторов в это время были построены сотни многоуровневых развязок и тысячи километров новых хайвеев. При этом полное игнорирование развития общественного транспорта привело к тому, что автомобиль стал самым удобным, а порой и единственным возможным средством передвижения для американцев [6].

В 60-е годы формируются первые идеи города для людей. Так, Кевин Линч стал первым профессиональным планировщиком, который понял важность восприятия среды точки зрения человека и заложил основы средового подхода к проектированию, идеи о котором высказал в своей книге «Образ города», вышедшей в 1961 году. Средовой подход предполагает комплекс-

ное изучение среды проектирования и ее пользователей, отход от усредненного типа потребителя и направленность на решение в первую очередь психологических и социальных потребностей разных слоев населения. Линч считал важным свойством города его способность создавать легко читаемый устойчивый образ среды, выделять распознаваемые элементы, легко связываемые в целое (рис. 3) [7].

В это же время, деятельность Джейн Джекобс, журналистки канадско-американского происхождения, которую называют крестной матерью Нового урбанизма, была связана с критикой современной на тот момент тотальной планировочной парадигмы градостроительства. В своей книге «Смерть и жизнь больших американских городов», вышедшей в 1961-м году, Джекобс нелестно отзывается об идеях, заложенных Говардом, Геддесом, Мамфордом и Бёрнемом, указывая на то, что в их подходах горожане игнорируются как городской субъект. Она утверждала, что именно улица является ядром активной городской жизни, что город следует реконструировать «снизу», думала о том, как улучшить то, что уже имеется, а не рушить улицу, и строить все заново [8]. Кроме того, именно Джекобс впервые выдвинула идею смешанного использования. Многие свои мысли Джейн Джекобс сформулировала благодаря работе с Уильямом Уайтом, американским урбанистом и аналитиком, который является автором проекта «Уличная жизнь», суть которого заключалась в изучении поведения горожан на улицах и открытых общественных пространствах. Результатом исследования явилась книга «Social life of small urban places», написанная в 1980-м году. В своем исследовании Уайт изучал, как люди взаимодействуют окружающей средой, как ходят, где останавливаются, что привлекает их внимание [9].

Так же, в 60-е годы начал свою профессиональную деятельность датский архитектор Ян Гейл. Основной идеей всех его работ является приоритет пешехода перед автомобилем в городе. Кроме того, Гейл понимал важность человеческого масштаба для восприятия среды [10]. Начав с экспериментального временного перекрытия одной из центральных улиц Копенгагена в 1962-м году, Гейл с тех пор добился увеличения пешеходных зон в центре города до 100 000 м² к 2000-му году [11]. С тех пор, стратегию, направленную на приспособление городов к пешеходному и велосипедному передвижению, называют копенгагенизацией. Свои идеи о комфортной среде Гейл изложил в книгах «Life between buildings. Using public space» 1987 года и «Города для людей» 2010 года.

Новый виток истории Нового урбанизма случился в 70-х годах XX века. В 1973 году случился нефтяной кризис, цены на нефть были искусственно завышены ОПЕК в 4 раза, что привело к серьезному дефициту топлива в США и странах Европы. Особенно сильно это повлияло на американцев, живущих в пригородных субурбиях, так как их основным средством передвижения был автомобиль. В обществе остро встал вопрос ограниченности ресурсов и необходимости разработки новых стратегий развития глобального сообщества, который в последствии привел к принятию стратегии устойчивого развития. Одним из видных критиков нерационального использования исчерпаемых ресурсов является Джеймс Говард Кунстлер. В своей книге 1994 года «The Geography of Nowhere: The Rise and Decline of America's Man-Made Landscape» он исследует причины и последствия разрастания субурбий американских городов и указывает на пагубное влияние автомобиля на окружающую среду и образ жизни жителей городов и пригородов. Кунстлер называет субурбии самым большим явлением нерационального использования ресурсов [12].

В связи с тем, что американский путь развития городов вызывал множество вопросов, большая часть деятелей, продвигающих идею города для людей, вела свою работу в США. Основоположником европейской ветви движения Нового урбанизма можно назвать Леона Крие. Идеологически Крие является антагонистом Ле Корбюзье, в отличие от утопических идей которого, идеи архитектора люксембургского происхождения направлены на реалистичный подход к реконструкции города, разумном увязывании традиций в архитектуре и градостроительстве и современной практики. Главной структурной единицей города Крие считает квартал – самодостаточный «город в городе», а полицентрическую структуру города – наиболее устойчивой. Воплотить в жизнь свои идеи Крие удалось на примере экспериментального генерального плана города Паундбери, расположенного к западу от Дорчестера, Дорсет, Великобритания. Генплан характеризуется четырьмя городскими кварталами – с самодостаточными общественными центрами, находящимися в десятиминутной пешеходной доступности от жилой застройки. В данный момент, проект находится в стадии реализации [13].

К 90-м годам XX века большинство идей нового подхода к проектированию и переустройству городов уже было высказано, вопросом времени являлась только их формализация. Ядро создателей Конгресса Нового Урбанизма образовалось из двух «кружков по интересам», развивших похожие идеи о комфортной городской среде на

разных побережьях США в начале 90-х. Западное побережье представляли Питер Карлтроп, Дуглас Кельбах и Дэниел Соломон. Группу восточного побережья составляли Андрес Дуэни, Элизабет Платер-Зибек, Стефанос Полизойдес и Элизабет Мьюл, в то время вместе изучавшие архитектуру в Принстонском университете. В 1991-м году комиссия местного самоуправления Сакраменто, Калифорния, пригласила эту группу архитекторов для разработки принципов сообщества по землепользованию. Этот свод правил был

назван Ahwahnee Principles (в честь места проведения конференции) и представлен другим местным муниципалитетам. Принципы Ahwahnee – это набор принципов, в которых подчеркивается практика устойчивого городского планирования, в который были включены такие основополагающие для Нового урбанизма положения, как транспортно-ориентированное развитие, смешанное функциональное использование, пешеходная доступность, компактность застройки и другие элементы.

СРЕДОВОЙ ПОДХОД

Рис.1. Процесс визуального восприятия городской среды

Элементы, формирующие образ города	Критерии оценки образной выразительности городской среды			
	Скульпт	Доминант	Цвет	Природа
Панорама	Доминант, скульптурность, ритм, контраст	Архитектурность, выразительность, масштаб	Цветовая гамма, контраст	Ландшафт
Перспективы улиц	Контур	Объемно-пространственные решения	Цветовой акцент	Рельеф
Архитектурные объекты	Адрес	Ориентир	Компактность	Современность
Элементы, детали	Доминантность, ритм	Акцент	Контрастность, выразительность	Современность

Таблица 1. Особенности визуального восприятия городской среды, влияющие на образную выразительность города

Этап	Исторический анализ исторического города	Визуальное восприятие городской среды	Этап	Выявление образно-символической сущности архитектурной среды города
1	Исторический анализ исторического города	Визуальное восприятие городской среды	2	Выявление образно-символической сущности архитектурной среды города
2	Исторический анализ исторического города	Визуальное восприятие городской среды	3	Выявление образно-символической сущности архитектурной среды города
3	Исторический анализ исторического города	Визуальное восприятие городской среды	4	Выявление образно-символической сущности архитектурной среды города

Таблица 2. Методика исследования образно-символической выразительности архитектурно-пространственной среды города (по материалам Плотниковой А.А.)

Основные идеи

- Переход проектной культуры от лидерской, поучающей позиции к исследованию и пониманию потребностей и запросов человека, включая эстетические. Использование партиципации – соучастия будущего потребителя архитектуры и дизайна в процессе проектирования;
- Поиск понятности формального языка для художественно неподготовленного потребителя, поиск коммуникабельности возник как стремление к разнообразным контактам с человеком.
- Изменение отношения к потребителю. Отход от образа потребителя как абстрактного, «усредненного» горожанина, который покорно и благодарно принимает любой проект. Появление проектной концепции приближения к аутентичному образу жизни и личностно-ориентированного проектирования.
- Понимание объекта проектирования как фрагмента действительности, окружающего мира, основанного на представлении о взаимосвязанности предметного мира.
- Отход от традиционных методов решения проектных задач, от проектирования по прототипам. Поиск в каждом отдельном случае оригинальной дизайн-концепции, основанной на выявлении визуального кода конкретного места.

Основные принципы

- Формирование образно-символической взаимосвязи по формуле "значение – образ", иллюстрирующей процесс восприятия окружения, который является социологизацией образа.

Основные термины и понятия

- Ментальные образы города;
- Среда;
- Идентичность;
- Ассоциативность;
- Знаковость;

Основные представители

К. Линч, Р. Вентури, Ч. Дженкс, Ф. Джонсон, К. Зитте, Р. Крие, Ч. Мур и др.

Различными аспектами данной проблемы занимались отечественные ученые: М.Г. Бархин, И.А. Бондаренко, В.Л. Глазьев, А.В. Иконников, А.И. Каплун, О.И. Пруцын, А.Г. Раппапорт, А.В. Рябушин, В.А. Филин, В.Л. Хайт и др.

Рис.2. Элементы города по К. Линчу.

Рис. 2. Outline map of the Boston peninsula

FIG. 25. Variable boundaries of Boston districts

FIG. 8. Problems of the Boston image

FIG. 5. The Boston that everyone knows

Рис.3. Kevin Lynch, Studies of Boston from "The Image of The City"

1960-е ГГ.-НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Рис. 3. Структура средового подхода. Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В.

Окончательно Новый урбанизм как концепция развития территории сформировался в 1993 году, когда вышеназванная группа архитекторов во главе с Андресом Дуэни решила основать конгресс Нового урбанизма (CNU), основным документом которого стала Хартия Нового Урбанизма, которая описывает основные постулаты данного движения, сформированные на основе почти векового опыта городского планирования. Хартия состоит из трех блоков каждым по девять пунктов, описывающих формации разного масштаба:

1. Регион (the region): агломерация (metropolis), город (city) и поселок (town).

2. Соседство (the neighborhood), район (the district) и коридор (the corridor).

3. Квартал (the block), улица (the street) и здание (the building) [14].

Хартия акцентирует внимание на важности границ урбанизированных поселений и исторической преемственности в архитектуре, градостроительстве и ландшафтном дизайне, необходимости сохранения ресурсов, возможности создания устойчивых городских сообществ посредством применения архитектурного и градостроительного инструментария. На данный момент Конгресс Нового урбанизма насчитывает более тысячи участников. Конференции Конгресса проводятся ежегодно в разных городах США.

В 2009-м году соучредители конгресса Стефанос Полизойдес, Элизабет Мьюл и Хэнк Диттмар написали «Каноны устойчивой архитектуры и урбанизма» для того, чтобы конкретизировать связь Нового урбанизма с устойчивым разви-

тием. Каноны устойчивой архитектуры и урбанизма – это свод принципов для поселений и урбанизированных территорий, призванных установить гармоничные взаимоотношения между искусством строительства, созданием сообщества и сохранением окружающей среды.

Выводы. Таким образом, основными положениями, которые были разработаны в рамках Нового урбанизма, и на которые опирается концепция, являются:

1. Транспортно-ориентированное развитие (transit-oriented development).

Идея транспортно-ориентированного развития или «застройки, ориентированной на массовые виды транспорта», впервые была предложена Дугласом Кельбахом в книге «The Pedestrian Pocket Book», выпущенной в 1989 году и развита единомышленником Кельбаха Питером Карлтрупом в книге «The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream», написанной в 1993-м году. В основе концепта лежит максимально эффективное использование территории вблизи транспортного узла. Транспортно-ориентированная зона представляет собой соседство или район, в центре которого расположен крупный транспортный узел (железнодорожная станция, станция метрополитена, остановка трамвая, троллейбуса или автобуса), в радиусе 400 м от которой расположена зона высокоплотной многофункциональной застройки, ориентированной на пешеходное передвижение [15]. В зоне радиусом 800 м располагается менее плотная застройка меньшей этажности, ориентированная на поддержание ядра транспортно-ориентированной зоны (рис. 4).

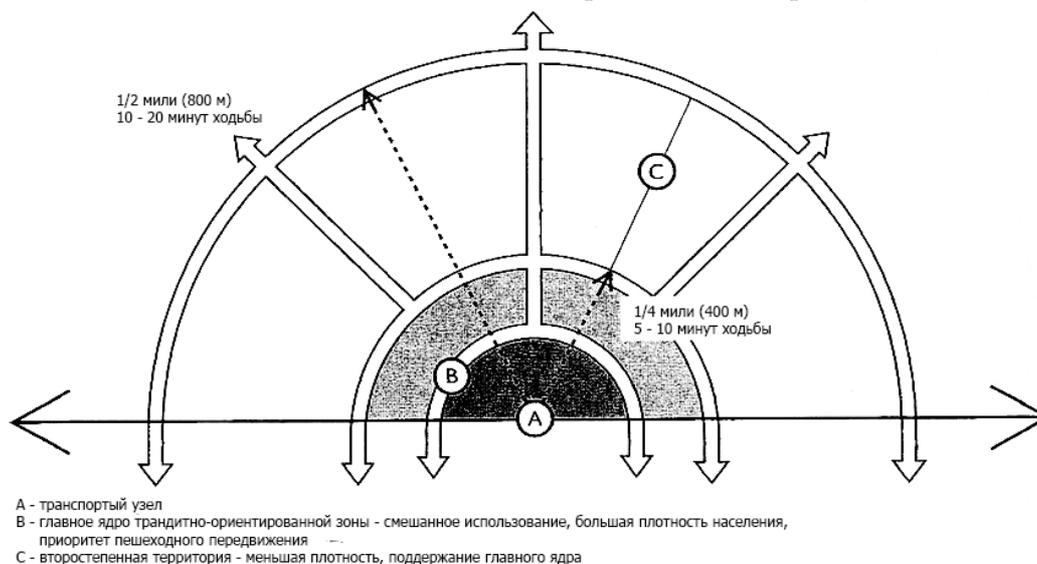


Рис. 4. Схема транспортно-ориентированной зоны Питера Карлтрома

Данное положение призвано решить ряд транспортных проблем, в том числе, так называемый эффект «последней мили», термин, использующийся как в управлении цепочками поставок

товаров, так и в транспортном планировании Последней (или первой в случае обратного движения) милей называется движение людей (или то-

варов) от крупного транспортного узла к конечной точке назначения, и проблема заключается в том, что на этот отрезок пути расходуется около 30 % ресурсов. Транспортно-ориентированное развитие нивелирует данный эффект посредством более плотной застройки в пешеходной доступности транспортного узла, а также внедрения альтернативных видов транспорта для возможности пересадки на транспортном узле.

2. Компактное развитие или умный рост (smart growth).

Идея компактного развития заключается в наиболее эффективном использовании уже существующих активов городской территории, приоритете переустройства городов перед использованием неосвоенных пространств. Концепция направлена на сдерживание бесконтрольного расплзания урбанизированной территории. Компактность городского пространства влечет за собой ряд экологических, экономических и соци-

альных преимуществ. Так, близкое расположение всех необходимых функций повседневного использования побуждает жителей отказаться от автомобиля, что в свою очередь снижает количество выбросов парниковых газов в атмосферу. Снижается эффект антропогенного воздействия на неурбанизированные территории. Затраты на поставку товаров снижаются за счёт более коротких расстояний. Разумное повышение плотности населения ведет к созданию устойчивых городских сообществ.

3. Трансектное планирование (transect planning).

Заимствованный из экологии термин «трансект» предполагает узкую прямоугольную площадку, отмеченную на местности для изучения видов, численности популяций, и других исследований. Модель разработана Андресом Дуэни и представляет собой ряд плавно сменяющие друг друга зон от пригодных к городским с определенными параметрами (рис. 5).

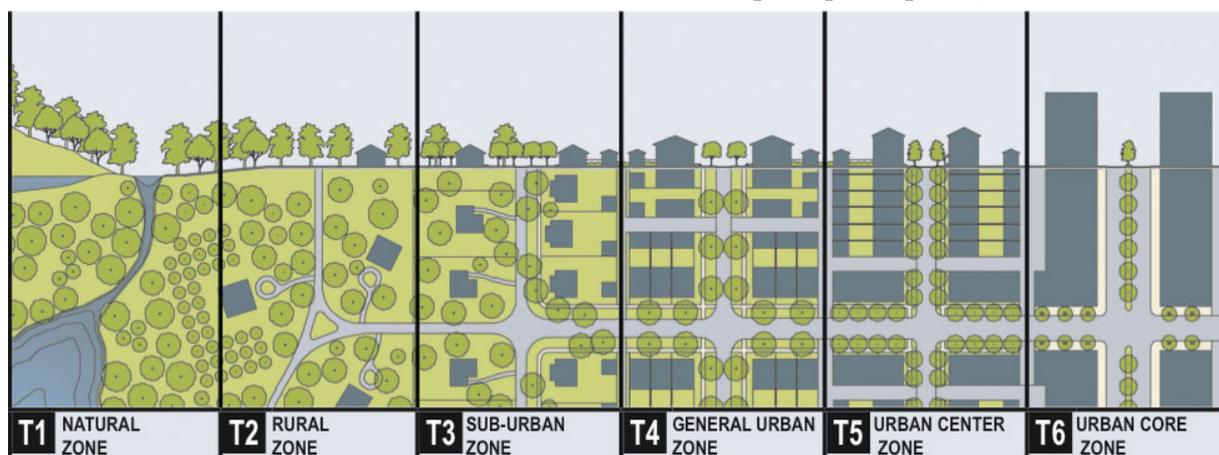


Рис. 5. Городской разрез (urban-to-rural transect) Андреса Дуэни. Источник: SmartCode

Зона T1 – представляет собой природные территории, заповедники, заказники и другие особо охраняемые природные территории, а также земли, непригодные для расселения по геологическим, климатическим, гидрологическим и другим признакам.

Зона T2 – включает в себя сельскохозяйственные территории и угодья, фермы и домашние хозяйства, является сдерживающим фактором для разрастания городов.

Зона T3 – является зоной индивидуальной жилой застройки малой плотности, представляет собой границу урбанизированной территории, должна проектироваться с учетом смешанного функционального использования, может иметь крупное квартальное членение.

Зона T4 – представляет основную городскую зону, и по замыслу создателей концепта должна занимать наибольшую территорию города. Зона представлена застройкой средней этажности и включает в себя широкий спектр функций.

Зона T5 – характеризует центр города, представлена многофункциональной высокоплотной застройкой и ориентирована на пешеходное передвижение.

Зона T6 – представлена городским ядром, имеет самый широкий ряд функций, характерна только для крупных городов, при необходимости возможна высотная застройка

Специализированные сооружения, вредные производства и другие элементы урбанизированной среды, которые не могут или не должны располагаться вблизи жилых единиц выносятся в специализированные районы (SD – special district).

Основным документом, регулирующим правила расположения тех или иных функций в зонах, возможности их совмещения с жилой функцией, высотность зданий, организацию пешеходных связей и другие аспекты создания комфортной среды, является SmartCode.

4. Смешанное функциональное использование (mixed-use development).

Оно подразумевает смешение жилой, торговой, культурной, развлекательной, рекреационной и других функций в районах, кварталах и зданиях. Такая стратегия развития городского пространства считается исторически сложившейся, в связи с тем, что в период до индустриализации, города имели небольшой диаметр, рабочие места зачастую обустраивались на первых этажах зданий. Потребность в перемещении на большие расстояния внутри города отсутствовала. В период бурного развития промышленности идея разделения жилого и рабочего пространства для минимизации вредного воздействия производств на горожан была наиболее подходящей и правильной. Однако, такая практика зонирования укрупнению единиц зонирования, в результате чего появились спальные районы в российских городах – массивы однотипной жилой застройки без общественного функционального наполнения, и субурбии в американских городах, которые по сути являются одноэтажными спальными районами. Все это приводит к маятниковым миграциям, увеличению числа автомобилей, увеличению суммарного пробега и дополнительной нагрузке на транспортную систему. При сегодняшней экономической ситуации новые урбанисты считают такую модель зонирования устаревшей и предлагают вернуться к традиционному смешанному функциональному использованию, которое имеет ряд преимуществ, в том числе, более эффективное использование городского пространства.

В целом, концепция Нового урбанизма, предполагает подход к проектированию городов, направленный на создание комфортной городской среды, ориентированной на человека, а также влияние на социальную структуру общества посредством создания условий для коммуникации людей. Идеальным городом для новых урбанистов является тот, в котором центром социальной активности являются улицы и общественные пространства, среда соразмерна человеку, а передвижение горожан осуществляется в основном на велосипедах и общественном транспорте. Движение Нового урбанизма призвано организовать основу для устойчивого развития урбанизированных территорий и установить такие принципы градостроительного развития и переустройства городской среды, которые смогут

обеспечить высокое качество жизни без ущерба для природного каркаса.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Howard, Ebeneser. Garden cities of to-morrow. London: Sonnenschein & Co., 1902. 195 p.
2. Wilson, William H. The City Beautiful movement. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1994. 384 p.
3. Geddes, Patrick. Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics. London: Williams & Norgate, 1915. 446 p.
4. Mumford, Lewis. The city in history. San Diego: Harcourt, Brace & World, 1961. 567 p.
5. Curtis, William. Modern Architecture since 1900. New York City: Phaidon Press, 1986. 736 p.
6. Vuchic, Vukan. Transportation for Livable Cities. USA: Center for Urban Policy Research (CUPR Press), 1999. 352 p.
7. Lynch, Kevin. The image of the city. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1960. 194 p.
8. Jacobs, Jane. The death and life of great American cities. New York City: Vintage Books, 1961. 458 p.
9. Whyte, William H. Social life of small urban places. New York City: Project for Public Spaces, 1980. 125 p.
10. Gehl, Jan. Cities for People. Washington D.C.: Island Press, 2010. 288 p.
11. Hollis, Leo. Cities Are Good for You: The Genius of the Metropolis. London: Bloomsbury Press, 2013. 416 p.
12. Kunstler, James Howard. The Geography of Nowhere: The Rise and Decline of America's Man-Made Landscape. New York City: Simon & Schuster, 1994. 304 p.
13. Krier, Leon. Architecture of Community. Washington D.C.: Island Press, 2009. 496 p.
14. Congress for the New Urbanism. Charter of the New Urbanism. New York City: McGraw Hill Professional, 2013. 320 p.
15. Carltrap, Peter. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. New York City: Princeton Architectural Press, 1993. 176 p.

Информация об авторах

Иванькина Наталия Андреевна, магистрант.

