

помимо университетов и научных групп, в данной области ведут свои разработки и крупные компании, интерес которых очевиден – 3D-печать зданий может кардинально изменить рынок недвижимости и смежных отраслей. Основными проблемами, решение которых позволит обеспечить серьезное развитие аддитивных строительных технологий, являются:

- 1) отсутствие нормативной базы,
- 2) необходимость развития рынка строительных материалов для 3D-печати,
- 3) высокая стоимость оборудования, связанная с отсутствием производства крупных серий.

Несмотря на то, что исследованиями и разработками аддитивных строительных технологий занимаются крупные мировые институты и большие корпорации, имеется большой потенциал научных исследований в данной области и применения их на практике.

Список литературы

1. Khoshnevis B., Dutton R. Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surfaced complex shapes in a wide variety of materials // *Materials Technology*. 1998. Т. 13.
2. Gardiner J. Exploring the emerging design territory of construction 3D printing-project led architectural research. 2011.
3. Dini E. Method for automatically producing a conglomerate structure and apparatus therefor : пат. US8337736. 2012.
4. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении : учеб. пособие. СПб. : СПбГУ, 2013.
5. Малышева В. Л., Красимирова С. С. Возможности 3D-принтера в строительстве // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013.
6. Стеенберг М. и др. Композиционный цемент на основе портландцемента, известняка и прокаленной глины // *Цемент и его применение*. 2012.
7. Кузьмин С. Н. 3D-принтеры. Рабочее поле и виды кинематических схем // Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15–25 апреля 2016 г. 2016.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*А. М. Кокарев¹, Б. Б. Утегенов¹, Б. Н. Середин¹,
Н. А. Страхова², Л. П. Кортovenko¹*

¹Астраханский государственный

архитектурно-строительный университет

*²Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова
(г. Новороссийск)*

Серополимерные бетоны относятся к новым видам композиционных материалов, в состав которых входят серное вяжущее - модифицированная сера, не образующая кристаллической структуры, так называемая «полимерная» или «сополимерная» сера и инертные заполнители. К преимуществам серополимерных бетонов, по сравнению с цементными, относятся:

высокая технологичность бетонных и растворных смесей, быстрый набор и сохранение высокой прочности, высокая коррозионная стойкость, отверждение при низких температурах, хорошая адгезия, стойкость к действию кислотных и солевых сред, низкое водопоглощение, низкой теплопроводностью, высокая морозостойкость, высокое качество получаемых изделий, простота технологии получения, низкая стоимость серного вяжущего.

Перспективные сферы использования серополимерных бетонов - это железобетонные сваи, фундаментные плиты и монолитные фундаменты, железнодорожные и трамвайные шпалы, дорожные и тротуарные плиты, бордюры, дорожные покрытия и покрытия полов на химических производствах, канализационные и водопроводные колодцы и трубы, люки тепло-трасс, емкости для утилизации отходов (кислот, солей, тяжелых металлов и ядерных отходов с низким уровнем радиоактивности), гидротехнические сооружения, в том числе облицовочные плиты оросительных каналов и сооружений и т. д. [1].

Подбор состава серополимерного бетона заключался в определении содержания основных составляющих компонентов (щебня, песка, инертного наполнителя, сополимерной серы) и их основных физико-механических характеристик.

В лаборатории «Строительные материалы и конструкции» кафедры промышленного и гражданского строительства Астраханского государственного архитектурно-строительного университета были проведены исследования основных свойств серополимерных бетонов с целью выбора оптимального состава серополимербетонной смеси. Для исследований принято 4 варианта составов серополимерного бетона, в который входили щебень фракций 5–20 мм, песок кварцевый с модулем крупности 1,1, наполнитель – доломитовая мука и «сополимерная» сера. Соотношения составляющих материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение составляющих материалов серополимерного бетона.

Составляющие материалы	1 состав	Расход, кг	2 состав	Расход, кг	3 состав	Расход, кг	4 состав	Расход, кг