E-mail: nataliya.ivankina@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства.

E-mail: nataliya.ivankina@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в апреле 2018 г.

© Иванькина Н.А., Перькова М.В., 2018

N.A. Ivankina, M.V. Perkova
NEW URBANISM MOVEMENT: PREREQUISITES OF EVOLUTION
AND BASIC PLANNING MODELS

New Urbanism is an urban design movement which aimed to create a comfortable and walkable urban space. The article explored the prerequisites of the origin and evolution of the concept from the idea of a Howard's garden city to Congress for the New Urbanism foundation by Andres Duany and Elisabeth Plater-Zyberk. There is the review of evolution stages, main figures and their contribution to the concept, for example Kevin Lynch who is known for his work on environmental adaptability in urban planning, Jane Jacobs who is known as critic of urban planning, critic of exhaustible resources irrational use James Howard Kunstler, the founder of the European New Urbanism movement Leon Krier, P. Carltrap, D. Solomon, A. Duany, E. Plater-Zyberk, S. Polyzoides and E. Moule. There is a view of foundational text called Charter for the New Urbanism, that consists of three sections: 1) The Region: Metropolis, City, and Town, 2) The Neighborhood, The District, and The Corridor, 3) The Block, The Street, and The Building. The article includes description of the ideas, transforming the cities, and the basic planning models: transit-oriented development – type of urban development maximizes the amount of using space around public transport hub, smart growth -urban planning theory that concentrates growth in compact walkable urban centers to avoid sprawl, transect planning – urban planning model that defines a series of zones that transition from sparse rural farmhouses to the dense urban core, mixed-use development – type of urban development that blends different types of uses, where those functions are physically and functionally integrated.

Keywords: garden city, environmental adaptability, new urbanism, transit-oriented development, smart growth, city for people.

REFERENCES

1. Howard, Ebeneser. Garden cities of to-morrow. London: Sonnenschein & Co., 1902, 195 p.
2. Wilson, William H. The City Beautiful movement. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1994, 384 p.
3. Geddes, Patrick. Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics. London: Williams & Norgate, 1915, 446 p.
4. Mumford, Lewis. The city in history. San Diego: Harcourt, Brace & World, 1961, 567 p.
5. Curtis, William. Modern Architecture since 1900. New York City: Phaidon Press, 1986. 736 p.
6. Vuchic, Vukan. Transportation for Livable Cities. USA: Center for Urban Policy Research (CUPR Press), 1999, 352 p.
7. Lynch, Kevin. The image of the city. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1960, 194 p.
8. Jacobs, Jane. The death and life of great American cities. New York City: Vintage Books, 1961, 458 p.
9. Whyte, William H. Social life of small urban places. New York City: Project for Public Spaces, 1980, 125 p.
10. Gehl, Jan. Cities for People. Washington D.C.: Island Press, 2010, 288 p.
11. Hollis, Leo. Cities Are Good for You: The Genius of the Metropolis. London: Bloomsbury Press, 2013, 416 p.
12. Kunstler, James Howard. The Geography of Nowhere: The Rise and Decline of America's Man-Made Landscape. New York City: Simon & Schuster, 1994, 304 p.
13. Krier, Leon. Architecture of Community. Washington D.C.: Island Press, 2009, 496 p.
14. Congress for the New Urbanism. Charter of the New Urbanism. New York City: McGraw Hill Professional, 2013, 320 p.
15. Carltrap, Peter. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. New York City: Princeton Architectural Press, 1993, 176 p.

Information about the author

Nataliya A. Ivankina, master student,
E-mail: nataliya.ivankina@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Margarita V. Perkova, PhD, Professor.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in April 2018

Для цитирования:

Иванькина Н.А., Перькова М.В. Концепция нового урбанизма: предпосылки развития и основные положения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 75–84.
DOI: 10.12737/article_5b6d585f08a625.50385604

For citation:

Ivankina N.A., Perkova M.V. New urbanism movement: prerequisites of evolution and basic planning models. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 75–84.
DOI: 10.12737/article_5b6d585f08a625.50385604

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5b6d5863076c49.45633399

Лабузова М.В., аспирант,
Губарева Е.Н., аспирант,
Огурцова Ю.Н., канд. техн. наук,
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СВОЙСТВА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМНОГО СЫРЬЯ

В работе представлены результаты исследования фотокаталитического композиционного материала, полученного золь-гель методом. Данный материал представляет собой систему «фотокатализатор – носитель», где носителем выступает порошок диатомитовый. Сырьевыми материалами являлись тетрабутоксититан и порошок диатомитовый тонкодисперсный DIASIL со средним размером частиц 10,2 мкм. Для синтеза использовались следующие соотношения тетрабутоксититана и порошка диатомитового: 5,2/1; 2,6/1 и 1,8/1. Проведена оценка свойств синтезированного материала системы «TiO₂–SiO₂», в зависимости от содержания исходных компонентов. Минеральный и химический состав синтезированного материала определяли с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра со встроенной системой дифракции, ИК-Фурье спектрометра. Особенности микроструктуры и элементный состав поверхности исследовались на сканирующем электронном микроскопе. Во всех образцах отмечено формирование анатазной модификации диоксида титана. С увеличением содержания диатомитового порошка в композиционном материале отмечено увеличение количества несвязанного диоксидом титана SiO₂. Изучение микроструктурных особенностей синтезированных материалов позволило отметить, что агломераты TiO₂ заполняют поры и пустоты на развитой поверхности частиц диатомита. Размер отдельных образований составляет порядка 100–200 нм и значительно не изменяется при варьировании содержания диатомита в сырьевой смеси. Определено изменение способности к самоочищению цементного камня с разработанным фотокаталитическим композиционным материалом в зависимости от его состава. Определение способности к самоочищению образцов цементного камня производилось с использованием методики оценки фотокаталитического разложения органического красителя – родамина Б. Установлено, что наиболее активным является материал, в котором соотношение TiO₂/SiO₂ составляет 1/1.

Ключевые слова: фотокатализ, фотокаталитический композиционный материал, диоксид титана, порошок диатомитовый, цементный камень, самоочищение.

Введение. Актуальность использования фотокаталитических материалов обусловлена неудовлетворительным состоянием качества атмосферного воздуха в ряде городов Российской Федерации. Согласно «Обзору состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год» в 44 городах наблюдается высокий или очень высокий уровень загрязнения; в 38 городах с населением 12,9 млн. человек отмечены максимальные концентрации примесей выше 10 ПДК; в 54 городах воздух загрязнен бенз(а)пиреном, поступающим в атмосферу при сгорании топлива, средние за год концентрации примеси превышают 1 ПДК и т.д. [1]. Загрязнение воздуха влечет за собой загрязнение почвенного покрова и поверхностных вод. Итогом является комплексное негативное влияние на здоровье населения. В этой связи масштабное внедрение фотокаталитических материалов в граждан-

ском, промышленном и дорожном строительстве, несомненно, способствовало бы улучшению экологической ситуации [2, 3].

Согласно механизму фотокатализа, катализатор – полупроводниковый материал, под действием ультрафиолетового излучения индуцирует формирование пар «электрон – дырка», затем при участии молекул воды образование гидроксильных радикалов (OH[•]) и супероксид-аниона (радикала) (O₂^{•-}), которые участвуют в окислении адсорбированных на поверхности материала органических молекул [2].

Наиболее широко изученным и успешно применяемым фотокатализатором является диоксид титана. Значимыми проблемами, ограничивающими его применение, являются: зависимость фотокаталитической активности от структуры, размера частиц, удельной поверхности. Уменьшение поверхности частиц с целью повышения фотокаталитической активности обуславливает затруднение их распределения в объеме

материала при необходимости получения самоочищающихся композитов [3–8].

Повышение эффективности тех или иных сырьевых компонентов в общей структуре материала путем создания композиций, в которых отдельные компоненты усиливают функции друг друга, является известным приемом [9, 10]. В этой связи перспективным является получение фотокаталитических композиционных материалов. Известно, например, нанесение диоксида титана на пористые носители для улучшения его распределения в объеме [7, 11, 12]. При синтезе таких композиционных материалов, важными факторами, влияющими на фотокаталитическую активность конечного продукта, являются свойства и соотношения исходных компонентов, технологии и условия синтеза [13–15]. В данной работе рассмотрены свойства фотокаталитического композиционного материала, полученного золь-гель методом, где в качестве подложки для диоксида титана использован диатомит, при их различном соотношении.

Методология. Получение композиционного материала системы «TiO₂–SiO₂» осуществляли золь-гель методом. Сырьевыми материалами являлись тетрабутоксититан (ТУ 6-09-2738-89) и порошок диатомитовый тонкодисперсный DIASIL (ТУ 5716-013-25310144-2008) со средним размером частиц 10,2 мкм. Для синтеза использовались следующие соотношения тетрабутоксититана и порошка диатомитового: 5,2/1; 2,6/1 и 1,8/1. Обжиг производился при температуре 550 °С в течение 2 часов.

Минеральный и химический состав синтезированного фотокаталитического композиционного материала определяли с использованием

рентгенофлуоресцентного спектрометра серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции, ИК-Фурье спектрометра VERTEX 70. Особенности микроструктуры и элементный состав поверхности исследовались на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Для определения фотокаталитической активности синтезированного композиционного материала системы «TiO₂–SiO₂» были приготовлены образцы цементного камня с его использованием. Для получения образцов использовался белый цемент СЕМ I 52,5 R (Super White) производства Adana, Турция. Водоцементное отношение составляло 0,5.

Определение способности к самоочищению образцов цементного камня с фотокаталитическим композиционным материалом производилось с использованием методики оценки фотокаталитического разложения органического красителя – родамина Б (Rhodamine B, C₂₈H₃₁ClN₂O₃). Краситель был нанесен на образцы цементного камня в концентрации 4·10⁻⁴ моль/л. Образцы выдерживались в течение 4 и 26 часов под ультрафиолетовым излучением (УФ-А, 1,1±0,1) Вт/м²). Затем производилась оценка изменения цвета по цветовому пространству Lab (координата a) с использованием программного обеспечения [16].

Основная часть. Результаты определения химического состава синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂–SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового (Т/ПД) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав фотокаталитического композиционного материала

Соотношение Т/ПД	Содержание оксидов, масс. %										Соотношение TiO ₂ /SiO ₂
	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	CaO	п.п.п.	
5,2/1	48,77	46,37	2,14	0,77	0,47	0,43	0,35	0,17	0,16	0,37	≈ 1/1
2,6/1	37,31	56,24	2,89	1,13	0,52	0,47	0,50	0,26	0,21	0,47	≈ 1/1,5
1,8/1	28,45	63,97	3,48	1,21	0,69	0,69	0,59	0,31	0,24	0,37	≈ 1/2,2

Полученные материалы на 92–95 % состоят из оксидов TiO₂ и SiO₂. Остальные оксиды – составляющие исходного диатомитового порошка. С увеличением в составе сырьевой смеси содержания диатомитового порошка соотношение TiO₂/SiO₂ в конечном материале изменяется от 1/1 до 1/2,2. Это может негативно сказаться на активности фотокаталитической реакции, однако, будет зависеть от структуры формируемого соединения титана.

Результаты определения минерального состава (рис. 1) синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂–SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового (Т/ПД) представлены на рисунке 1. Качественный анализ показывает наличие анатаза во всех синтезированных образцах. Стоит отметить, что анатаз является одной из трех полимерных модификаций диоксида титана. При этом именно анатаз считается более активной модификацией в фото-

каталитических реакций по сравнению с рутилом и брукитом, за счет более высокого положения уровня Ферми [2]. Визуально отмечается сохранение интенсивности пиков анатаза вне зависимости от содержания диатомитового порошка. Это позволяет прогнозировать фотокаталитиче-

скую активность для всех образцов, однако выбор оптимального соотношения тетрабутоксититана и диатомитового порошка станет возможным после количественной оценки активности фотокаталитической реакции. Максимальный пик анатаза наблюдается для образца с соотношением исходных компонентов 5,2/1.

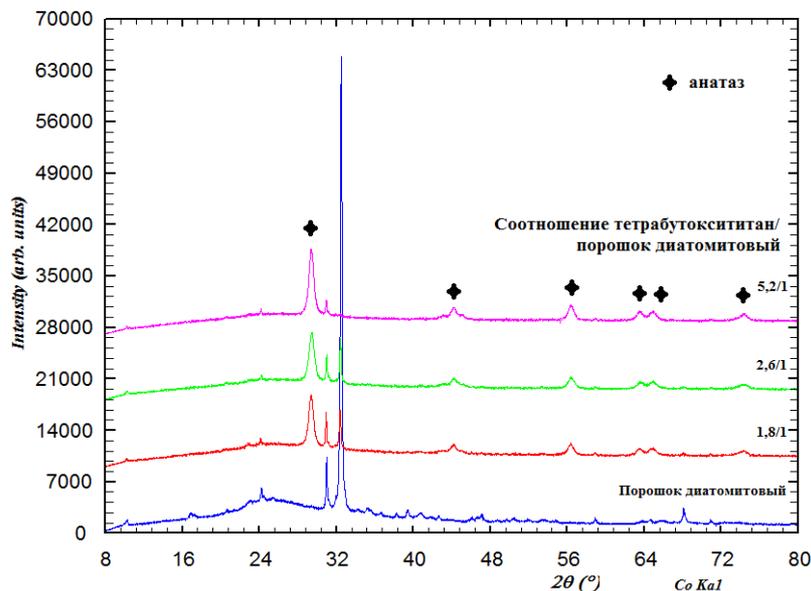


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂-SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового

Интенсивность пиков (рис. 2), отвечающих за симметричные (800–807 см⁻¹) и ассиметричные валентные (1045–1100 см⁻¹) колебания тетраэдрического фрагмента SiO₄⁴⁻ [17, 18] свидетельствует о большом количестве несвязанного SiO₂ в случае использования соотношения тетрабутоксититана и порошка диатомитового 1,8/1.

Пики в диапазонах 3300–3500 см⁻¹, 3200–3650 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям гидроксильных групп – OH в молекулах H₂O и цепи Si–OH. Колебания связи Ti–O–Ti отмечаются в широкой области поглощения 400–900 см⁻¹.

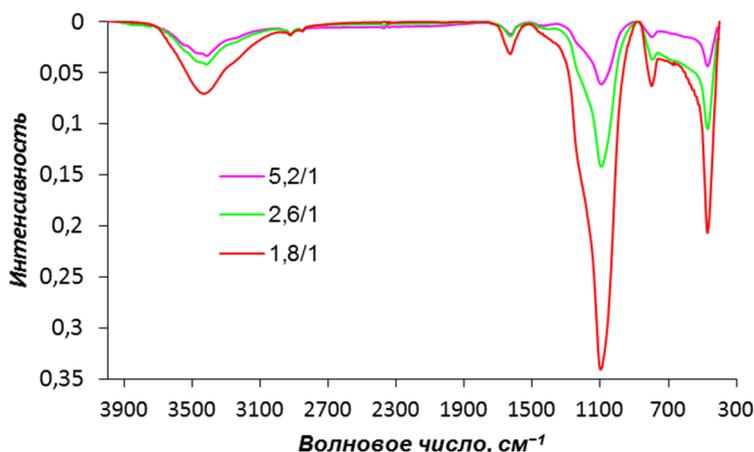


Рис. 2. ИК-спектры синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂-SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового

Изучение микроструктурных особенностей синтезированных материалов (рис. 3) позволило отметить, что агломераты TiO₂ заполняют поры и пустоты на развитой поверхности частиц диатомита. Размер отдельных образований составляет

порядка 100–200 нм и значительно не изменяется при варьировании содержания диатомита в сырьевой смеси. При этом не все частицы диатомита покрыты новообразованиями соединений титана.

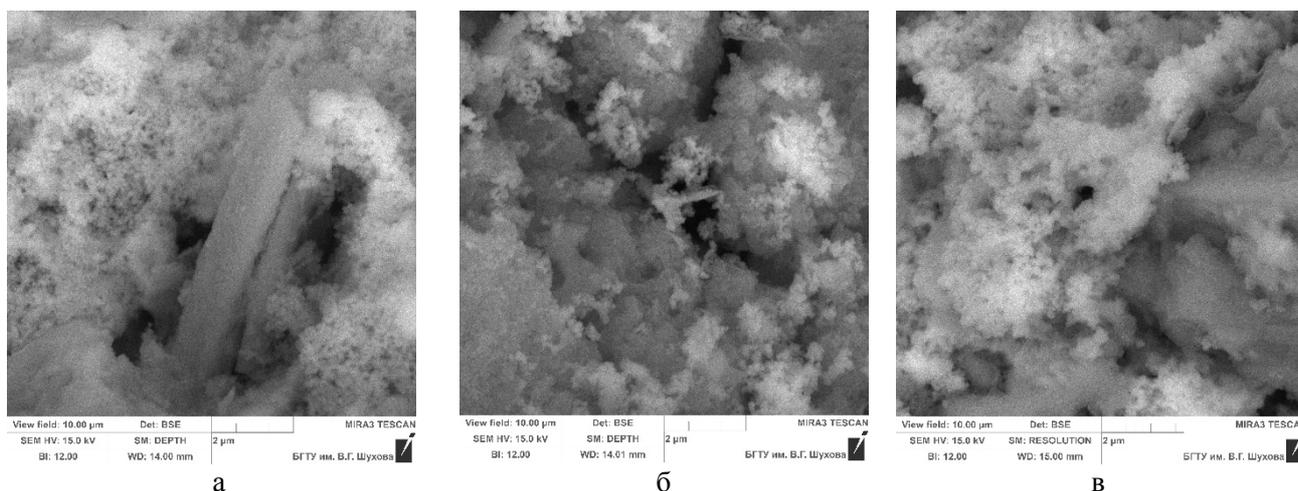


Рис. 3. Микроструктурные особенности синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂-SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового: а – 5,2/1; б – 2,6/1; в – 1,8/1

Для исследования распределения анатаза на поверхности частиц диатомита проведено картирование синтезированных порошков по химическим элементам Si и Ti. При соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового 5,2/1 отмечается неравномерное покрытие анатазом частиц диатомита. Раздельно наблюдается значительное количество частиц диатомита и крупных

конгломератов анатаза. При соотношении 2,6/1 распределение анатаза более равномерно, но при этом присутствует скопление плотных частиц диатомита, не покрытых новообразованиями. При соотношении 1,8/1 крупных конгломератов TiO₂ не наблюдается, анатаз частично покрывает частицы диатомита.

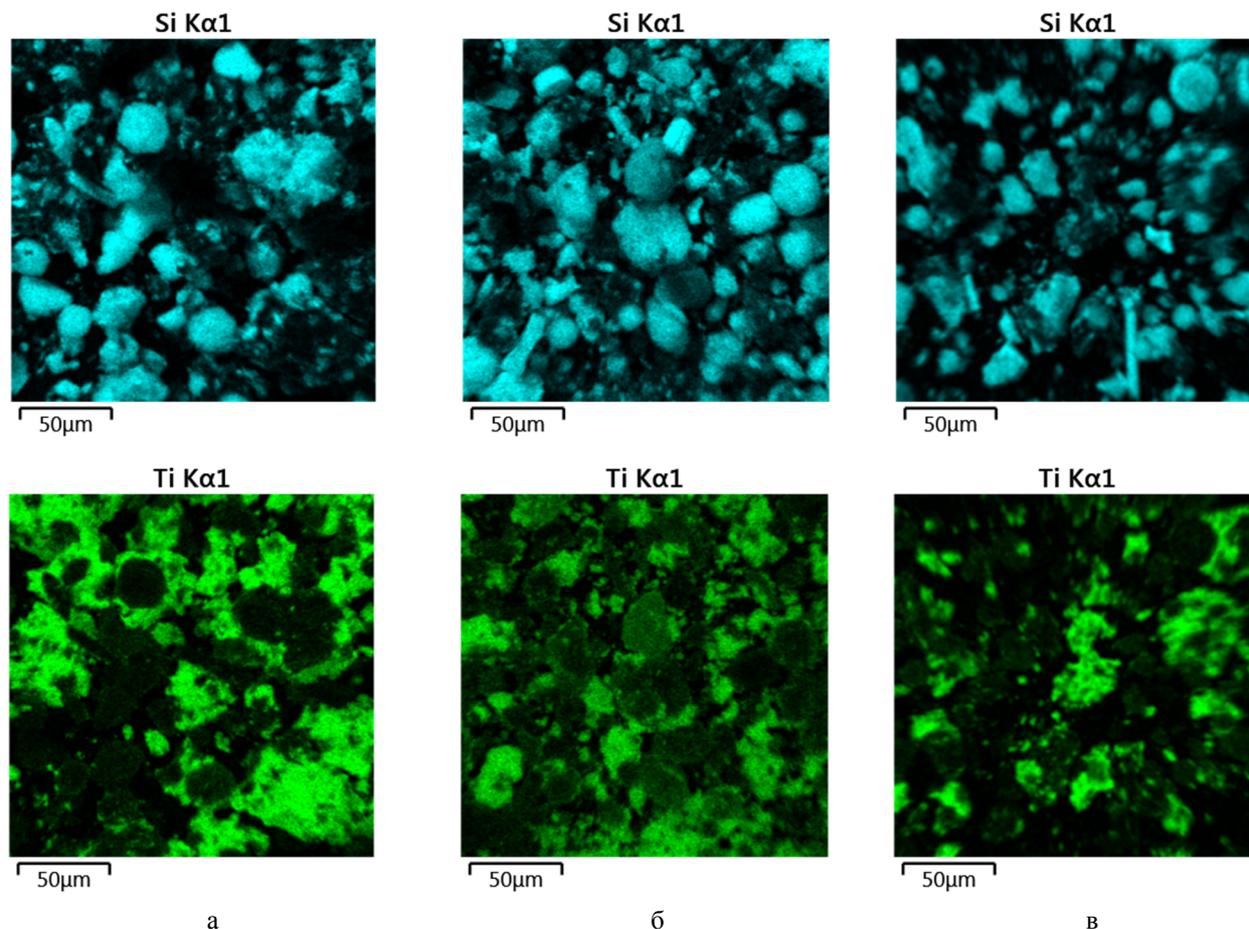


Рис. 4. Картирование по элементам Si и Ti синтезированных образцов фотокаталитического композиционного материала «TiO₂-SiO₂» при различном соотношении тетрабутоксититана и порошка диатомитового: а – 5,2/1; б – 2,6/1; в – 1,8/1

Таким образом, анализ микроструктурных особенностей позволяет выделить наиболее равномерное распределение Ti и Si в образце с соотношением тетрабутоксититана и порошка диатомитового 2,6/1.

Для оценки фотокаталитической активности синтезированные образцы композиционного материала «TiO₂-SiO₂» различного состава вводились в состав цементных образцов при пригото-

лении цементного теста. В качестве контрольного фотокаталитического материала использовался AEROXIDE TiO₂ P 25 с содержанием TiO₂ 99,5 %. Контрольный фотокаталитический материал вводился в количестве 1 % от массы цемента. Синтезированные образцы фотокаталитического композиционного материала «TiO₂-SiO₂» вводились в количестве 1 % от массы цемента в пересчете на диоксид титана.

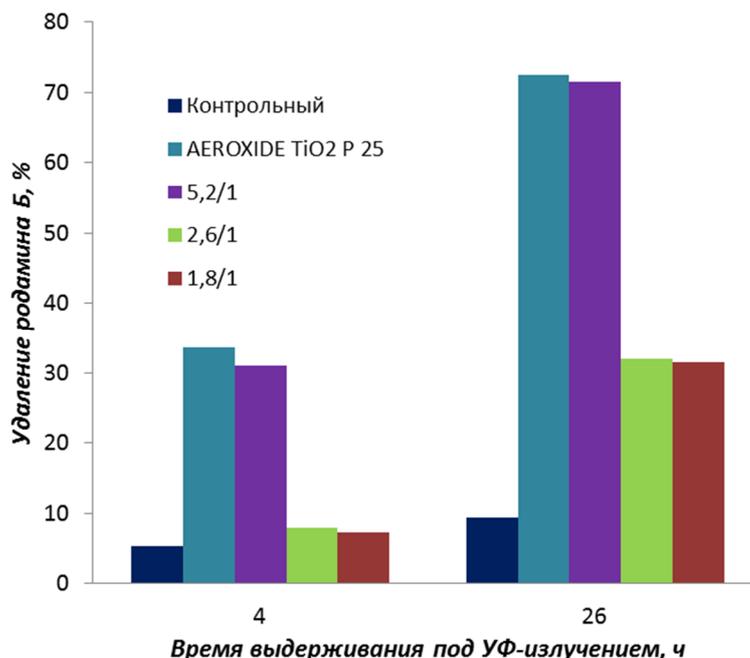


Рис. 5. Способность к самоочищению образцов цементного камня различного состава

Способность к самоочищению проявили все исследованные образцы с фотокатализаторами (рис. 5). На контрольном образце цементного камня также отмечено незначительное удаление (обесцвечивание) родамина Б как после 4 так и после 26 часов выдерживания под УФ излучением в результате процесса высушивания. Полученные результаты позволяют отметить, что образец фотокаталитического композиционного материала с соотношением TiO₂/SiO₂ 1/1 (соотношение тетрабутоксититана и порошка диатомитового 5,2/1) по способности к самоочищению (показателю удаления родамина) после 26 ч выдерживания под УФ-излучением соответствует контрольному фотокаталитическому агенту AEROXIDE TiO₂ P 25. Предлагаемый материал отличается простотой синтеза, удобством использования при приготовлении строительных смесей и ожидаемым пуццоланическим эффектом. Для повышения его эффективности предполагается проведение исследований по оптимизации как синтеза композиционного материала «TiO₂-SiO₂», так и способа его использования в композитах, в том числе, исследование влияния на их физико-механические характеристики.

Увеличение содержания диатомита в сырьевой смеси приводит к снижению фотокаталитической активности конечного материала, однако, образцы с соотношением тетрабутоксититана и порошка диатомитового 2,6/1 и 1,8/1 не проявили значительных отличий, что станет предметом дальнейших исследований.

Выводы. Золь-гель методом синтезирован фотокаталитический композиционный материал при различном соотношении сырьевых компонентов: тетрабутоксититана и порошка диатомитового. Во всех образцах отмечено формирование анатазной модификации диоксида титана. С увеличением содержания диатомитового порошка в композиционном материале отмечено увеличение количества несвязанного диоксидом титана SiO₂. Все синтезированные образцы проявили фотокаталитическую активность, однако наиболее активным является материал, в котором соотношение TiO₂/SiO₂ составляет 1/1. При изменении отношения TiO₂/SiO₂ на 1/1,8 и 1/2,2 способность к самоочищению цементного камня снижается на 40 % после 26 часов выдерживания под УФ-излучением. Эффективность процесса

самоочищения связана не только с фотокаталитической активностью используемых материалов, но и с процессами адсорбции и десорбции, влияние которых может также меняться при изменении соотношения TiO_2/SiO_2 и количества фотокаталитического композиционного материала в цементной системе, что требует дальнейших исследований.

Источник финансирования. Грант Президента для научных школ НШ-2724.2018.8; Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2016 год. Отв. редактор. Г.М. Черногаева. Москва: Росгидромет, 2017. 218 с.
2. Артемьев Ю.М., Рябчук В.К.. Введение в гетерогенный фотокатализ. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 304 с.
3. Nakata K., Fujishima A. TiO_2 Photocatalysis: Design and Applications // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 2012. V. 13. № 3. P. 169–189. DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001
4. Строкова В.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н. Оценка свойств кремнеземного сырья как подложки в составе композиционного фотокаталитического материала // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 6–12. DOI: 10.12737/23819
5. Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Соболева Г.Н., Ротарь Д.В., Оглоблина Е.В. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана // Строительные материалы. 2015. № 11. С. 5–8.
6. Оболенская Л.Н., Доморощина Е.Н., Савинкина Е.В., Кузьмичева Г.М. Получение, характеристика и фотокаталитические свойства наноразмерного анатаза, модифицированного марганцем // Фундаментальные исследования. 2013. № 1–3. С. 796–801.
7. Ильяева М.В. Пероксидный метод получения фотокатализаторов на основе наночастиц SiO_2/TiO_2 : дис.... канд. хим. наук. Челябинск, 2015. С. 82–85.
8. Степанов А.Ю., Сотникова Л.В., Владимиров А.А., Дягилев Д.В., Ларичев Т.А., Пугачев В.М., Титов Ф.В. Синтез и исследование фотокаталитических свойств материалов на основе TiO_2 // Вестник КемГУ. 2013. №2 (54). Т-1. С. 249–255.
9. Строкова В.В., Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Серенков И.В. Свойства композиционного вяжущего на основе наноструктурированной суспензии // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 50–54.
10. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Вишневская Я.Ю. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. № 1. С. 90.
11. Kirchhof J., Unger S., Dellith J., Scheffel A. Diffusion in binary TiO_2-SiO_2 glasse // Optical materials express. 2014. V. 4. №4. P. 672–680. DOI: 10.1364/OME.4.000672
12. Мельников Б.И., Савченко М.О. Исследование технологии получения модифицированного диоксида кремния // Вопросы химии и химической технологии. 2005. № 1. С. 82–85.
13. Мошников В.А., Таиров Ю.М., Хамова Т.В., Шилова О.А. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов. Под ред. О. А. Шиловой. СПб.: Издательство «Лань», 2013. 294 с.
14. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем: монография. М.: Бином. Лаб. знаний, 2012. 328 с.
15. Чукин Г.Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. М.: Тип. «Паладин»: Принта, 2008. 174 с.
16. Guo M.-Z., Maury-Ramirez A., Poon C.S. Self-cleaning ability of titanium dioxide clear paint coated architectural mortar and its potential in field application // Journal of Cleaner Production. 2016. V. 112. P. 3583–3588. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.079
17. Davis R.J., Liu Z. Titania-silica: a model binary oxide catalyst system // Chemistry of Materials. 1997. V. 9. P. 2311–2324.
18. Innocenzi P. Infrared spectroscopy of sol-gel derived silica-based films: a spectra-microstructure overview // Journal of Non-Crystalline Solids. 2003. V. 316. P. 309–319.

Информация об авторах

Лабузова Марина Вячеславовна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: labuzova326@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Губарева Екатерина Николаевна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: ekaterina.bondareva@rambler.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Огурцова Юлия Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИ Наносистемы в строительном материаловедении Инновационного научно-образовательного и опытно-промышленного центра Наноструктурированных композиционных материалов.

E-mail: ogurtsova.yu@bstu.ru; ogurtsova.y@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор, директор Инновационного научно-образовательного и опытно-промышленного центра Наноструктурированных композиционных материалов.

E-mail: strokova.vv@bstu.ru; s-nsm@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2018 г.

© Лабузова М.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., 2018

M.V. Labuzova, E.N. Gubareva, Y.N. Ogurtsova, V.V. Strokova
PROPERTIES OF PHOTOCATALYTIC COMPOSITE MATERIAL BASED
ON SILICA RAW MATERIALS

The paper presents the results of the investigation of the photocatalytic composite material synthesized by the sol-gel method. This material represents a "photocatalyst-carrier" system, where the carrier is diatomite powder. The raw materials were tetrabutyltitanium and finely dispersed diatomite powder DIASIL with an average particle size of 10.2 μm. For the synthesis, the following ratios of tetrabutyltitanium and diatomite powder were used: 5,2/1; 2,6/1 and 1,8/1. The properties of the synthesized material of the «TiO₂ – SiO₂» system are evaluated, depending on the content of the initial components. The mineral and chemical composition of the synthesized material was determined using an X-ray fluorescence spectrometer with an integrated diffraction system, an IR Fourier spectrometer. The microstructure features and the elemental composition of the surface were studied with a scanning electron microscope. Formation of anatase modification of titanium dioxide was observed in all samples. With an increase in the content of diatomite powder, an increase in the amount of SiO₂ that is not bounded by titanium dioxide was noted in the composite material. The study of microstructural features of synthesized materials made it possible to note that TiO₂ agglomerates fill pores and voids on the developed surface of diatomite particles. The size of the individual formations is of the order of 100–200 nm and does not change significantly when the content of diatomite in the raw mix varies. The change in the ability to self-cleaning of cement stone with the developed photocatalytic composite material depending on its composition was determined. Determination of the ability for self-cleaning of cement stone samples was carried out using the procedure for estimating the photocatalytic decomposition of organic dye - rhodamine B. It was found that the most active material is the one in which the TiO₂/SiO₂ ratio is 1/1.

Keywords: photocatalysis, photocatalytic composite material, titanium dioxide, diatomite powder, cement stone, self-cleaning.

REFERENCES

1. Overview of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2016. Executive editor G.M. Chernogaeva. Moscow: Roshydromet, 2017. 218 p.
2. Artemiev Yu.M., Ryabchuk V.K. Introduction to heterogeneous photocatalysis. SPb.: Publishing House of St. Petersburg State University, 1999, 304 p.
3. Nakata K., Fujishima A. TiO₂ Photocatalysis: Design and Applications. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 2012, vol. 13, no. 3, pp. 169–189. DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001
4. Strokova V.V., Gubareva E.N., Ogurtsova Yu.N. Evaluation of the properties of the silica raw materials as a substrate as component of composite photocatalytic material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 5, pp. 6–12. DOI: 10.12737/23819
5. Lukutsova N.P., Postnikova O.A., Soboleva G.N., Rotar' D.V., Oglolina E.V. Photo-Catalytic Pavement on the Basis of Additive of Nano-Disperse Titanium Dioxide. Stroitel'nye Materialy, 2017, no. 1–2, pp. 50–54.
6. Obolenskaya L.N., Domoroshchina E.N., Savinkina E.V., Kuzmicheva G.M. Obtaining, characterization and photocatalytic properties of nanoscale anatase modified with manganese. Fundamental research, 2013, № 1-3, pp. 796–801.
7. Ilkaeva M.V. Peroxide method of obtaining photocatalysts based on SiO₂/TiO₂ nanoparticles: thesis of candidate of chemical sciences. Chelyabinsk, 2015. pp. 82–85.

8. Stepanov A.Yu., Sotnikova L.V., Vladimirov A.A., Diagilev D.V., Larichev T.A., Pugachev V.M., Titov F.V. Synthesis and study of photocatalytic properties of TiO₂-based materials. Bulletin of KemSU, 2013, no. 2 (54), T-1, pp. 249-255.
9. Strokova V.V., Netsvet D.D., Nelubova V.V., Serenkov I.V. Properties of Composite Binder Based on Nanostructured Suspension. Stroitel'nye Materialy, 2017, no. 1-2, pp. 50-54.
10. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Vishnevskaya Ya.Yu. Highly effective composite binders with usage of nanomodifier. Bulletin of the central regional branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, 2010, no. 1, pp. 90.
11. Kirchhof J., Unger S., Dellith J., Scheffel A. Diffusion in binary TiO₂-SiO₂ glasse. Optical materials express, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 672-680. DOI: 10.1364/OME.4.000672
12. Melnikov B.I., Savchenko M.O. Investigation of the technology of modified silicon dioxide production. Problems of chemistry and chemical technology, 2005, no. 1, pp. 82-85.
13. Moshnikov V.A., Tairov Yu.M., Khamova T.V., Shilova O.A. Sol-gel technology of micro- and nanocomposites. Editor O.A. Shilova. SPb.: Publishing House «Lan», 2013, 294 p.
14. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Sol-gel technologies. Nanodisperse silica: monograph. M.: Publishing house «Binom». Laboratory of knowledge, 2012, 328 p.
15. Chukin G.D. Surface Chemistry and the Structure of Dispersed Silica. M.: Type. "Paladin": Printa, 2008, 174 p.
16. Guo M.-Z., Maury-Ramirez A., Poon C.S. Self-cleaning ability of titanium dioxide clear paint coated architectural mortar and its potential in field application. Journal of Cleaner Production, 2016, vol. 112, pp. 3583-3588. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.079
17. Davis R.J., Liu Z. Titania-silica: a model binary oxide catalyst system. Chemistry of Materials, 1997, vol. 9, pp. 2311-2324.
18. Innocenzi P. Infrared spectroscopy of sol-gel derived silica-based films: a spectra-microstructure overview. Journal of Non-Crystalline Solids, 2003, vol. 316, pp. 309-319.

Information about the author

Marina V. Labuzova, Postgraduate student.
E-mail: labuzova326@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ekaterina N. Gubareva, Postgraduate student.
E-mail: ekaterina.bondareva@rambler.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Yulia N. Ogurtsova, PhD, Assistant professor.
E-mail: E-mail: ogurtsova.yn@bstu.ru; ogurtsova.y@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Valeria V. Strokova, DSc, Professor.
E-mail: strokova.vv@bstu.ru; s-nsm@mail.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2018

Для цитирования:

Лабузова М.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строкосва В.В. Свойства фотокаталитического композиционного материала на основе кремнеземного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 85-92. DOI: 10.12737/article_5b6d5863076c49.45633399

For citation:

Labuzova M.V., Gubareva E.N., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V. Properties of photocatalytic composite material based on silica raw materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 85-92. DOI: 10.12737/article_5b6d5863076c49.45633399

*Шошин Е.А., канд. техн. наук, доц.
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина*

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕРМОЛИЗА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Изучены структура и свойства продуктов интенсифицированной гидратации портландцемента, модифицированных сахарозой с применением методов рентгеновской дифракции, дифференциального термического анализа и энергодисперсионной спектроскопии (EDS). Продукты интенсифицированной гидратации представляют собой смесь аморфных силикатных и кристаллических этtringитовых фаз. Термообработка продуктов интенсифицированной гидратации сопровождается дестабилизацией всех гидратных фаз и образованием дисперсии, содержащей частицы широкого диапазона размеров, включая нанодиапазон. Рассмотрена принципиальная возможность использования микроволнового (СВЧ) излучения в качестве источника тепла для термоллиза модифицированных гидросиликатов цемента. Выявлены некоторые различия в результатах термоллиза модифицированных гидросиликатов СВЧ-излучением и тепловой энергией. Различия заключаются в морфологии образующихся при термоллизе частиц и их элементном составе. При использовании в качестве источника тепла СВЧ-излучения состав частиц дисперсии обогащается кремнием.

Ключевые слова: модифицированные гидросиликаты цемента, структура, элементный состав, наночастицы, термоллиз, СВЧ-обработка.

Для получения силикат-кальциевых дисперсий в работах [1, 2] применялась термообработка модифицированных гидросиликатов. В то же время в ряде работ отмечается, что нагревание минерального сырья рациональнее проводить с применением СВЧ-излучения [3–7]. Сушка и обжиг СВЧ-полями широко используются в технологиях диэлектрических материалов, таких как керамика и тугоплавкие материалы [5–8], применение СВЧ-обработки сырьевых материалов показало положительный эффект в технологии цементных бетонов [9], перспективно применение СВЧ-обработки при наномодификации сырьевых смесей [10].

В основе эффекта СВЧ-нагрева лежит поглощение электромагнитной энергии структурными фрагментами диэлектрика, которое определяется мощностью диэлектрических потерь [11]. Приповерхностные области вещества характеризуются повышенной дефектностью, что обуславливает более высокие диэлектрические потери [12]. Следствием этого является более интенсивное нагревание межфазных областей и возникновение градиента температуры между поверхностью и объемом частицы. Таким образом, на границе раздела фаз гетерогенной системы образуются локальные градиенты температуры, формируются термодиффузионные потоки и ускоряются твердофазные реакции, а нагрев гетерогенной системы происходит в первую очередь за счет перегрева приповерхностного слоя вещества на границе раздела фаз [13].

Достоинством технологий СВЧ-обработки является способность СВЧ-излучения проникать

на значительную глубину, что позволяет осуществлять объемный нагрев и дифференцировать интенсивность нагрева внешних и внутренних областей материала. СВЧ-поля взаимодействуют с веществом на атомно-молекулярном уровне, что позволяет интенсифицировать межфазные взаимодействия и провоцировать химические реакции, несвойственные материалу в обычном состоянии [4–6]. Помимо перечисленного, СВЧ-нагрев характеризуется экологичностью (отсутствие продуктов горения и загрязнения сырья), возможностью достижения высоких скоростей нагрева материала и высоким КПД процесса термообработки [14, 15].

Таким образом, целью настоящей работы является изучение возможности получения силикат-кальциевых дисперсий путем обработки модифицированных гидросиликатов цемента СВЧ-излучением.

Модифицированные гидросиликаты цемента получали в ходе интенсифицированной гидратации портландцемента в условиях помолы в присутствии модифицирующего углевода. С этой целью использовалась планетарная мельница с регулируемой величиной ускорения свободного падения, которая назначалась в пределах 20–21 ед. Помол водцементных суспензий осуществлялся в течение 1 час.

Интенсифицированная гидратация ПЦ представляет собой процесс механохимического синтеза, когда сольватно-адсорбционные оболочки углевода на поверхности минералов клинкера механически удаляются с поверхности, освобождая минеральную поверхность частиц клинкера для гидратно-адсорбционного взаимодействия с

раствором сахарозы. При этом водная фаза суспензии представляет собой пересыщенный раствор как в отношении ионов кальция, так и кремния. В этих сильно неравновесных условиях формируются модифицированные продукты гидратации (МПП), состав которых определяется соотношением скоростей подвода в систему ионов

кальция, кремния, железа, алюминия, т.е. скоростями гидролиза соответствующих минералов клинкера.

В качестве ПЦ использовался цемент производства ООО "Холсим (Рус)" ЦЕМ I 42.5Н (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики порландцемента

Химический состав, % (масс)				Фазовый состав, % (масс)	
SiO ₂	18.7	TiO ₂	0.3	C ₃ S	61.1
Al ₂ O ₃	4.6	SO ₃	3.0	C ₂ S	12.6
CaO	62.0	Na ₂ O	0.2	C ₃ A	6.8
Fe ₂ O ₃	3.1	K ₂ O	0.5	C ₄ AF	10.2
MgO	2.9			CaO	1.8

В качестве модифицирующего углевода использовалась сахароза (ГОСТ 5833-75).

Микроволновая обработка образцов МПП производилась СВЧ-излучением (2,45 ГГц) в течение 5 мин.

Электронно-микроскопические исследования проводились в центре коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием в области физико-химической биологии и нанобиотехнологии «Симбиоз» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Российской академии наук.

Элементный состав наночастиц продуктов термолитиза МПП и их морфология изучались на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) JEM-2010, оборудованном EDS-приставкой для элементного анализа. Электронно-микроскопическое исследование проводилось в Технологическом институте сверхтвердых и новых углеродных материалов, г. Троицк.

Рентгенофазовый анализ образцов МПП и продуктов их термолитиза проводился на дифрактометре ARLX'tra с использованием медного анода. Рентгенофазовое исследование проводилось на оборудовании научно-образовательного центра по нанотехнологиям и наноматериалам СГТУ имени Гагарина Ю.А. Фазовый анализ проводился с использованием баз данных Powder Diffraction File, Inorganic, JCPDS-Swarc, Pennsylvania, USA – 1987.

Термографическое исследование проводилось на дериватографе Q-1500D (МОН Будапешт) при скорости нагрева – 10 град/мин, атмосферные условия. Измерения проводились в ФБУ «Саратовская лаборатория судебной экспертизы» министерства юстиции РФ.

Фазовый состав МПП представлен кристаллической фазой структуры этрингита (железистого) и негидратированным алитом (рис. 1), аморфные продукты на дифрактограмме не идентифицируются.

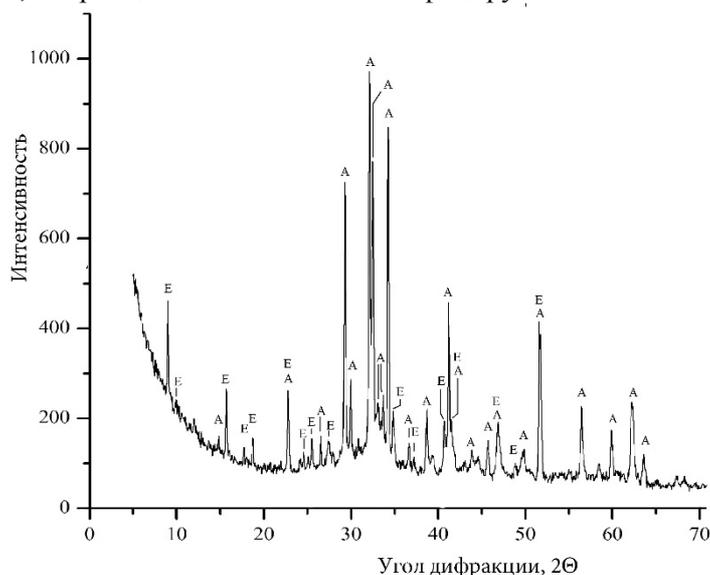


Рис. 1. Дифрактограмма продуктов интенсифицированной гидратации цемента, модифицированного 2 % сахарозы: А – алит Ca₃SiO₅ triclinic; Е – Fe-этрингит Ca₆Fe₂(SO₄)₃(OH)₁₂·25-27H₂O

Морфологию частиц МПГ (2 % сахарозы) хорошо иллюстрируют микроэлектронные фотографии (рис. 2).

Призматические частицы, в избытке присутствующие в системе, не относятся к эттрингитовым

фазам, т.к. согласно SAED-анализу индивидуальные призматические частицы представляют собой аморфные фазы (рис. 3), т.е. не содержат кристаллических фаз, фиксируемых на дифрактограмме (рис. 1) [16].



Рис. 2. ПЭМ-микрофотография частиц МПГ (2 % сахарозы)

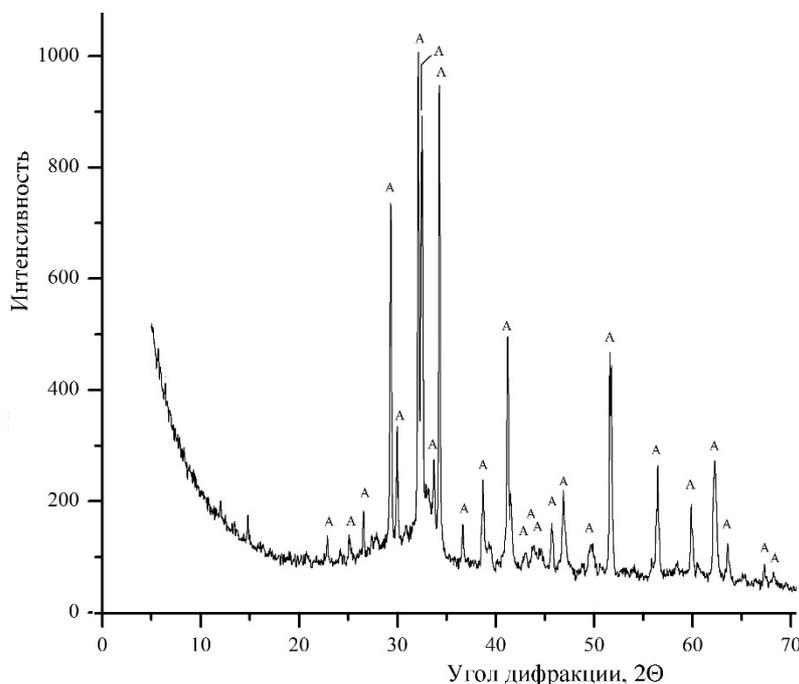


Рис. 3. Дифрактограмма образцов МПГ цемента термообработанных при 150 °С. А – алит Ca_3SiO_5 триклинная сингония

Термообработка МПГ цемента при 150 °С ожидаемо сопровождается разложением эттрингитовых фаз (рис. 3, 4) и образованием частиц широкого диапазона размеров, включая нанодиапазон (рис. 5) [1].

Индивидуальный элементный состав отдельных частиц размером до 200 нм характеризуется высокой вариабельностью, но во всех случаях фиксируется высокое содержание кальция и, в значительно меньших количествах - кремния.

Помимо кальция и кремния в их составе могут присутствовать железо, алюминий и проч. (рис. 6, 7).

Из элементного состава частиц на рис. 6 следует, что вероятнее всего, это продукты разложения эттрингитовых фаз, зафиксированных на рис. 1.

Изучение образцов МПГ, подвергнутых СВЧ-излучению показало, что как при термообработке обычным способом, так и в результате СВЧ-нагрева МПГ образуются дисперсии с широким фракционным составом (рис. 8). При этом

следует отметить, что СВЧ-обработанные образцы МПГ характеризуются иной морфологией частиц (рис. 8, б).

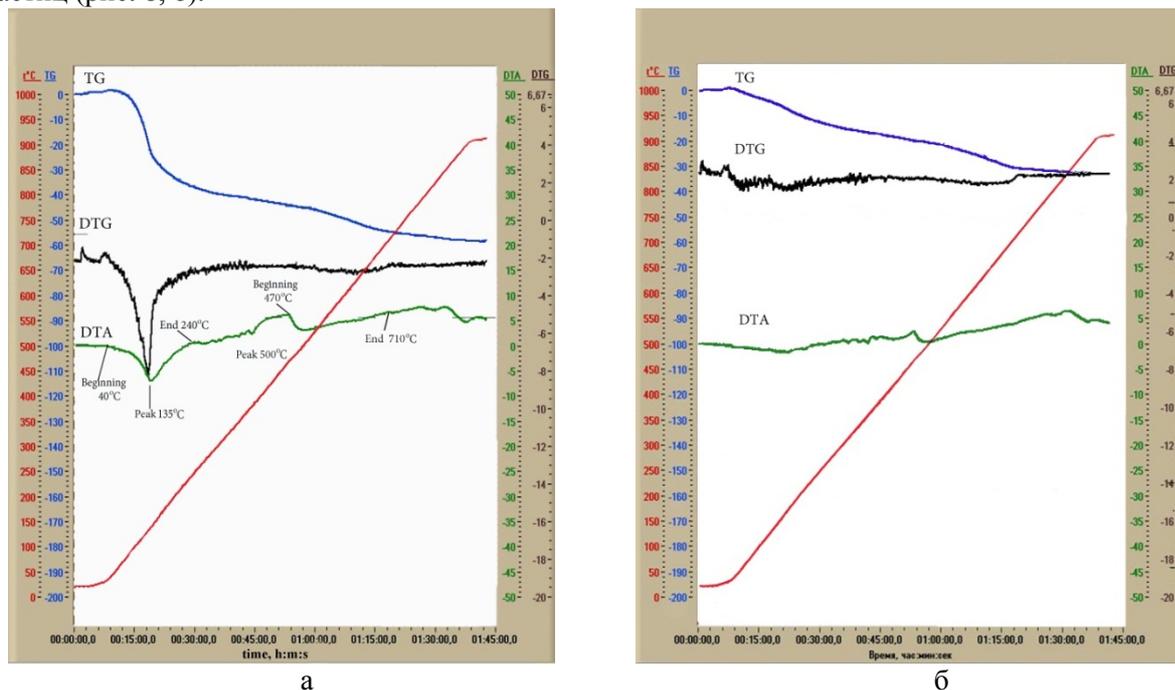


Рис. 4. Дериватограммы образцов МПГ (сахароза, 2 %):

а – образец предварительно высушен при 25 °С; б – образец предварительно высушен при 150 °С. Масса навески 400 мг.

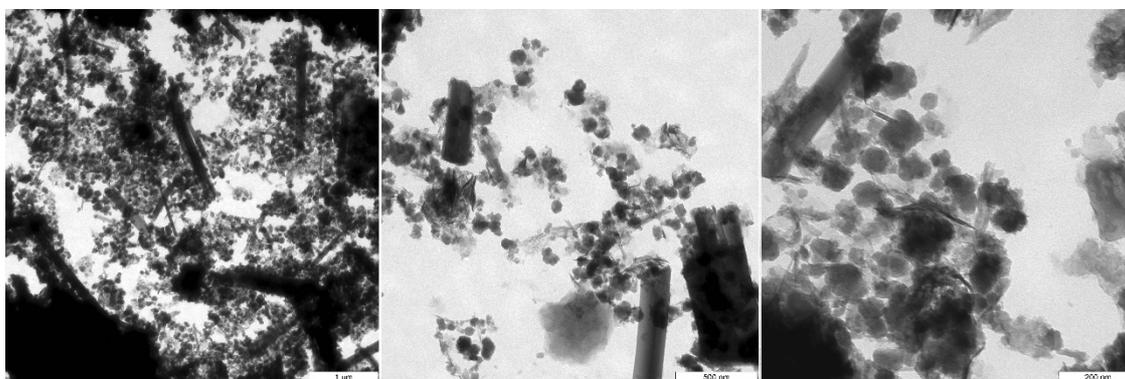
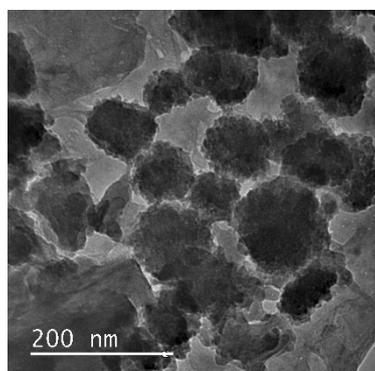
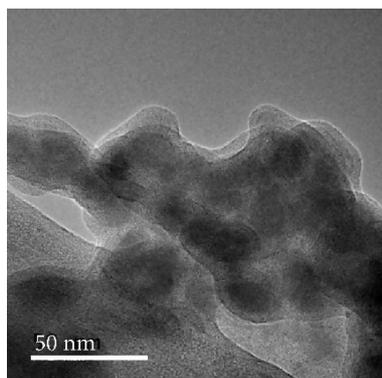


Рис. 5. Морфология продуктов термолитза МПГ



Element	Weight%	Atomic%
O K	33,82	54,24
Mg K	15,33	16,19
Al K	4,91	4,62
Si K	3,65	3,34
Ca K	12,27	7,71
Cr K	7,57	3,60
Fe K	22,45	10,28
Totals	100,00	

Рис. 6. Морфология и состав частиц продуктов термолитза предположительно этtringитовых фаз в составе МПГ



Element	Weight %	Atomic %
O K	61,03	77,91
Mg K	5,35	4,50
Al K	0,46	0,20
Si K	3,32	2,25
Ca K	29,84	15,13
Totals	100,00	

Рис. 7. Морфология и состав агрегированных частиц продуктов термолита аморфных фаз в составе МПГ

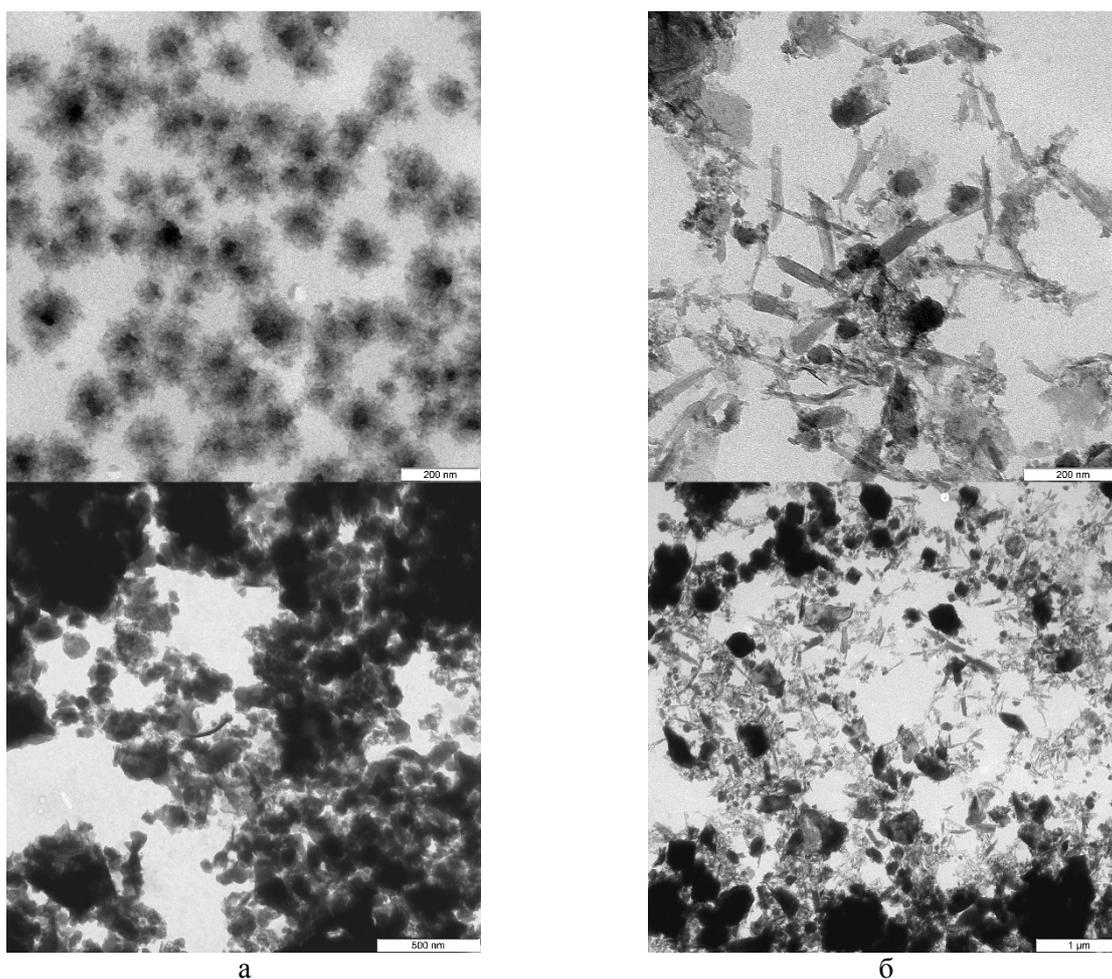


Рис. 8. Морфология частиц продуктов термолита МПГ (сахароза 3 %), образующихся:
 а – в результате термообработки при 120 °С;
 б – под действием СВЧ-излучения (6 мин)

Однако наиболее заметные изменения наблюдаются в элементном составе индивидуальных частиц и выражаются в увеличении доли кремния (рис. 9). Последнее, видимо, связано с эффектом вторичной гидратации негидратированного алита в составе МПГ. Как уже отмечалось, наибольшее поглощение СВЧ-излучения

наблюдается в приповерхностном слое минеральной частицы, где концентрируются адсорбированные молекулы сахарозы.

В результате ингибирующие гидратацию цемента молекулы углевода в процессе СВЧ-обработки подвергаются наибольшему воздействию, что, видимо, способствует энергичной (при по-

вышенной температуре) гидратации портландцемента адсорбционно связанной водой. В условиях активной термодиффузии (сопровождаю-

щей СВЧ-обработку) продукты гидратации выносятся в межчастичное пространство, где кристаллизуются, образуя агрегированные частицы силикатов.

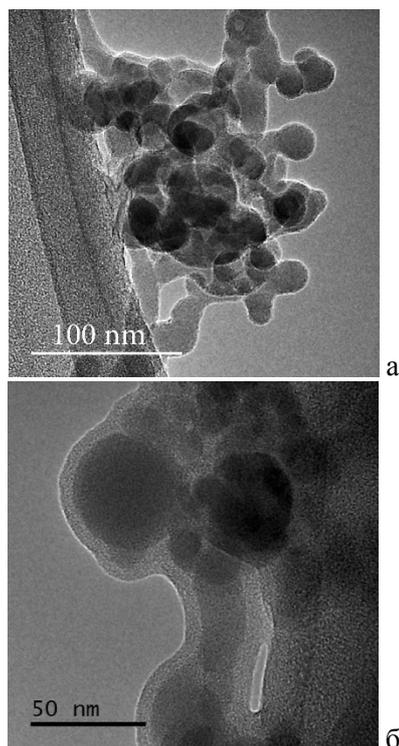


Рис. 9. Морфология и состав агрегированных частиц продуктов СВЧ-обработки аморфных фаз МПП цемента

Element	Weight%	Atomic%
O K	59,12	76,92
Si K	8,43	6,24
Ca K	32,45	16,83
Totals	100.00	

Element	Weight%	Atomic%
O K	73,39	84,84
Si K	10,79	7,10
Ca K	17,47	8,04
Totals	100.00	

На основании представленного материала можно сделать следующие выводы:

- Интенсифицированная гидратация портландцемента в присутствии сахарозы приводит к образованию смеси гидратных аморфных и этрингитовых фаз.

- Модифицированные гидратные фазы при нагревании до 150 °С распадаются с образованием частиц широкого диапазона размеров, включая нанодиапазон. Элементный состав наноразмерных и субмикронных частиц является переменным и определяется природой исходных фаз (этрингитовые, аморфные силикатные).

- СВЧ-обработка модифицированных гидратных фаз аналогично термолизу приводит к образованию полифракционных дисперсий, но сопровождается изменением элементного состава и морфологии частиц продуктов распада модифицированных гидратных фаз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шошин Е.А. Силикатный наполнитель, получаемый методом термолиза модифицированных гидросиликатов цемента // Строительные материалы. 2017. №7. С. 16–19.
2. Шошин Е.А., Поляков А.В., Буров А.М. О возможности синтеза наносиликатов кальция методом термолиза модифицированных смесей опока-

СаО, подвергнутых совместному измельчению в присутствие воды // Вестник БГТУ им. Шухова. 2016. №3. С.152–158.

3. Архангельский Ю.С., Девяткин И.И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1983. 140 с.

4. Филиппов В.А., Филиппов Б.В. Перспективные технологии обработки материалов сверхвысокочастотными электромагнитными колебаниями // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. 2012. № 4. (76). С. 181–184.

5. Пушкарев О.И., Шумячер В.М., Мальгина Г.М. Микроволновая обработка порошков тугоплавких соединений электромагнитным полем СВЧ // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 1. С. 7–9.

6. Микроволновые технологии / А.В. Мамонтов [и др.]. М.: НИИ ПМТ, 2008. 308 с.

7. Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы и реализация) / под ред. Г. А. Морозова и Ю. Е. Седельникова. М.: Радиотехника, 2003. 112 с.

8. Женжурист И.А. Эффективность микроволновой обработки глинистых композиций при подборе шихты в технологии керамики // Строительные материалы. 2015. №4. С. 60–64.

9. Женжурист И.А. Влияние поля СВЧ и высокодисперсных добавок на прочность цементного камня / Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016): сб. тезисов докладов Междунар. науч.-технич. конф. // Казанский гос. арх.-строит. ун-т. (Казань 25-27 окт. 2016г.), Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. С. 30–31.

10. Женжурист И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 36–40.

11. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат, 1982. 320 с.

12. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Наука, 1967. 360 с.

13. Анненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Физическая модель спекания и модифицирования ке-

рамики в высокочастотных и сверхвысокочастотных полях // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 30–34.

14. Морозов О., Каргин А., Савенко Г., Требух В., Воробьев И. Промышленное применение СВЧ нагрева // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 3. С. 110–113.

15. Волков В.В., Барабаш Д.Е., Лазукин В.В. Перспективы использования СВЧ-излучений при укладке полимермодифицированных асфальтобетонных смесей // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 55–57.

16. Шошин Е.А., Поляков А.В. Состав и структура гидросиликатов, получаемых механохимическим синтезом из портландцемента, модифицированного сахарозой // Вестник БГТУ им. Шухова. 2018. №1. С. 76–81.

Информация об авторах

Шошин Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий.

E-mail: shoshin234@mail.ru

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77.

Поступила в марте 2018 г.

© Шошин Е.А., 2018

E.A. Shoshin

OF MICROWAVE FOR TERMOLIZ APPLICATION OF THE MODIFIED PORTLANDCEMENT HYDRATION PRODUCTS

The structure and properties of the products of the intensified hydration of the portlandcement modified by sucrose with application of methods of x-ray diffraction, the differential thermal analysis and energy-dispersive X-ray spectroscopy are studied. Products of the intensified hydration represent mix amorphous silicate and mineral crystal of phases. Heat treatment of products of the intensified hydration is followed by destabilization of all hydrate phases and formation of the dispersion containing particles of wide range of the sizes including nanorange. The basic possibility of use of microwave radiation as heat source for a thermolysis of the hydrosilicates of cement modified by sucrose is considered. Some differences in results of a thermolysis of the modified hydrosilicates are revealed by the microwave radiation and thermal energy. Distinctions consist in morphology of the particles which are formed at a thermolysis and their element structure. When using as a source of heat of microwave radiation the structure of particles of dispersion is enriched with silicon.

Keywords: *modified cement hydrosilicates, structure, element structure, nanoparticles, thermolysis, microwave processing.*

REFERENCES

1. Shoshin E.A. The silicate filler received by method of a termoliz of the modified cement hydrosilicates. Stroitel'nye materialy, 2017, no. 7, pp. 16–19.

2. Shoshin E.A., Polyakov A.V., Burov A.M. About a possibility of synthesis of nanosilicates of calcium by method of a termoliz of the modified mixes flask-CaO, subjected to joint crushing in water presence. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 3, pp. 152–158.

3. Arkhangel'skiy Yu.S., Devyatkin I.I. Superhigh-frequency heating installations for an intensification of technological processes. Saratov: Izd-vo Saratovskogo universiteta, 1983, 140 p.

4. Filippov V.A., Filippov B.V. Perspective technologies of processing of materials superhigh-frequency electromagnetic oscillations. Bulletin of ChGPU named after I.Ya. Yakovleva, 2012, no. 4 (76), pp. 181–184.

5. Pushkarev O.I., Shumyacher V.M., Mal'ginova G.M. Microwave processing of powders of re-

fractory connections by the electromagnetic field microwave oven. Refractory materials and technical ceramics, 2005, no. 1, pp. 7–9.

6. Microwave technologies. A.V. Mamontov [etc.]. M.: NII PMT. 2008, 308 p.

7. Low-intensive microwave technologies (problems and realization). Under the editorship of G. A. Morozova i Yu. E. Sedel'nikova. M.: Radio-tehnika. 2003, 112 p.

8. Zhenzhurist I.A. Efficiency of microwave processing of clay compositions at selection of furnace charge in technology of ceramics. Stroitel'nye materialy, 2015, no. 4, pp. 60–64.

9. Zhenzhurist I.A. Influence of the field microwave oven and high-disperse additives on durability of a cement stone. Collection of theses of reports Mezhdunar. scientific and technical conference “High-strength cement concrete: technologies, designs, economy (VPB-2016)” (25-27 October 2016). Kazan, KGASU, 2016, pp. 30–31.

10. Zhenzhurist I.A. The perspective directions of nanomodifying in construction ceramics. Stroitel'nye materialy, 2014, no. 4, pp. 36–40.

11. Tareev B.M. Physics of dielectric materials. M.: Energoizdat. 1982, 320 p.

12. Geguzin Ya.E. Physics of agglomeration. M.: Nauka. 1967, 360 p.

13. Annenkov Yu.M., Ivashutenko A.S. Physical model of agglomeration and modifying of ceramics in high-frequency and superhigh-frequency fields. News of the Tomsk Polytechnic University, 2005, vol. 308, no. 7, pp. 30–34.

14. Morozov O., Kargin A., Savenko G., Trebukh V., Vorob'ev I. Industrial use of the microwave oven of heating. Electronics: Science, Technology, Business, 2010, no. 3, pp. 110–113.

15. Volkov V.V., Barabash D.E., Lazukin V.V. The prospects of use of microwave radiations when laying the polymermodifitsirovannykh of asphalt concrete mixes. Stroitel'nye materialy, 2009, no. 11, pp. 55–57.

16. Shoshin E.A., Polyakov A.V. Structure and structure of the hydrosilicates received by mechanochemical synthesis from the portlandtsement modified by sucrose. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 1, pp. 76–81.

Information about the author

Evgeny A. Shoshin, PhD, Assistant professor.

E-mail: shoshin234@mail.ru

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.
Russia, Saratov, st. Politekhnikeskaya 77, 410054.

Received in March 2018

Для цитирования:

Шошин Е.А. Применение микроволнового излучения для термолитиза модифицированных продуктов гидратации портландцемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 93–100. DOI: 10.12737/article_5b6d5865a1da21.80338973

For citation:

Shoshin E.A. Of microwave for termoliz application of the modified portlandtsement hydration products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 93–100. DOI: 10.12737/article_5b6d5865a1da21.80338973

DOI: 10.12737/article_5b6d586ca043d4.17885788

¹Кожухова Н.И., канд. техн. наук, доц.,¹Данакин Д.Н., аспирант,^{1,2}Кожухова М.И., PhD,¹Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.,¹Чепурных А.А., магистрант¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, США

рН-ПОКАЗАТЕЛЬ СРЕДЫ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ПЕН

Одним из основных этапов производства пенобетонных композитов, непосредственно оказывающих влияние на качество конечного ячеистого продукта, является формирование поровой структуры. В свою очередь, структура пены и ее устойчивость к воздействию внешних факторов, за частую, определяет поровый каркас композита.

В данной работе изучено влияние рН-показателя реакционной среды на формирование пены с использованием пенообразователей различной природы. Изучены особенности вариации параметров пены: стойкости и кратности, в зависимости от природы и концентрации пенообразователя в составе пеномассы. Установлено, что синтетический пенообразователь в высокощелочной среде, моделирующей рабочую реакционную среду геополлимерного вяжущего, не образует пеномассу (кратность равна 1) в сравнении с пеномассой, формируемой в нейтральной среде (кратность достигает 47). Выявлено, что при использовании белкового пенообразователя, пеномасса в обеих рабочих средах характеризуется одинаковой кратностью (кратность достигает 10). Установлена зависимость критической концентрации мицеллообразования, как основного показателя максимально возможной кратности пены, зависящего от типа пенообразователя и вида рабочей среды путем измерения поверхностного натяжения растворов. Для пенообразователя белкового типа выявлено, что критическая концентрация мицеллообразования в высокощелочной среде наступает при более низких концентрациях (3 %) по сравнению с нейтральной средой (4,5 %). Для синтетического пенообразователя Морпен критическая концентрация мицеллообразования достигает при концентрации пенообразователя от 6 и выше %.

Ключевые слова: высокощелочная среда, ПАВ различной природы, поверхностные явления пенообразования.

Введение. Ячеистые бетоны являются широко распространенным видом строительных материалов для ограждающих конструкций зданий благодаря своим выгодным теплофизическим характеристикам. Одними из наиболее востребованных на рынке потребителя являются газо- и пенобетонные композиты на основе портландцемента [1–4], что обусловлено их довольно высокими прочностными показателями в сочетании с низкой плотностью. На ряду с цементными системами активно ведутся исследования по разработке альтернативных видов бесцементных вяжущих, а также легковесных композитов на их основе [5–8].

Опираясь на имеющийся отечественный и зарубежный опыт, наиболее важным технологическим этапом, ответственным за качество конечного легковесного композита, является формирование ячеистого каркаса. Ранее проводились исследования, посвященные оптимизации поровой структуры в цементобетонных композитах автоклавного [3, 7] и неавтоклавного [9–12] твердения, а также в бесцементных композитах [13].

На сегодняшний день одним из перспективных видов вяжущих, способных по эксплуатационным характеристикам конкурировать с цементными аналогами, являются геополлимеры. Поэтому, получение ячеистых бетонов на их основе является перспективным. В тоже время, особенности эффективной поризации геополлимерных вяжущих практически не изучены.

Одной из отличительных особенностей твердения геополлимерных систем является высокощелочная среда, которая сохраняется длительное время в процессе всего периода твердения вяжущего. В связи с этим в рамках работы было изучено влияние щелочности реакционной среды на формирование пены для геополлимерных вяжущих систем.

Материалы и методы.

Материалы. В качестве порообразующего агента было использовано два типа пенообразователей: синтетический (Морпен) и белковый (Biofoam).

В рамках исследования в качестве рабочих сред для приготовления пен были использованы: водопроводная вода и водный раствор щелочи. В

качестве щелочного компонента был взят натр едкий NaOH, проявляющий наиболее высокую активирующую способность по отношению к кислым алюмосиликатам как основному сырью в геополимерных системах [14].

Методы. Основные характеристики пены: кратность и стойкость в различных реакционных средах определялись с использованием стандартных методик согласно ГОСТР 50588-93 [15].

В качестве индикатора устойчивости пены была принята длительность выделения 50 % жидкой фазы из пены. рН-значения пенообразователей и рабочих сред определяли с помощью рН-метра OYSTER-16 (Extech Instruments, США).

Значения поверхностного натяжения для растворов пенообразователей были измерены на приборе KRUSSDSA30.

Экспериментальная часть. В рамках исследования были подготовлены растворы с различной концентрацией пенообразователей с использованием пенообразующих агентов различной природы: синтетический – Морпен и белковый – Biofoam. В качестве щелочного раствора приготовления пены использовался 9 %-водный раствор NaOH, что соответствует концентрации щелочного компонента в ранее разработанных оптимальных составах геополимерного вяжущего [14, 16], а также водопроводная вода. В качестве контрольной среды была принята дистиллированная вода.

Экспериментальные растворы были взбиты в пены с последующим определением значений кратности и стойкости как основных параметров (рис. 1).

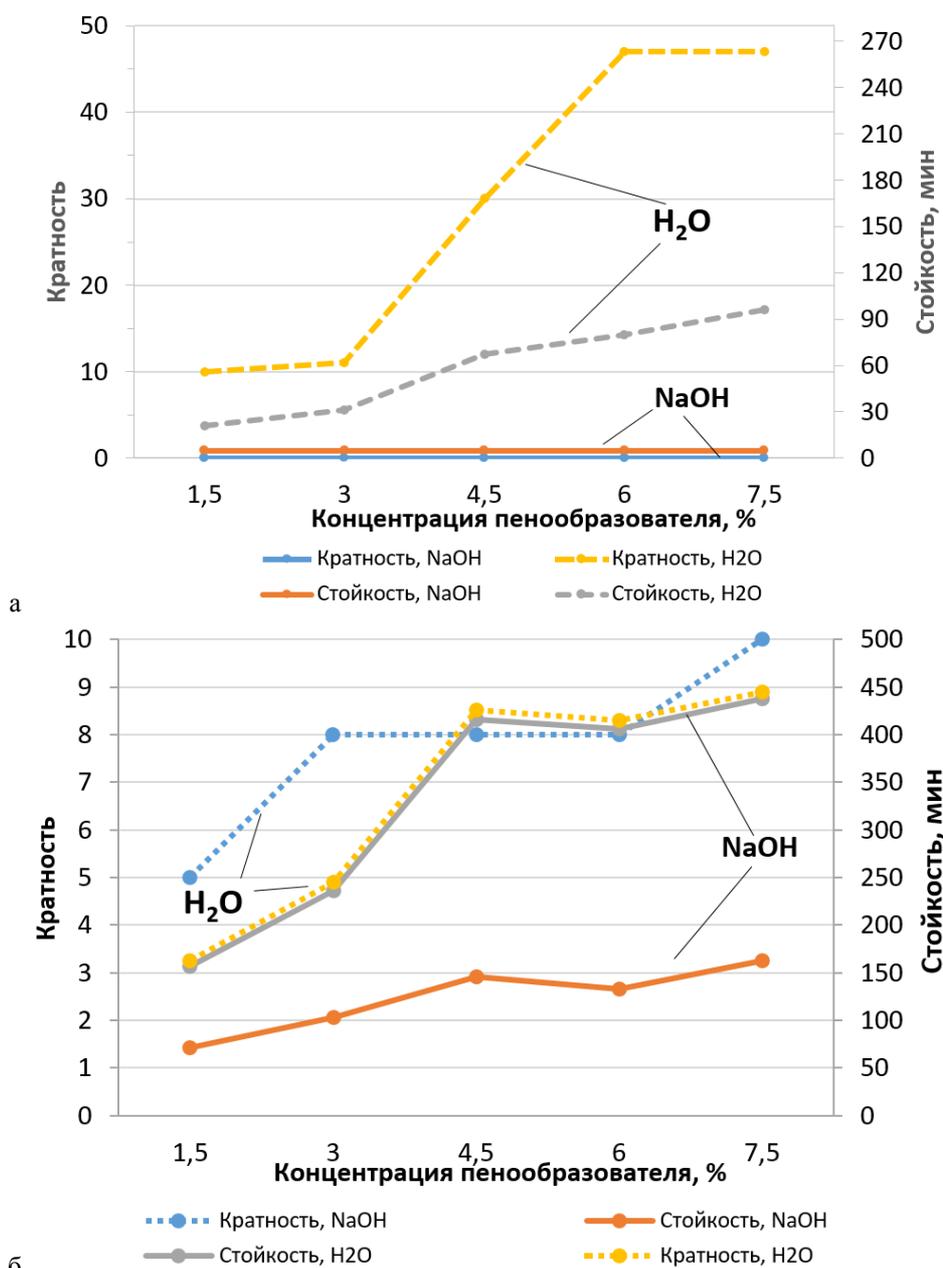
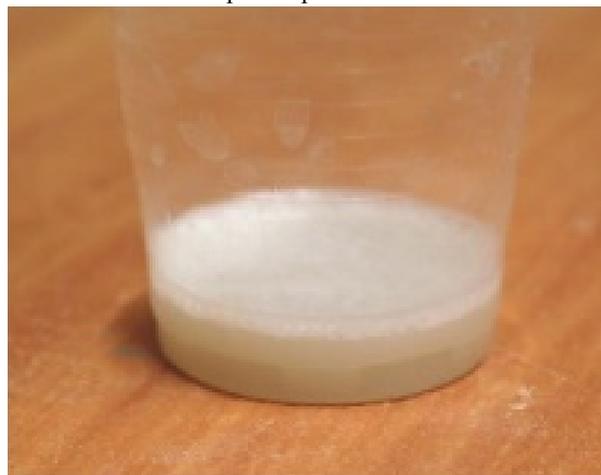


Рис. 1. Зависимость стойкости и кратности пены от типа и концентрации пенообразователя, а также щелочности рабочей среды: а) Морпен; б) Biofoam

Результаты эксперимента показали, что получение пены на основе пенообразователя Морпен кардинально зависят от особенностей рабочей среды, в которой она формируется. Так, пена, образующаяся в среде, близкой к нейтральной, которая типична для водопроводной воды, обладает средними показателями кратности и стойкости (рис. 1, а). В то же время, в высокощелочной среде (щелочной раствор NaOH), пена обеспечивает нулевые показатели по стойкости и кратности, т.е. она не взбивается независимо от концентрации пенообразователя (рис. 1, а, рис. 2, а).

H₂O

раствор NaOH



а

H₂O

раствор NaOH



б

Рис. 2. Внешний вид пен в зависимости от природы пенообразователя и вида рабочей среды:

а) Морпен; б) Biofoam

Согласно ранее проведенным исследованиям [9–11], подтверждена гипотеза о том, что одним из критических факторов формирования пены в той или иной рабочей среде является стерический эффект¹, который является следствием разницы рН-характеристик между пенообразующим агентом и рабочей средой. Поэтому основ-

ным условием получения эффективной пены является обеспечение минимальной разницы рН-показателей.

В связи с этим, опираясь на литературные данные в рамках исследования были измерены значения рН-характеристик экспериментальных растворов пенообразователей (табл. 1).

¹ Стерический эффект — влияние пространственного объёма молекулы на ход химической реакции.

Таблица 1

Значения рН-показателя растворов пенообразователей

Наименование пенообразователя	Концентрация, %						
	0	1,5	3	4,5	6	7,5	100 %
Рабочая среда: водопроводная вода							
Морпен	7,34	7,47	7,48	7,48	7,47	7,63	6,63
Biofoam	7,34	7,23	7,20	7,23	7,23	7,21	6,78
Рабочая среда: 9-% р-р NaOH							
Морпен	12,56						6,63
Biofoam	12,56	9,72	9,72	9,73	9,72	9,71	6,78
Рабочая среда: дистиллированная вода							
Морпен	7,97	7,93	7,91	7,86	7,84	7,84	6,63
Biofoam	7,97	7,24	7,26	7,24	7,22	7,23	6,78

Результаты проведенного эксперимента показали, что значения рН-характеристик дистиллированной и водопроводной воды сопоставимы и близки к нейтральным (рН=7,97 и 7,34, соответственно). Однако, дистиллированная вода характеризуется более высокой щелочностью. В свою очередь, рН-значения используемых пенообразователей незначительно смещены в кислотную область. В результате, небольшая разница между рН-показателями пенообразователей и этими рабочими средами объясняет отсутствие проявления стерического эффекта и, как следствие, формирование пены.

В случае использования щелочного раствора (рН=12,56) в качестве рабочей среды, разница рН-показателей с пенообразователем значительно больше. В данном случае в значительной степени проявляется стерический эффект. Однако, пенообразователи различной природы ведут себя по-разному. При использовании белкового пенообразователя образуется стойкая пена, что связано с эффектом омыления. По своему определению, омыление представляет собой гидролиз сложного эфира с образованием спирта и кислоты или её соли в растворе щелочи. Образующаяся кислота/соль, в свою очередь, характеризуется пенообразующими свойствами.

При взбивании синтетического пенообразователя в щелочном растворе пена не образуется (рис. 2, а). Вероятно, это вызвано тем, что в составе синтетического пенообразователя присутствуют электролиты, которые в процессе химической реакции основного компонента и щелочного раствора замещаются ионами Na^+ и высвобождаются в рабочую среду, резко снижая поверхностное натяжение ПАВ, что препятствует образованию пены.

Оценивая влияние щелочности рабочей среды на дозировку ПАВ в случае с белковым пенообразователем Biofoam, следует отметить, что повышение рН-показателя среды способствует смещению оптимальной концентрации пенообразователя в сторону больших значений с точки зрения кратности пены независимо от типа рабочей среды (рис. 1).

В тоже время, для пен на основе белкового ПАВ увеличение концентрации пенообразователя выше 4,5 % не приводит к дальнейшему повышению кратности пены, что может быть объяснено достижением системы критической концентрации мицеллообразования (ККМ).

ККМ следует понимать как минимальную концентрацию ПАВ в растворе, обеспечивающую полное насыщение данным веществом области на границе раздела фаз. В результате ПАВ переходит из молекулярного состояния в мицеллярное. Если концентрация ПАВ меньше ККМ, в растворах молекулы ПАВ существуют в состоянии отдельных молекул. В этом случае зависимость любого свойства раствора определяется в большей степени концентрацией молекул. При образовании мицелл в растворе его свойства будет претерпевать существенное изменение в связи с резким увеличением размера растворенных частиц.

В рамках данного исследования ККМ было определено на основании данных поверхностного натяжения растворов белкового пенообразователя Biofoam с различной его концентрацией в рабочей среде (рис. 3).

Результаты измерения поверхностного натяжения (рис. 3) показали, что ККМ для обоих рабочих сред наблюдаются при концентрации пенообразования от 4–4,5 % (участки выполаживания кривых), что подтверждает данные о кратности этих составов (рис. 1, б).

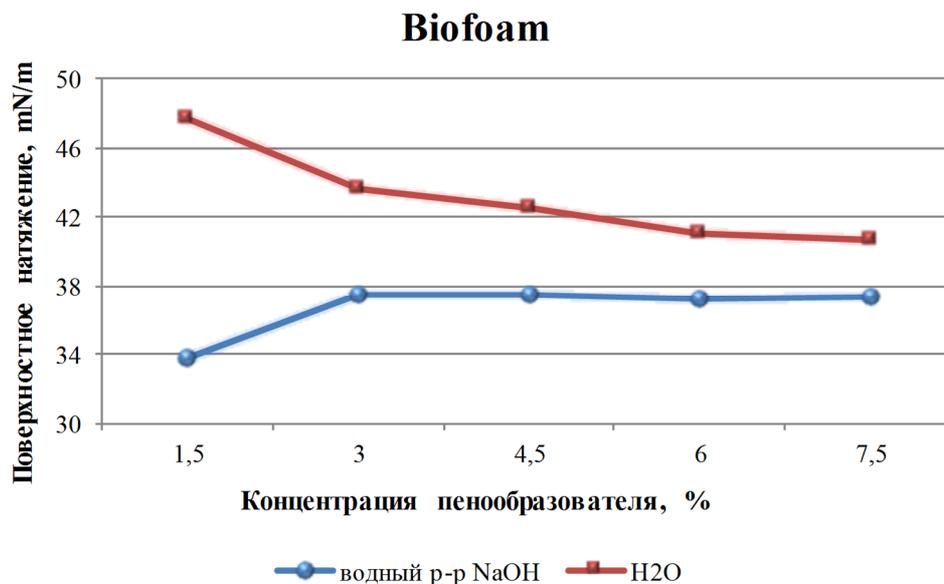


Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения от концентрации пенообразователя

Выводы. В рамках исследования установлена неэффективность использования синтетического пенообразователя Морпен в высокощелочной среде за счет наличия в его составе электролитов, которые в процессе химического взаимодействия компонентов раствора приводят к резкому снижению поверхностного натяжения ПАВ в рабочей среде.

Белковый пенообразователь Biofoam проявляет пенообразующие характеристики в нейтральной и высокощелочной среде с одинаковой степенью эффективности. Формирование пены белковым пенообразованием в высокощелочной среде связано с омылением белкового ПАВ.

Формирование пены средней и высокой кратности в нейтральной среде с использованием обоих типов пенообразователей связано с отсутствием значительной разницы между рН-показателями пенообразователя и рабочей среды, что обеспечивает отсутствие стерического эффекта.

Установлено, что оптимальное содержание белкового пенообразователя Biofoam в разных средах обеспечивается при разных концентрациях, что связано с проявлением эффекта ККМ. Так, ККМ в высокощелочной среде наступает при более низких концентрациях (3 %) по сравнению с нейтральной средой (4,5 %).

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова; Стипендия Президента РФ на 2018–2020 гг., с использованием оборудования на базе Центра Высочайших Технологий, БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесниченко Е.Н., Когут Е.В., Ермолаева А.Э., Елистраткин М.Ю. О перспективах использования ячеистых бетонов в 3D аддитивных технологиях // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 125–130.
2. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Жерновский И.В. Особенности получения геополимерного газобетона на основе золы-уноса Новотроицкой ТЭЦ // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 113–117.
3. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozukhova N.I. Application of natural aluminosilicates in autoclave cellular concrete // World Applied Sciences Journal. 2013. № 25 (1). P. 347–354
4. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В. Применение композиционных вяжущих в технологии ячеистого бетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 10–16.
5. Череватова А.В., Алехин Д.А., Бурьянов А.Ф., Жерновский И.В., Кожухова Н.И. Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 12–16.
6. Nelubova V., Strokova V., Cherevatova A., Altynnik N., Sobolev K. Autoclaved composites with nanostructured silica additive // Journal of the Society for American Music. 2014. T. 1611. № 2

7. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier // *Key Engineering Materials*. 2017. Т. 729. С. 99–103.

8. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н. Особенности стабилизации пеномассы в ячеистых щелоча-активированных системах // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2017. № 1 (8). С. 89–93.

9. Щербин С.А., Горбач П.С., Щербина Н.А. Выбор типа и концентрации пенообразователя при производстве пенобетона. Часть 3 // Вестник АГТА. 2013. № 7. С. 45–47.

10. Горбач П. С., Щербин С. А. Влияние пенообразователя на свойства пены и пенобетона // Вестник ТГАСУ № 5. 2014. С. 126–132

11. Горбач П. С., Щербин С. А. Научно обоснованный выбор пенообразователя и его концентрации // Вестник ТГАСУ. № 4. 2012. С. 191–199.

12. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н. Стабилизирующая добавка как способ оптимизации поровой структуры легковесных композитов на основе геополимерного вяжущего // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 33–35.

13. Кожухова Н.И., Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсо-кремнеземных вяжущих // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 65–69.

14. Julia Shekhovtsova, Igor Zhernovsky, Maxim Kovtun, Natalia Kozhukhova, Irina Zhernovskaya, Elsabe P Kearsley Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements - a step towards sustainable building material and waste utilization // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 178. Pp. 22–33.

15. ГОСТР 50588-93 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2012.

16. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Соболев К.Г. Влияние различий рентгеноаморфной фазы в составе низкокальциевых алюмосиликатов на прочностные характеристики геополимерных систем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 4–12.

Информация об авторах

Кожухова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: kozhuhova.ni@bstu.ru; kozhuhovanata@yandex.ru

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

Данакин Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

E-mail: danakin93@mail.ru

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

Кожухова Марина Ивановна, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук.

E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru

Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин

P.O. Box 413, Милуоки, WI 53201, США

Инженер кафедры материаловедения и технологии материалов

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

Алфимова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: alfimova.ni@bstu.ru; alfimova.ni@mail.ru

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

Чепурных Алина Александровна, магистрант.

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

Поступила в мае 2018 г.

© Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И., Чепурных А.А., 2018

N.I. Kozhukhova, D.N. Danakin, M.I. Kozhukhova, N.I. Alfimova, A.A. Chepurnykh
pH-VALUE OF REACTION MEDIUM AS A FACTOR OF FOAM STRUCTURE FORMATION

One of the basic stage when production of foam concrete, directly effecting on quality of final cellular product is formation of cellular structure. At the same time, such characteristics of foam as structure and environmental stability are depend of framework of cellular composite.

In this paper the effect of pH-value of reaction medium on foam formation using different types of surfactants was studied. The effect of type of surfactant and its concentration on such parameters of relevant foam as foam expansion ratio and foam stability was determined. When reaction between synthetic surfactant and high-alkali medium, that simulates a reaction geopolymeric medium, the foam is not formed (foam expansion ratio was 1) vs. reaction between synthetic surfactant and water medium, where foam expansion ratio is up to 47. Protein surfactant makes a foam in both media: high-alkali and water with foam expansion ratio up to 10.

The relationship between the critical micelle concentration as a major parameter of the max foam expansion ratio and such parameters as type of surfactant and pH-value of reaction medium was studied by measurement of surface-tension energy of the foams. Critical micelle concentration for protein based foam in high-alkali medium was achieved at lower concentration (3 %) vs. protein based foam in water medium (4,5 %). For synthetic based foam the critical micelle concentration was observed at 6 % and higher.

Keywords: high-alkali medium, different types of surfactants, surface effects of foam formation.

REFERENCES

1. Lesnichenko E.N., Kogut E.V., Ermolaeva A.E., Elistratkin M.Yu. On prospective od cellular concrete using in 3D additive technologies. Proceeding of Int. research to practice conference «Science and innovations in construction». Belgorod: BSTU named after V.G. Shoukhov, 2017, pp. 125–130.
2. Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Zhernovsky I.V. Features of Producing Geopolymeric Gas Concrete on the Basis of Fly Ash of Novotroitskaya TPS. *Stroitel'nye Materialy*, 2017, no. 1–2, pp. 113–117.
3. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozukhova N.I. Application of natural aluminosilicates in autoclave cellular concrete. *World Applied Sciences Journal*, 2013, no. 25 (1), pp. 347–354
4. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Use of polydisperse composite binder in technology of aerated concrete. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 2, pp. 10–16.
5. Cherevatova A.V., Alekhin D.A., Bur'yanov I.V., Zhernovsky I.V., Kozhukhova N.I. Features of Complex Structure Formation in Composite Gypsum-Silica Binder. *Stroitel'nye Materialy*, 2016, no. 11, pp. 12–16.
6. Nelubova V., Strokova V., Cherevatova A., Altynnik N., Sobolev K. Autoclaved composites with nanostructured silica additive. *Journal of the Society for American Music*, 2014, vol. 1611, no. 2.
7. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier. *Key Engineering Materials*, 2017, vol. 729, pp. 99–103.
8. Kozhukhova N.I., Danakin D.N. Features of foam in cellular alkali-activated systems. *Resource and energy effective technologies in regional construction complex*, 2017, no. 1 (8), pp. 89–93.
9. Shcherbin S.A., Gorbach P.S., Shcherbina N.A. Choosing of type and concentration of foam agent when foam concrete production. Part 3. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2013, no. 7, pp. 45–47.
10. Shcherbin S.A., Gorbach P.S., The effect of frothers on foam and foam concrete properties. *Vestnik of TSUAB*, 2014, no. 5, pp. 126–132.
11. Gorbach P.S., Shcherbin S.A., Scientifically reasonable choice of foaming agent and its concentration. *Vestnik of TSUAB*, 2012, no. 4, pp. 191–199.
12. Kozhukhova N.I., Danakin D.N. A Stabilizing Additive as a Method for Optimization of Porous Structure of Lightweight Composites on the Basis of Geopolymeric Binder. *Stroitel'nye Materialy*, 2017, no. 5, pp. 33–35.
13. Kozhukhova N.I., Voitovich E.V., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Alekhin D.A. Heat-Resistant Cellular Materials on the Basis of Composite Gypsum-Silica Binders. *Stroitel'nye Materialy*, 2015, no. 6, pp. 65–69.
14. Julia Shekhovtsova, Igor Zhernovsky, Maxim Kovtun, Natalia Kozhukhova, Irina Zhernovskaya, Elsabe P Kearsley Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements - a step towards sustainable building material and waste utilization. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 178, pp. 22–33.
15. GOSTR 50588-93 Foaming agents for fire extinguishing. General technical requirements and test methods. Moscow: Standaryinform, 2012.
16. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Sobolev K.G. Effect of variations in vitreous phase of low-calcium aluminosilicates on strength properties of geopolymer systems. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 4, pp. 4–12.

Information about the author

Natalia I. Kozhukhova, PhD, Assistant professor.

E-mail: kozhuhova.ni@bstu.ru; kozhuhovanata@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Dmitry N. Danakin, Postgraduate student.

E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Marina I. Kozhukhova, PhD, Post-Doctoral Associate.

E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru

University of Wisconsin-Milwaukee.

3200 N Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Natalia I. Alfimova, PhD, Assistant professor.

E-mail: alfimovan@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Alina A. Chepurnykh, Master student

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

Received in May 2018

Для цитирования:

Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И., Чепурных А.А. pH-показатель среды как фактор формирования поровой структуры пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 101–108. DOI: 10.12737/article_5b6d586ca043d4.17885788

For citation:

Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Kozhukhova M.I., Alfimova N.I., Chepurnykh A.A. pH-value of reaction medium as a factor of foam structure formation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 101–108. DOI: 10.12737/article_5b6d586ca043d4.17885788

DOI: 10.12737/article_5b6d586da74f79.11389696

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПОКОВИДНОГО МЕРГЕЛЯ И ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В последние годы наряду с изделиями из штучного пенобетона приобрел широкую известность монолитный пенобетон. Свойства, которыми обладает монолитный пенобетон обеспечивает зданиям и сооружениям необходимую огнестойкость, негорючесть, прочность, способность сохранять тепло, морозостойкость значительно позволили расширить его использование в таких сферах, как: перекрытие чердачных конструкций; теплоизоляция трубопроводов и других сооружений; каркасное домостроение; монолитные пенобетонные стяжки полов; дорожное строительство; строительство малоэтажных домов; стяжки перекрытий; звукоизоляция стены и пола и проч. Особую положительную значимость монолитный пенобетон получил в условиях строительства Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. Проведенные исследования показали высокую эффективность использования пенобетона, полученного на основе сухих пенобетонных смесей, приготовленных на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля.

Ключевые слова: пенобетон, сухая пенобетонная смесь, композиционное вяжущее, опоковидный мергель, физико-механические и теплотехнические свойства.

Введение. В соответствии с современными требованиями по тепловой защите зданий и сооружений необходимо создать эффективный теплозащитный материал с высокими технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Особое внимание к этой проблеме уделяется при строительстве в условиях Сибири и Крайнего Севера. Кроме создания самого теплоизоляционного материала важно решение проблемы разработки наиболее эффективной технологии укладки материала с целью обеспечения требуемой теплозащиты строительного объекта 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 снизить потребление энергоресурсов [2–13].

Методология. Методология базируется на обобщении, эксперименте, сравнении, методах

математического и компьютерного моделирования. При проведении и обработке исследований соблюдались требования нормативных документов.

Композиционное вяжущее с использованием опоковидного мергеля для сухих пенобетонных смесей для монолитного строительства было получено в результате совместного помола портландцемента, опоковидного мергеля и суперпластификатора.

Основная часть. Обладая рядом преимуществ, пенобетон является экологически чистым материалом, так как в своем составе не содержит химически вредных веществ, стены из пенобетона легко обрабатываются и не требуют особых отделок, устойчиво к влаге, звукопоглощение зданий и сооружений соответствует требованиям действующих нормативных документов. Дома из монолитного пенобетона занимают второе место после деревянных, которые считаются эталоном экологичности.

Наряду с достоинствами монолитный пенобетон имеет следующие недостатки: ограничивается толщина заливаемого слоя; на качество материала влияет соблюдение пропорций приготовления бетонного раствора; поверхность после застывания нуждается в защите дополнительным слоем; технология приготовления раствора требует специальной техники с дозаторами, чтобы не допустить отклонений в пропорциях ингредиентов; пенобетонные плиты нуждаются в несущих каркасах из-за низкой плотности материала.

В настоящее время технология монолитного строительства является прогрессивной технологией и имеет следующие преимущества (рис 1):



Рис. 1. Преимущества технологии возведения монолитных зданий

Использование метода монолитного строительства дает возможность создавать различные архитектурные решения строительным объектам на незначительных площадях, что отвечает требованиям застройки освоенных территорий. Монолитное строительство характеризуется высокими показателями, прежде всего быстрыми сроками возведения зданий, реализации прогрессивных архитектурно – технических решений зданий и сооружений, а также возможностью создания конструкций разнообразных форм и размеров при отсутствии швов, что предотвращает наличие мостиков холода [14–17]. Монолитные конструкции характеризуются более высокой прочностью в сравнении с кирпичными и блочными и требуют меньших затрат строительных материалов. При монолитном строительстве весь подготовительный производственный цикл приготовления пенобетонной смеси переносится непосредственно на строительную площадку. Доставка и использование сухих пенобетонных смесей непосредственно на строительном объекте весьма эффективны, а в условиях Крайнего Севера эффективность их возрастает во много раз.

В связи с поставленной целью было исследовано влияние композиционных вяжущих, приготовленных с использованием опоковидного мергеля в составах сухих пенобетонных смесей, предназначенных для монолитного строительства

Прочность бетонов определяется его структурой, то есть числом контактов гидратных новообразований, степенью их закристаллизованности, морфологией и прочностью. Коренное изменение структуры бетонов на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля обеспечивает рост прочности образцов во времени подобно портландцементным при твердении не только на воздухе, но и в воде.

Особенности использования пенобетонов на основе композиционных вяжущих с применением опоковидного мергеля (в сравнении с пенобетонами на портландцементе) определяются следующими технологическими факторами: количеством и видом портландцемента и активных минеральных добавок в составе многокомпонентных вяжущих, которые изменяют плотность композиционных и при получении равнопрочных пенобетонов на их основе увеличивают абсолютный объем пасты в единице объема бетона примерно на 6–12 %.

Проектирование состава пенобетонов на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля, близких по структуре и свойствам к обычным бетонам, выполняли по методикам, принятым для пенобетонов на портландцементе, с учетом особенностей композиционного вяжущего: скорости схватывания и твердения, активности и водопотребности смеси.

Использование модифицирующих добавок определенного типа и в оптимальном количестве позволяет направленно регулировать процессы структурообразования и получать пенобетоны с требуемыми свойствами. В настоящей работе подобраны составы пенобетонов, приготовленных на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля и суперпластификатора SikaPlast 2135 (0,3–0,5 % от массы вяжущего) и исследованы их свойства – водопотребность, подвижность, предел прочности на сжатие в различные сроки твердения (табл. 1).

Важным эксплуатационным свойством пенобетонов является морозостойкость пенобетона. Исходя из теории механизма морозного разрушения, морозостойкость пенобетона определяется структурой цементного камня и характером порового пространства. Испытания пенобетона на морозостойкость проводили на кубах

100×100×100 мм по методу попеременного замораживания и оттаивания образцов в лабораторной морозильной камере при температуре -18 °С±2. Результаты испытаний пенобетона на морозостойкость представлены в таблице 2.

Из полученных результатов видно, что на показатели морозостойкости влияние оказывает суперпластификатор SikaPlast 2135. Увеличение морозостойкости пенобетонов с добавкой СП SikaPlast 2135 – 0,3 % при сокращении водопотребности (в 1,8 раз), можно объяснить уплотнением структуры цементного камня, а также уменьшением капиллярной пористости. Таким образом, введение суперпластификатора SikaPlast 2135 в количестве 0,3–0,5 % от массы композиционного вяжущего, с использованием опоковидного мергеля позволило снизить водопотребность, в 2 раза повысить прочность бетона через 1 сутки и в 1,7 раз – в возрасте 28 суток, повысить водостойкость ($K_p=0,7$), морозостойкость (до F50) и получить пенобетон для монолитного строительства классов по прочности на сжатие B15.

Таблица 1

Влияние водовяжущего отношения композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля на их свойства

№ п/п	В/В _{вяж}	Расп-пльв, м	R _{сж} , МПа, сутки		
			7	14	28
1	0,50	0,145	1,41	1,80	2,15
2	0,52	0,155	1,31	1,67	2,01
3	0,54	0,164	1,27	1,48	1,93
4	0,56	0,172	1,19	1,57	1,82
5	0,58	0,176	1,05	1,41	1,73
6	0,54	0,115	1,00	1,49	1,62
7	0,56	0,120	1,05	1,30	1,49
8	0,57	0,130	0,97	1,26	1,41
9	0,60	0,140	0,91	1,23	1,37
10	0,63	0,153	0,87	1,19	1,29
11	0,75	0,165	0,8	1,08	1,16
12	0,79	0,176	0,75	0,97	1,01
13	0,83	0,180	0,69	0,91	1,04
14	0,86	0,195	0,63	0,85	1,02
15	0,90	0,200	0,54	0,80	0,82

Таблица 2

Влияние СП SikaPlast 2135 на свойства пенобетонов

№ п/п	В/В	SikaPlast 2135, %	Распльв, м	Прочность на сжатие МПа, на 28сутки	Средняя плотность, (28 сут), кг/м ³	K _p	F, кол-во циклов
1	0,56	-	0,120	1,42	526	0,64	15
2	0,31	0,3	0,150	2,79	483	0,70	20
3	0,31	0,5	0,180	2,53	530	0,68	25

В работе определены реологические характеристики пенобетонных смесей при содержании опоковидного мергеля в смеси 10 % (рис. 2).

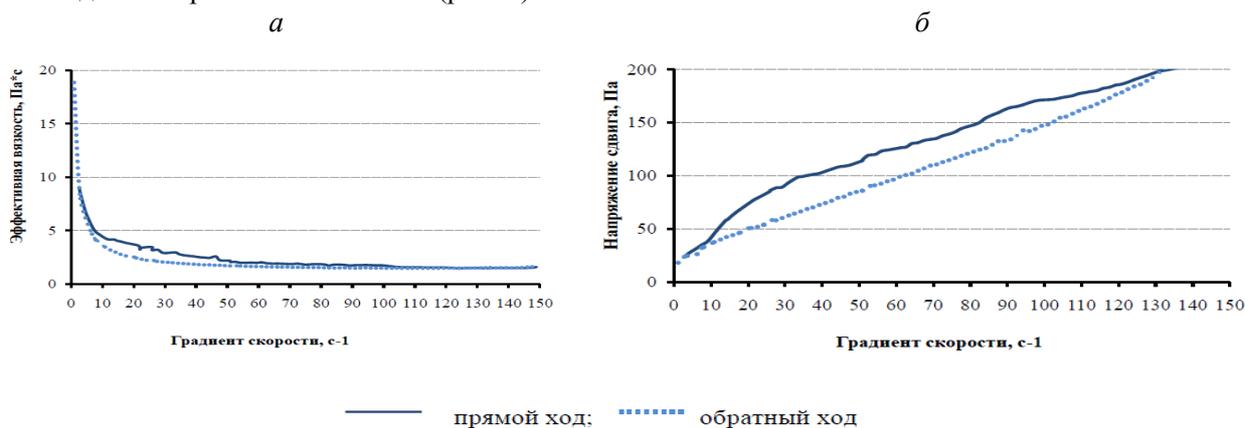


Рис. 2. Реограммы пенобетонной смеси с СП SikaPlast 2135 0,5 %, с содержанием опоковидного мергеля в смеси 10 %

a – зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига; *б* – зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига

В результате проведенных испытаний было установлено, что увеличение дозировки супер-

пластификатора SikaPlast 2135 до 0,5 % не снижает предел текучести до нуля. Он сохраняется на уровне 22,85 Па. Реограммы имеют характер,

свойственный тиксотропным вязко-пластичным телам. Для улучшения структурно-механических свойств пенобетонов на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля необходимо увеличить дозировки суперпластификатора SikaPlast 2135.

Физико-механические свойства образцов пенобетонов на основе композиционных вяжущих

с использованием опоковидного мергеля свидетельствуют о стабильности сформированной структуры, что подтверждается поэлементным химическим анализом стенок пор (табл. 3), и электронной микроскопией (рис. 3), проведенным на растровом электронном микроскопе TeckanMIRA 3.

Таблица 3

Состав продуктов гидратации в точках микрондирования

Название спектра	Содержание элементов, масс % в точках микрондирования										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
Спектр 1	6.52	50.94				41.85			0.68		
Спектр 2	6.30	40.02		1.17	6.79	13.65	1.43	1.20	4.95	0.72	23.74
Спектр 3	6.85	32.65			0.33	2.56	0.92		4.25	0.72	23.74
Спектр 4	6.20	53.76			0.28	0.86	16.34		22.22		0.35
Спектр 5	4.07	52.38					18.05		25.49		
Спектр 6	5.54	62.10					14.67		17.69		
Спектр 7	5.25	47.45	0.42	1.36	9.47	24.12	0.22	2.14	2.23	0.46	6.87
Спектр 8	9.39	51.86				2.41	13.77		22.57		
Спектр 9	7.93	50.58		0.82	5.86	15.75	1,83	0.87	7.95	0.71	7.70
Спектр 10	12.23	50.30	0.22	0.19	1.91	5.02	0.48	0.35	28.51		0.78
Спектр 11	5.73	52.91	0.30	0.77	7.03	25.09	0.91	1.00	3.36	0.23	2.66
Спектр 12	4.38	54.85	0.23	0.45	4.51	32.69		0.94	0.54		1.41
Спектр 13	7.96	53.02	0.20	0.59	3.69	10.06	1.86	0.67	19.88		2.06
Спектр 14	11.25	54.57	0.24		1.33	4.75	0.74	0.32	26.40		0.40
Спектр 15	8.76	51.50	0.46	0.88	9.30	20.09		1.80	2.42		4.79
Спектр 16	12.50	50.71	0.22	0.35	2.73	5.13	0.18	0.42	26.64		1.13
Спектр 17	6.74	58.80				32.74	0.45		0.87		0.40
Спектр 18	6.73	40.84		0.89	4.40	9.93	0.38	0.40	1.38		35.06
Спектр 19	6.91	50.58	0.44	1.16	9.54	18.78	1.42	1.77	4.19	0.23	4.98
Спектр 20	6.84	49.03	0.35	0.99	6.53	17.43	1.08	1.15	11.38	0.33	4.89
Спектр 21	10.74	51.10	0.43	0.88	7.63	20.57	0.21	1.41	2.72	0.30	3.99
Спектр 22	16.95	52.36	0.19	0.17	1.75	3.80	0.28	0.33	23.41		0.76
Спектр 23	9.47	52.91	0.42	1.27	9.68	16.70	0.21	1.54	2.15	0.78	4.85
Спектр 24	10.82	55.47		0.18	0.34	12.25	4.11		16.22		0.62
Спектр 25	5.46	56.28				0.26	16.87		21.12		
Спектр 26	4.40	52.38				0.20	18.81		24.21		
Спектр 27	7.14	52.63		0.52	2.69	32.45		0.44	1.57		2.56
Спектр 28	3.31	48.19		1.64	11.45	25.63		2.92	1.19		5.65
Спектр 29	10.57	48.88				7.74	12.43		20.37		
Спектр 30	14.53	56.02				6.79	3.66		19.00		

Таким образом, на основе разработанного композиционного вяжущего подобраны составы эффективных пенобетонов класса по прочности на сжатие в возрасте 28 сут – В5–В12,5, с Кр=0,70 и морозостойкостью F35–F50.

Результаты физико-механических показателей пенобетонов, приготовленных с использованием композиционного вяжущего приведены в таблице 4.

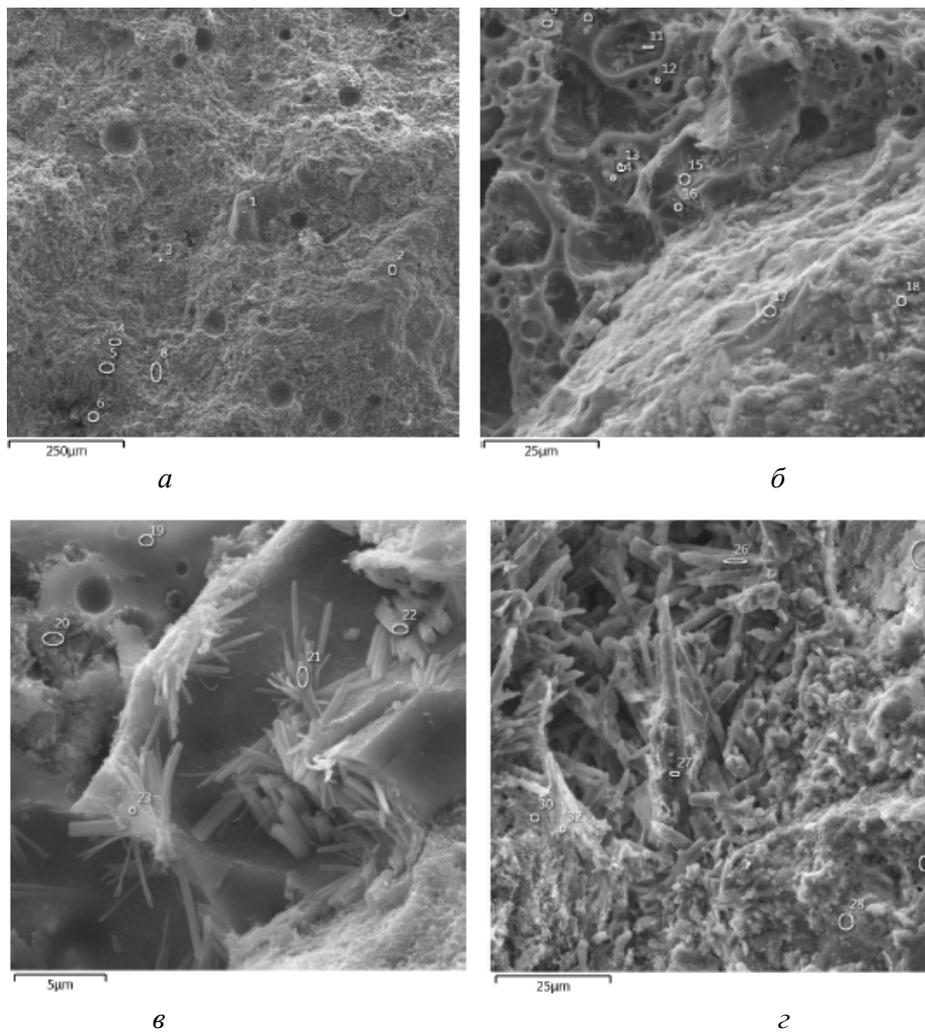


Рис. 3. Микроструктура образца пенобетона на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля, подвергшемся атмосферным воздействиям на открытом стенде в течение 3 лет:
 а) спектры 1–8; б) спектры 9–18; в) спектры 19–23; г) спектры 25–32

Таблица 4

Физико-механические свойства пенобетонов, приготовленных на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля

Функциональное назначение	Наименование показателей и ед. измерения							
	Марка бетона по средней плотности	Класс бетона по прочности (В)	Средняя прочность бетона	Коэффициент теплопроводности Вт/м·°С	Морозостойкость	Коэффициент паропроницаемости, мг/м.ч. Па	Усадка, %	Водопоглощение, %
На белгородском цементе								
Теплоизоляционный	D400	B0,75	1,06	0,10	не норм.	0,23	не норм.	не норм.
	D500	B1	1,42	0,12	не норм.	0,20	не норм.	не норм.
Конструктивно-теплоизоляционный	D600	B2	2,84	0,14	F15- F35	0,17	0,03	8,5
	D700	B2	2,84	0,18	F15- F50	0,15	0,03	8,5
	D800	B3,5	4,5	0,21	F15- F75	0,14	0,03	8,5
на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля								
Теплоизоляционный	D400	B1	1,48	0,085	F15	0,22	нет	не норм.
	D500	B2	2,79	0,097	F25	0,19	нет	не норм.
Конструктивно-теплоизоляционный	D600	B2,5	3,25	0,11	F35	0,16	нет	7,6
	D700	B3,5	4,73	0,14	F35	0,13	0,02	7,3
	D800	B3,5	5,85	0,16	F50	0,12	0,02	6,9

Таким образом, с учетом вышеизложенного, выявлены и обоснованы закономерности, позволяющие проектировать пенобетоны на основе композиционных вяжущих с использованием опоковидного мергеля. Установлено влияние опоковидного мергеля в составе композиционного вяжущего в управлении процессами структурообразования композита.

Использование композиционных вяжущих в составах пенобетонных смесей для производства стеновых камней и блоков позволяет получить композиты с направленным структурообразованием, со структурой, позволяющей получить изделия с высокой прочностью, надежностью, долговечностью, что позволяет рекомендовать их для использования в монолитном строительстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2302–2003. Тепловая защита зданий. Нормы проектирования. М.: ГУЩПП, 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. Сумской Д.А., Золотых С.В., Канева Е.В. Получение вяжущих композиций для теплоизоляционных растворов в вихревой струйной мельнице // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 25–35.
6. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Воронов В.В., Чулкова И.Л., Куприна А.А., Павленко О.А. Особенности твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 32–36.
7. Сумской Д.А., Загороднюк Л.Х., Павленко О.А., Дмитриев Ю.А. К вопросу создания эффективных теплоизоляционных строительных материалов // Материалы Первой Международной online конференции к 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук Лесовика В.С. 2016. Т.3. С. 125–133.
8. Zagorodnyuk L.H, Kuprina A.A., Elistratkin M.Y. Anisotropy of materials properties of natural and man-triggered origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9(11). Pp. 816–819.
9. Shapovalov N.A., Zagorodnyuk L.H., Shchekina A.Y. Enriched waste products of neon-ferrous oxidised quartzites- a mineral cement mixtures storage / accumulator // World Applied Sciences Journal. 2013. 25(3). Pp. 529–535.
10. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Andrey V.S., Denis A.B., Anna A.K. Creating effective insulation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 24(11). Pp. 1496–1502.
11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk, L.H, Chulkova I.L., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works // Research Journal of Applied Sciences, 2014. Vol. 9 (12). Pp. 1100–1105.
12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч.2. С. 267–271.
13. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы, 2014. №7. С. 82–85.
14. Сахаров Г.П., Скориков Е.П. Неавтоклавный энергоэффективный поробетон естественного твердения // Известия вузов. Строительство. 2005. № 7. С. 49–54.
15. Lagoaz A., Szymanski P., Walczak P. Influence of the fly ash propepti of autoclaved aeated 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.
16. Гусев Б.В., Куликов В.Г. Обоснование строения внутреннего капиллярно-порового пространства пенокомпозитов структурой пены ПАВ // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 21.
17. 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 кафедры 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 мае 2018 г.

© Глаголев Е.С., Воронов В.В., 2018

E.S. Glagolev, V.V. Voronov

**COMPOSITE BONDING WITH THE USE OF THE OVERCAPE MERGEL
AND FOAM CONCRETE MIXTURES FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION**

In recent years, along with products from piece foam monolithic foam concrete has become widely known. Properties that have a monolithic foam concrete provides the buildings and structures with the necessary fire resistance, incombustibility, strength, ability to preserve heat, frost resistance significantly allowed to expand its use in such areas as: overlapping attic structures; heat insulation of pipelines and other structures; frame house building; monolithic foam concrete screeds; road construction; construction of low-rise buildings; floor screeds; soundproofing of walls and floors and so on. The monolithic foam concrete received special positive significance in the conditions of the construction of Siberia, the Far North and the Far East. The carried out researches have shown high efficiency of use of foam concrete, received on the basis of dry foam-concrete mixes, prepared on the basis of composite astringents using molding viewed marl.

Keywords: *foam concrete, dry foam-concrete mixture, composite astringent, molding viewed marl, physical-mechanical and thermo-technical properties.*

REFERENCES

1. SNiP 2302-2003. Thermal protection of buildings. Design standards. Moscow: GUPCUP, 2003, 31 p.
2. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics). Examples of implementation in building materials science: monograph (2 nd ed.). Belgorod: Publishing house of BSTU, 2016, 287 p.
3. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics) as a transdisciplinary research area. 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 the DIA, 2008, 200 p.
5. Sumskaya D.A., Zolotykh S.V., Kaneva E.V. Obtaining knitting compositions for heat-insulating solutions in a vortex jet mill. Bulletin of BSTU V.G. Shukhov, 2017, no. 2, pp. 25–35.
6. Zagorodnyuk L.X., Lesovik V.S., Voronov V.V., Chulkova I.L., Kuprina A.A., Pavlenko O.A. Features of hardening mortars on the basis of dry mixtures. Bulletin of BSTU. V.G. Shukhov, 2016, no. 10, pp. 32–36.
7. Sumskaya D.A., Zagorodnyuk L.Kh., Pavlenko O.A., Dmitriev Yu.A. To the issue of creating effective heat-insulating building materials. Proceedings of the First International on-line conference dedicated to the 70th anniversary of Honored Scientist of the Russian Federation, Corresponding Member of RAASN, Doctor of Technical Sciences Lesovik V.S., 2016, vol. 3, pp. 125–133.
8. Zagorodnyuk L.H., Kuprina A.A., Elistratkin M.Y. Anisotropy of materials properties of natural and man-triggered origin. Research Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 9 (11), pp. 816–819.
9. Shapovalov N.A., Zagorodnyuk L.H., Shchekina A.Y. Enriched waste products of non-ferrous oxidized quartzites-a mineral cement mixtures storage / accumulator. World Applied Sciences Journal, 2013, vol. 25 (3), pp. 529–535.
10. Lesovik V.S., Zagorodnyuk, L.H. Andrey, V.S., Denis, A.B., Anna, A.K. Creating effective isolation solutions, taking into account the law of affinity structures in construction materials. World Applied Sciences Journal, 2013, vol. 24 (11), pp. 1496–1502.
11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk, L.H., Chulkova I.L., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works, Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 9 (12), pp. 1100–1105.
12. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. Law of the affinity of structures in materials science. Fundamental Research, 2014, no. 3, part 2, pp. 267–271.
13. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Belikov D.A., Shchekina A.Yu., Kuprin A.A. Effective dry mixes for repair and restoration works. Building Materials, 2014, no. 7, pp. 82–85.
14. Sakharov G.P. Non-autoclave energy-efficient concrete of natural hardening. Izvestiya Vuzov. Building, 2005, no. 7, pp. 49–54.

15. Lagoaz A., Szymanski P., P. Walczak Influence of the phytomedicine of autoclaved azeated concrete. 5 International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable future" to Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland. 14-17 September, 2011. University of Technology and Life Sciences.

16. Gusev B.V., Kulikov V.G. Substantiation of the structure of the internal capillary-pore space of foam composites by the structure of SAW foam. *Stroitel'nye materialy*, 2009, no. 8, pp. 21.

17. Morgun, V.N. Influence of the shape of the components on the intensity of interparticle interactions in foam concrete mixes. *Stroitel'nye materialy*, 2007, no. 4, pp. 29–31.

Information about the author

Evgeniy S. Glagolev, PhD, Assistant Professor.
Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova Str. 46.

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

Received in March 2018

Для цитирования:

Глаголев Е.С., Воронов В.В. Композиционное вяжущее с использованием опоковидного мергеля и пенобетонных смесей для монолитного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 109–116. DOI: 10.12737/article_5b6d586da74f79.11389696

For citation:

Glagolev E.S., Voronov V.V. Composite bonding with the use of the overcape mergel and foam concrete mixtures for monolithic construction. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 8, pp. 109–116. DOI: 10.12737/article_5b6d586da74f79.11389696

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5b6d586e6ed9b2.54424779

¹Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,¹Фадин Ю.М., д-р техн. наук, проф.,¹Донцова Ю.А., студент,¹Богданов Н.Э., магистрант,²Фёт Ш.К., д-р техн. наук, проф.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Технический университет им. Георга Агриколы (г. Бохум, Германия)

МЕХАНИКА ДРОБЯЩЕЙ СРЕДЫ В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ

В статье рассмотрен анализ проблем совершенствования помольного оборудования для крупнотоннажного производства – цемент, руда, уголь. Основными требованиями, предъявляемыми к помольному оборудованию, являются: высокая часовая производительность, минимальный удельный расход энергии; возможность регулирования режимов процесса измельчения без остановки мельницы; простота в обслуживании; автоматическое управление работой мельницы.

Существенным недостатком в работе шаровых барабанных мельниц является то, что не более 45 % мелющих тел активно участвуют в процессе измельчения, а остальные 55 % перемещаются в плотном компактном слое в центральной части загрузки, образуют застойные зоны и препятствуют продольному перемещению частиц измельчаемого материала.

Одним из возможных способов повышения эффективности процесса измельчения в шаровых мельницах является создание условий продольно-поперечного движения мелющих тел, что обеспечит разрушение застойных зон в мелющей загрузке и в целом интенсифицирует измельчение материала.

Рассматривается усовершенствованная конструкция шаровой барабанной мельницы, снабженной внутримельничными энергообменными устройствами; приводятся технико-экономические показатели стандартной и усовершенствованной мельницы. Приводится методика расчета кинематики движения мелющих тел в мельнице с продольно-поперечным движением мелющих тел.

При построении математических моделей движения шаров, расчете их скоростей и энергии задача решается в классической постановке без учета физико-механических свойств измельчаемого материала.

В классической теории барабанных мельниц рассматривается двухфазное движение единичного шара в неподвижной системе координат. Нами здесь рассматривается принципиально новый подход – вводится дополнительно подвижная система координат, расположенная в плоскости наклонной перегородки. Приведены формулы для определения действующих усилий, а также уравнения для определения скоростных режимов движения мелющих тел.

Ключевые слова: трубная шаровая мельница, мелющие тела, измельчение, помол, застойная зона.

Введение. Производство многих материалов связано с необходимостью тонкого (до размеров менее 100 мкм) измельчения исходного сырья: цемент, керамические изделия, огнеупоры, стекло, руда чёрных и цветных металлов, удобрения, уголь и др. [1–3].

Только при производстве цемента помолу подвергается около 100 млн. тонн сырьевых материалов и клинкера, в горнорудной промышленности – 900 млн. тонн [4, 11].

Основные требования, предъявляемые к помольному оборудованию, используемому во всех

отраслях народного хозяйства можно сформулировать следующими общими принципами: большая часовая производительность; возможно малый удельный расход электроэнергии; малая металло- и энергоёмкость; простота в обслуживании и надёжность в эксплуатации; возможность оперативного регулирования качества готового продукта и перехода на различные, по физико-механическим свойствам, материалы; небольшие капитальные вложения.

Основными технологическими приёмами, получившими самое широкое распространение при помолу различных материалов, являются:

раздавливание, раскалывание, изгиб, истирание и удар [2, 5, 13].

Во все известные конструкции помольных машин заложены именно эти, вышеназванные, принципы [2–5].

По мнению советских и зарубежных экспертов, в обозримом будущем, не будет создано принципиально новых технологических приёмов измельчения. Будут лишь осуществляться комплексные мероприятия по совершенствованию известной технологии, повышению КПД и надёжности техники измельчения, снижению её стоимости [4, 6, 15].

Постановка проблемы. Одним из основных направлений совершенствования барабанных мельниц является создание таких внутримельничных энергообменных и классифицирующих устройств, которые обеспечивают разрушение застойных зон в поперечном контуре загрузки за счёт интенсификации движения МТ и осуществляют внутримельничную классификацию измельчаемого материала [7].

Существенным недостатком работы барабанных мельниц является их весьма низкий КПД. До 90 % подводимой к дробящей среде энергии расходуется на её преобразование из электрической в тепловую; температура цемента и аспирационного воздуха в некоторых случаях достигает 250 °С. Это объясняется, прежде всего, не рациональным взаимодействием МТ с футеровкой, являющейся основным звеном в передаче энергии от привода к дробящей среде.

Известно, что только 45 % мелющих тел активно участвуют в процессе измельчения (15 % из них находятся на траекториях свободного падения, а 85 % работают в истирающем режиме), остальные 55 % перемешаются в плотном компактном слое в центральной части поперечного контура загрузки, образуют застойные зоны, препятствуют прохождению измельчаемого материала через мельницу [8, 9, 12–14]. Опыт промышленной эксплуатации барабанных мельниц показал, что процесс измельчения более эффективно организован в сепараторных мельницах, когда из измельчаемого материала постоянно отбирается готовый продукт [10, 16].

Однако, мельницы замкнутого цикла намного сложнее по конструкции, в связи, с чем у нас распространение не получили.

Критический анализ состояния и направлений развития техники и технологии тонкого помола даёт основание положить в основу настоящих исследований следующую рабочую гипотезу - крайне низкая эффективность работы шаровой барабанной мельницы (ШБМ) может быть значительно повышена путём рациональной ор-

ганизации работы МТ на каждом участке барабана с учётом селективности процесса измельчения.

Методика расчёта. При построении моделей движения шара и в целом дробящей среды, определении скоростей и энергии удара, расчёте потребляемой мощности задача решается в классической постановке – физико-механические свойства измельчаемого материала не учитываются.

Это объясняется следующими обстоятельствами.

Во-первых, физико-механические свойства не только части исходной шихты, но и свойства каждой отдельной частицы измельчаемого материала в течение цикла (одного оборота барабана) изменяются в столь широких пределах, что учесть это ни практически, ни теоретически (на данном этапе развития науки) не представляется возможным, да и целесообразным. Средний размер кусков исходного материала составляет 30 мм, а отдельных кусков достигает 250–300 мм, причём каждый из кусков имеет различные дефекты структуры (трещины, поры, инородные включения и т.п.), различную форму, в результате чего их измельчаемость (усилия дробления) колеблется в весьма широких пределах: 2 ± 3 раза.

Во-вторых, за время прохождения измельчаемого материала через мельницу (около 30 мин) размер куска материала уменьшается в десятки тысяч раз, а прочность отдельных частиц возрастает в сотни раз. Это объясняется тем, что по мере уменьшения размера частицы, т.к. её разрушение происходит по дефектам структуры, наступает такой момент, когда частица уже не имеет дефектов и для её разрушения требуется существенно большая энергия.

В-третьих, вследствие стадийности процесса измельчения на любом из элементарных участков барабана мельницы находятся частицы материала, размер которых различается в тысячи раз, а на первых участках мельницы в десятки тысяч раз, так же отличается и их размолоспособность. Например, в цементную мельницу подаётся шихта, включающая частицы размером 0,5–200 мм.

В-четвёртых, как показали наши собственные исследования и исследования других авторов [6, 8] наличие измельчаемого материала в шаровой загрузке увеличивает потребляемую мощность привода мельницы не более чем на 15 %. Существующие теоретические модели расчёта потребляемой мощности дают погрешность до 60 % как в сторону её увеличения, так и уменьшения. Поэтому учёт существенно меняющихся физико-механических свойств измельчаемого материала его массы не только затруднит и

усложнит получение математических моделей, но и снизит их точность.

На основании изложенного считаем целесообразным рассматривать механику дробящей среды без учёта физико-механических свойств измельчаемого материала.

Решение практических задач движения МТ в барабанных мельницах связано с описанием движения шара, находящегося в её внешнем слое и достаточно полно описано в работах [2, 5, 6, 12]. Траектория движения шара описывается двухфазной моделью: в первой фазе шар движется по круговой траектории вместе с барабаном, параметры которой известны и во второй фазе шар совершает свободное падение в поперечном сечении барабана по параболической траектории.

В настоящей работе мы так же допускаем, что, зная параметры движения внешнего слоя шаровой загрузки мы, с достаточной для практических расчётов точностью, сможем рассчитать все основные энергетические, конструктивные и технологические показатели барабанных мельниц с ППД мелющих тел.

Дополнительное продольное движение шара обеспечивается тем, что в момент отрыва на шар действует не только сила давления барабана, но и продольная сила со стороны плоскости перегородки, кольца либо футеровки, наклоненных к оси вращения барабана мельницы.

В теории барабанных мельниц рассматривается двухфазное движение единичного шара в неподвижной системе координат, причём, допускается, что шар по круговой траектории (до момента отрыва) движется вместе с барабаном без проскальзывания и далее переходит на параболическую траекторию свободного падения [2, 6].

Нами здесь предложен принципиально новый подход: рассчитав траекторию шара в неподвижной системе координат, мы вводим дополнительную подвижную систему координат, располагаемую в плоскости наклоненной к продольной оси барабана мельницы и далее рассматриваем воздействие наклонной плоскости при последовательном изменении её положения относительно неподвижной системы координат на характер движения шаров, расположенных на расчётной траектории, т.е. мы, рассматриваем не один шар, а их совокупность на всей траектории движения.

Расчёт угла отрыва шара, находящегося на наклонной плоскости

В расчётной системе координат (рис.1) на шар, находящийся на наклонной плоскости (НП - наклонная межкамерная перегородка, наклонное кольцо, наклонные ребра футеровки и т.п.) и контактирующий одновременно с внутренней по-

верхностью барабана мельницы, кроме сил, рассматриваемых в теории барабанных мельниц с ППД загрузки (сила тяжести шара, сила инерции, сила реакции барабана) действует дополнительная сила реакции со стороны НП.

На основании принятой расчётной схемы уравнение равновесия шара, находящегося на НП запишется в виде

$$\vec{N}_n + \vec{N}_\delta + \vec{C} + \vec{G} = 0 \quad (1)$$

где $\vec{N}_n, \vec{N}_\delta$ – соответственно, сила реакции НП и барабана мельницы; \vec{C} – центробежная сила; \vec{G} – вес шара.

Для записи уравнения (1) в принятой неподвижной системе координат ОХУZ (рис. 1) определим проекции единичных векторов нормалей к перегородке \vec{n}^n и барабану \vec{n}^δ в точке А нахождения шара на НП.

Проекция единичных векторов нормалей к НП:

$$n_x^n = \cos \beta \sin \xi; n_y^n = -\sin \beta; n_z^n = \cos \beta \cos \xi \quad (2)$$

Проекция единичных векторов нормалей к барабану:

$$n_x^\delta = \sin \alpha; n_y^\delta = 0; n_z^\delta = -\cos \alpha \quad (3)$$

Используя (2), (3) и спроектировав (1) на нормали \vec{n}^n и \vec{n}^δ получим систему из двух уравнений:

$$N_\delta + G \cos \alpha - C - N_n \cos \beta \cos(\alpha + \xi) = 0,$$

$$N_n - (N_\delta - C) \cos \beta \cos(\alpha + \xi) - G \cos \beta \cos \xi = 0 \quad (4)$$

Система уравнений (4) позволяет рассчитать реакции барабана N_δ и НП N_n .

Анализ уравнений (4) показывает, что их решение возможно лишь при положительном значении N_δ и N_n . Однако, при вращении барабана мельницы величина N_δ и N_n непрерывно изменяется, соответственно положению шара на НП, в связи с этим данная система уравнений (4) справедлива до того момента времени пока шар движется вместе с барабаном, находясь при этом на НП.

Момент отрыва шара от внутренней поверхности барабана или НП характеризуется тем, что одна из сил, в первом случае N_δ , во втором - N_n обращается в нуль, т.е. $N_\delta = 0, N_n \neq 0$, либо $N_n = 0, N_\delta \neq 0$. В этом случае характер последующего движения шара зависит от того какая из сил первой станет равной нулю.

Например, если первой обратится в нуль N_δ , то шар оторвётся от внутренней поверхности барабана мельницы и продолжит движение

вдоль НП при этом уравнения (4), описывающие его движение примут вид:

$$G \cos \alpha - C + N_n \cos \beta \cos(\alpha + \xi) = 0,$$

$$N_n + C \cos \beta \cos(\alpha + \xi) - G \cos \beta \cos \xi = 0 \quad (5)$$

Из (5) определим величину реакции N_n на

шар. С этой целью в (5) подставим значение центробежной силы

$$C = m\omega^2 r = mg\psi^2, \quad (6)$$

где m - масса шара; g - ускорение свободного падения; ω - угловая скорость вращения барабана мельницы; ψ - относительная частота вращения барабана мельницы; r - радиус вращения шара.

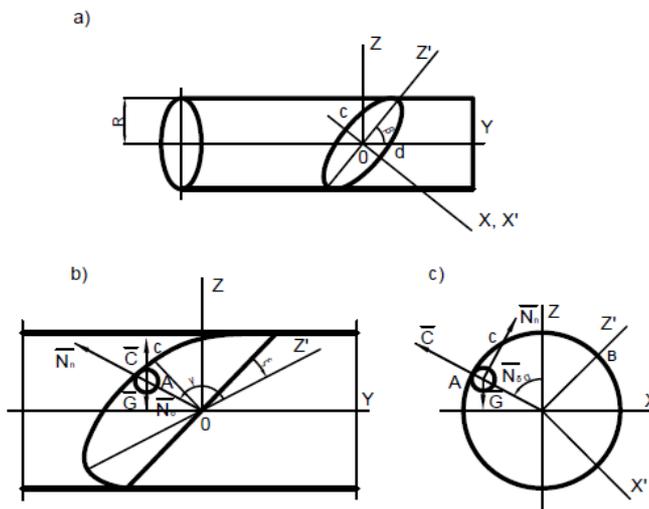


Рис. 1. Схема выбранной системы координат и действующих на шар сил
 а) неподвижная $OXYZ$ и подвижная $OX'0Z'$ системы координат ($\xi = 0^\circ$);
 б, в) сечения барабана по плоскостям YOZ и XOZ

После соответствующих преобразований получим:

$$N_n = mg \cos \beta [\cos \xi - \psi^2 \cos(\alpha + \xi)] \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) дает основание сделать следующие выводы: уравнение справедливо, т.к. при $\beta=90^\circ$, т.е. перегородка установлена вертикально $N_n = 0$. Траектория движения МТ описывается известными теориями; у мельниц с меньшим углом наклона перегородки и колец МТ равной массы перемещаются на большее расстояние вдоль оси барабана т.к. при $\beta \rightarrow <$, $N_n \rightarrow >$. МТ сошедшие с НП при больших значениях угла ξ . характеризующего положение шара, например, на НП переместятся на меньшее расстояние вдоль оси барабана и наоборот, т.е. при $\xi \rightarrow >$, $N_n \rightarrow <$. С увеличением относительной частоты вращения барабана, шары также перемещаются на меньшее расстояние вдоль барабана мельницы.

Если же первой станет равной нулю реакция со стороны НП, т.е. $N_n = 0$, то шар оторвется от

неё, а его дальнейшее движение может быть описано в рамках известных теорий.

В этом случае уравнения (5) запишутся в виде:

$$N_\delta + G \cos \alpha - C = 0,$$

$$(N_\delta - C) \cos \beta \cos(\alpha + \xi) - G \cos \beta \cos \xi = 0 \quad (8)$$

Если же в последующем шар не упадёт на НП, то его отрыв произойдёт от внутренней поверхности барабана при угле, равном:

$$\alpha = \arccos \psi^2 \quad (9)$$

Вывод из (8) подтверждается (9), т.е. шар оторвется от внутренней поверхности барабана мельницы, если

$$N_\delta > mg(\psi^2 - \cos \alpha). \quad (10)$$

Таким образом, величина угла отрыва шара от внутренней поверхности барабана известна - (9). Мы же должны рассчитать величину угла отрыва шара от барабана при его контакте с НП. С этой же целью из (4) определим N_δ с учётом (6). После совместного решения уравнений (4), (6) и соответствующих преобразований получим:

$$N_\delta = \psi^2 [\cos^2 \beta \cos^2(\alpha + \xi) - 1] + \cos \alpha - \cos^2 \beta \cos \xi \cos(\alpha + \xi) = 0$$

$$N_\delta = G \left[\frac{[\psi^2 (\cos^2 \beta \cos^2(\alpha + \xi) - 1) + \cos \alpha + \cos^2 \beta \cos \xi \times \cos(\alpha + \xi)]}{[\cos^2 \beta \cos^2(\alpha + \beta) - 1]} \right] \quad (11)$$

Уравнение (11) характеризует положение шара на НП, когда он одновременно контактирует с внутренней поверхностью барабана мельницы.

Из (11) следует, что отрыв шара произойдет, если $N_n = 0$, т.е. в момент отрыва от барабана

$$\psi^2[\cos^2 \beta \cos^2(\alpha + \xi) - 1] + \cos \alpha - \cos^2 \beta \cos \xi \cos(\alpha + \xi) = 0 \quad (12)$$

Уравнение (12) учитывает все основные факторы, влияющие на величину угла отрыва α , частоту вращения барабана ψ , угол наклона плоскости β , положение НП по отношению к шару.

Методика расчёта угла отрыва сводится к следующему. При заданных значениях ψ , β и ξ решается уравнение (12) относительно α . Затем, полученное значение α подставляется в (7) в котором для установленного m принимаются те же значения ψ , β , ξ , что и для (12). Если окажется, что $N_n > 0$, значит, данная величина угла α характеризует его отрыв от внутренней поверхности барабана. Причём, в этом случае шар не оторвётся от НП, не перейдет на параболическую траекторию свободного падения, а будет перемещаться вдоль поверхности НП поскольку $N_n > 0$, т.е. шар контактирует с НП. Если, подставив расчётное значение α в (7) окажется, что $N_n < 0$, то это значит, что шар оторвавшись от внутренней поверхности барабана, не контактирует с НП и переходит на траекторию свободного падения. В этом случае НП не влияет на характер движения шара, а угол его отрыва следует рассчитывать по известному уравнению $\alpha = \arccos \psi^2$.

Такая ситуация возможна, если

$$\psi = [\cos \beta \cos \xi / \cos(\alpha + \xi)]^{0,5} \quad (13)$$

или

$$\beta < \arccos \psi^2 \cos(\alpha + \xi) / \cos \xi \quad (14)$$

Таким образом, численное решение уравнения (12) позволяет получить любую из функций $\alpha(\xi, \beta, \psi)$ которые имеют синусоидальный характер, а, следовательно, им присуще наличие экстремумов. Очевидно, изменение величины угла отрыва α от минимума до максимума за каждый оборот барабана вызывает изменение режима работы МТ в мельницах, снабженных наклонной плоскостью, от каскадного до водопадного.

Функции $\alpha(\xi, \beta, \psi)$ позволяют характеризовать траекторию движения МТ при различных скоростных режимах работы барабанных мельниц, оснащенных ВЭУ. Однако картина движе-

мельницы его давление на шар будет равно нулю, что очевидно.

Итак, при $N_n = 0$ получим уравнение, которое характеризует угол отрыва шара от барабана.

МТ станет более полной, если нам будет известно положение шара в момент его отрыва от барабана по отношению к НП. С этой целью мы ввели дополнительные относительные координаты $ox'z'$ (рис. 1). В принятой системе координат угол γ определяет положение центра тяжести (ЦТ) шара в момент его отрыва от барабана мельницы относительно оси Z .

Согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1; б; в угол γ должен описываться уравнением:

$$\gamma(\beta, \alpha, \xi) \quad (15)$$

Область, в которой находятся все возможные значения, описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} x \sin \xi - y \operatorname{tg} \beta + z \cos \xi = 0, \\ x^2 + z^2 = R^2, \\ z = -ctg \alpha \cdot x. \end{cases} \quad (16)$$

Первое уравнение системы (16) – уравнение наклонной плоскости, второе – барабана мельницы с радиусом R и третье – уравнение плоскости отрыва, определяемой углом отрыва α и проходящей через ось Oy .

Совместное решение уравнений (16) позволяет определить координаты ЦТ шара в неподвижной системе $OXYZ$ в момент его отрыва:

$$x_0 = -R \sin \alpha; y_0 = R \operatorname{ctg} \beta \cos(\alpha + \xi); z_0 = R \cos \alpha. \quad (17)$$

Если ввести одну подвижную ось z'' , которая является проекцией оси z' на плоскость XOZ , т.е.

$$z'' = z' \sin \beta, \quad (18)$$

тогда в подвижной системе координат имеем:

$$x_0 = R \sin(\alpha + \xi); z_0'' = R \cos(\alpha + \xi). \quad (19)$$

С учётом (18) и (19) определим относительные координаты положения шара по отношению к НП в момент отрыва от барабана:

$$x_0' = R \sin(\alpha + \xi); z_0' = R \cos(\alpha + \xi) / \sin \beta. \quad (20)$$

Исходя из расчетной схемы и используя систему уравнения (20) имеем:

$$\operatorname{tg} \gamma = -x_0' / z_0' = \sin \beta \operatorname{tg}(\alpha + \xi) \quad (21)$$

Таким образом, мы получили уравнение (21) в развёрнутом виде, которое определяет величину угла γ

$$\gamma = \arctg(\sin \beta \operatorname{tg}(\alpha + \xi)). \quad (22)$$

Некоторые результаты численного решения уравнений $\gamma(\alpha, \xi, \beta)$ и $\gamma(\psi, \beta, \xi)$ приведены на рис. 2.

Наибольший интерес представляют функции $\alpha, \gamma(\xi)$ при $(\beta, \psi) = \text{const}$. Характер зависимости $\alpha(\xi)$, полученной аналитически подтверждает наш вывод об изменении кинетики шаровой загрузки. В обычных барабанных мельницах зависимость $\alpha(\xi)$ на графике изображается прямой параллельной оси ξ . В мельницах с ВЭУ, как видно из графиков 1, 2 (рис. 2) угол отрыва за один оборот изменяется в широких пределах. Например, при $\beta=30^\circ, \psi=0,9$ величина угла α меняется от 15° до 89° , а при $\beta=45^\circ, \psi=0,7$ от 35° до 80° . В обычной мельнице угол отрыва, соответственно, равен 36° и 60° (горизонтальные участки кривых 2 и 1). Причём, из рис. 2 следует, что с увеличением частоты вращения барабана на всех участках траектории, кроме $60^\circ < \xi < 105^\circ$, высота подъёма МТ увеличивается, их энергия возрастает, что подтверждается меньшей величиной функции $\alpha_2(\xi)$, чем $\alpha_1(\xi)$ (рис. 2). В фазе движения барабана $0^\circ < \xi < 55^\circ$ (рис. 2, 2) угол отрыва МТ хотя и возрастает от 15° до 36° , но он меньше чем у обычных мельниц. Шары поднимаются на большую высоту, чем в обычных барабанных мельницах. В этот момент МТ находятся на участке НП,

характеризуемой $7^\circ < \xi < 105^\circ$, а радиальная составляющая реакции НП направлена к периферии и способствует подъёму шаров (рис. 1). При дальнейшем повороте барабана мельницы в фазе $55^\circ < \xi < 135^\circ$ МТ отрываются при больших углах, т.е. они поднимаются на меньшую высоту. Причём, минимальная высота подъёма шара соответствует такому положению НП, при котором $\xi=75^\circ$ и характеризуется углом отрыва, равным $\alpha=89^\circ$. В этом случае координата шара, находящегося на НП определяется углом $\gamma=172^\circ$. На этом участке траектории движения шара радиальная составляющая реакции НП направлена в обратную сторону (к центру барабана) и способствует более раннему отрыву шара. В фазе вращения барабана, характеризуемой его поворотом от 135° до 322° кривая $\alpha_2(\xi)$ имеет горизонтальный участок, а угол отрыва равен по величине углу отрыва шара в обычных мельницах, $\alpha=36^\circ$. При этом шары располагаются справа от продольной оси НП в зоне $-180^\circ < \gamma < 0^\circ$ (рис. 1). Понятно, что в этом случае НП не оказывает влияния на движение шара, реакция равна нулю. Затем, при $322^\circ < \xi < 360^\circ$ высота подъёма МТ возрастает, угол уменьшается до 14° ($0^\circ < \gamma < 7^\circ$). Здесь НП также способствует подъёму МТ.

Таким образом, на отрезке, составляющем около четверти оборота барабана МТ поднимаются на значительно большую высоту, чем в обычных барабанных мельницах, им сообщается большая потенциальная энергия, которая и предопределяет большую эффективность процесса измельчения.

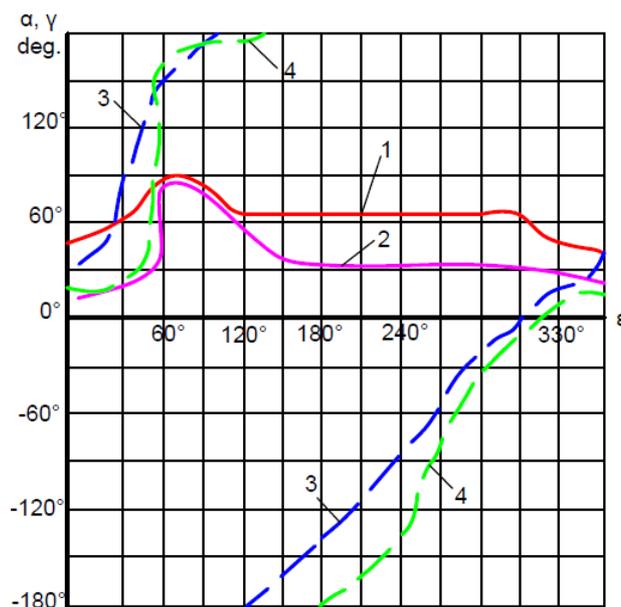


Рис. 2. Расчетные зависимости $\alpha, \gamma(\xi)$
1, 2 – функция $\alpha(\xi)$; 3, 4 – функция $\gamma(\xi)$; 1, 3 – $\psi = 0,76$; $\beta = 45^\circ$; 2, 4 – $\psi = 0,90$; $\beta = 30^\circ$

Функция $\gamma(\xi)$ со всей очевидностью показывает, что наибольшая высота подъёма МТ соответствует такому взаимному расположению шара и плоскости, при котором точка А контакта шара с НП находится в области $0^\circ < \gamma < 105^\circ$ (рис. 2).

Этот аналитический вывод даёт возможность конструктивным решением, основанном на взаимном расположении НП обеспечить максимальную высоту подъёма МТ по всей длине барабана мельницы.

Заключение. Итак, проведенный анализ результатов расчёта углов отрыва шара за полный оборот барабана мельницы позволяет сделать следующие выводы:

- при постоянной частоте вращения барабана, заданном угле расположения НП наблюдаются значительные колебания величины угла отрыва шара, что в целом меняет режим работы загрузки;

- из всего цикла движения шара можно выделить три характерных участка: первый, в котором углы отрыва имеют меньшую величину, чем у обычных мельниц и большую высоту подъёма (четверть полного оборота); второй, при котором шары имеют больший угол отрыва, чем у обычных мельниц (около 1/8 полного оборота); третий - шары имеют такой же по величине угол отрыва, что и у обычных мельниц (более половины оборота);

- имеет место лавинообразный отрыв шара от барабана, когда за небольшой промежуток времени на свободные траектории падения переходит около трети шаров, расположенных в зоне НП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 301с.

2. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций. М.: Высшая школа, 1971. 282 с.

3. Болдырев А.С., Добужинский В. И., Реки-тар Я. А. Технический прогресс в промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 399 с.

4. Перов В.А., Бранд В.Ю. Измельчение руд. М.: Metallurgizdat, 1950. 220 с.

5. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1966. 270 с.

6. Богданов В.С., Воробьев Н.Д. Кинематика шаровой загрузки в барабанных мельницах с наклонными межкамерными перегородками // Горный журнал. 1985. №10. С. 124–127.

7. Утеуш З.В., Утеуш Э.В. Управление измельчительными агрегатами. М.: Машиностроение, 1973. 280 с.

8. Ткачев В.В. Измельчение сырьевых материалов на новых технологических линиях // Цемент. 1983. №2. С. 6–7.

9. Кафаров В.В., Вердиян М.А. Основы кибернетического подхода к изучению процессов измельчения цементных материалов // Цемент. 1976. №4. С. 14–16.

10. Motek H., Huwald E. Vorzirkleinerung in Kienkermahlanlagen // Zement – Kalk – Gips, 1984, Vol. 37. No. 11. Pp. 569–576.

11. Reichardt R., Wiechert W. Event driven simulation of a high energy ball mill. In Proceedings ASIM, 2003, 249.

12. Miller S., Luding S. Event-driven molecular dynamics in parallel // Computat. Phys. 2004. Vol. 193. No. 1. Pp. 306–316.

13. Reichardt R., Wiechert W. Event driven algorithms applied to a high energy ball mill simulation // Granular Matter. 2007. Vol. 9 No. 3–4. Pp. 251–266.

14. Lili G., Cucart M., Modernization of production cement mills zone JSK “Garage cement”. // Cement and Its Application. 2012, No. 1. Pp. 208–209.

15. Sotilly A., Podavany D., Bravo A. Influence of grinding intensification mechanism for cement production // Cement and its application. 2002. No. 5. Pp. 19–22.

16. Bucholtz V., Freund J.A., Poschel T. Molecular dynamic of comminution in ball mills. Europ // Phys. J. 2000. No. 16. Pp. 162–182.

Информация об авторах

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

E-mail: bogdanov_vs@edu.bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фадин Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования.

E-mail: fadin_ym@edu.bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Донцова Юлия Александровна, студентка кафедры механического оборудования.
E-mail: donsova_ya@edu.bstu.ru
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Богданов Никита Эдуардович, магистрант кафедры механического оборудования.
E-mail: bogdanov_ne@edu.bstu.ru
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фёт Штефан Карлович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии приводов и транспортных систем.
E-mail: stefan.voeth@thga.de
Технический университет им. Георга Агриколы.
Германия, 44791, Бохум, Вестхофштрассе 15.

Поступила в июне 2018 г.

© Богданов В.С., Фадин Ю.М., Донцова Ю.А., Богданов Н.Э., Фёт Ш.К., 2018

V.S. Bogdanov, Yu.M. Fadin, Yu.A. Dontsova, N.E. Bogdanov, S.K. Vöth MECHANICS OF CRUSHING MEDIUM IN BALL MILLS WITH LONGITUDINAL-TRANSVERSE MOTION OF GRINDING BODIES

The analysis of problems of perfection of grinding equipment for large-capacity production – cement, ore, coal – is considered in this article. The main requirements for grinding equipment are: high hourly output, minimum specific energy consumption; the possibility of regulation of the modes of the grinding process without stopping the mill; ease of maintenance; automatic control of mill operation.

A significant drawback in the operation of ball mills is that no more than 45 % of milling bodies are actively involved in the grinding process, and the remaining 55 % move in a dense, compact layer in the central part of the charge, form stagnant zones and prevent longitudinal movement of the particles of the material being crushed.

One of the possible ways to increase the efficiency of the grinding process in ball mills is to create conditions for longitudinal-transverse motion of grinding bodies, which will ensure the destruction of stagnant zones in the grinding charge and intensify grinding of the material.

An improved design of a ball drum mill, equipped with inner mill energy exchange devices, is considered. The technical and economic indicators of a standard and improved mill are presented. The method of calculating the kinematics of motion of milling bodies in a mill with longitudinal-transverse motion of milling bodies is given. Formulas for determining the effective forces are presented. When constructing mathematical models of ball motion, calculating their velocities and energy, the problem is solved in a classical formulation without considering the physico-mechanical properties of the material to be crushed.

In the classical theory of drum mills, the two-phase motion of a single ball is considered in a fixed coordinate system. We present here a fundamentally new approach – an additional mobile coordinate system, located on the plane of the inclined partition, is introduced. Equations for the determination of the velocity regimes of motion of milling bodies are given.

Keywords: tube ball mill, grinding bodies, grinding, milling, stagnation zone.

REFERENCES

1. Perov V.A., Andreev E.E., Bilenko L.F. *Crushing, Grinding and Screening of Minerals*. Moscow: Nedra. 1990, 301 p.
2. Sapozhnikov M.Ya. *Mechanical Equipment of Enterprises of Construction Materials, Products and Structures*. Moscow: Higher School. 1971, 282 p.
3. Boldyrev A.S., Dobuzhinsky V.I., Rekitar Ya.A. *Technical Progress in the Industry of Building Materials*. Moscow: Stroyizdat, 1980, 399 p.
4. Perov V.A., Brand V.Yu. *Grinding of Ores*.

Moscow: Metallurgizdat. 1950, 220 p.

5. Deshko Y.I., Kreimer M.B., Krykhtin G.S. *Grinding of Materials in the Cement Industry*. Moscow: Stroyizdat. 1966, 270 p.

6. Bogdanov V.S., Vorobyov N.D. *Kinematics of ball-type loading in drum mills with inclined intercameral partitions*. Pub. of Universities "Mining Magazine", 1985, no. 10, pp. 124–127.

7. Uteusz Z.V., Uteush E.V. *Control of Grinding Aggregates*. Moscow: Mechanical Engineering, 1973, 280 p.

8. Tkachev V.V. *Crushing of raw materials on*

new technological lines. Cement, 1983, no. 2, pp. 6–7.

9. Kafarov V.V., Verdiyan M.A. Fundamentals of the cybernetic approach to the study of the processes of grinding of cement materials. Cement, 1976, no. 4, pp. 14–16.

10. Motek H., Huwald E. Vorzirkleinerung in Kienkermahlanlagen. Zement – Kalk – Gips, 1984, vol. 37, no. 11, pp. 569–576.

11. Reichardt R., Wiechert W. Event driven simulation of a high energy ball mill. In Proceedings ASIM, 2003, 249.

12. Miller S., Luding S. Event-driven molecular dynamics in parallel. J. Computat. Phys., 2004, vol. 193, no. 1, pp. 306–316.

13. Reichardt R., Wiechert W. Event driven algorithms applied to a high energy ball mill simulation. Granular Matter, 2007, vol. 9 no. 3–4, pp. 251–266.

14. Lili G., Cucart M., Modernization of production cement mills zone JSK “Garage cement”. Cement and Its Application, 2012, no. 1, pp. 208–209.

15. Sotilly A., Podavany D., Bravo A. Influence of grinding intensification mechanism for cement production. Cement and its application, 2002, no. 5, pp. 19–22.

16. Bucholtz V., Freund J.A., Poschel T. Molecular dynamic of comminution in ball mills. Europ. Phys. J., 2000, no. 16, pp. 162–182.

Information about the author

Vasily S. Bogdanov, DSc, Professor.

E-mail: bogdanov_vs@edu.bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Yuriy M. Fadin, PhD, Professor.

E-mail: fadin_ym@edu.bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Yulia A. Dontsova, Student.

E-mail: doncova_ya@edu.bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nikita E. Bogdanov, Master student.

E-mail: bogdanov_ne@edu.bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Stefan Vöth, PhD, Professor.

E-mail: stefan.voeth@thga.de

Technische Hochschule Georg Agricola.
Germany, 44791, Bochum, Westhoffstraße 15.

Received in June 2018

Для цитирования:

Богданов В.С., Фадин Ю.М., Донцова Ю.А., Богданов Н.Э., Фёт Ш.К. Механика дробящей среды в шаровых мельницах с продольно-поперечным движением мелющих тел // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 117–125. DOI: 10.12737/article_5b6d586e6ed9b2.54424779

For citation:

Bogdanov V.S., Fadin Yu.M., Dontsova Yu. A., Bogdanov N.E., Vöth S.K. Mechanics of crushing medium in ball mills with longitudinal-transverse motion of grinding bodies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 117–125. DOI: 10.12737/article_5b6d586e6ed9b2.54424779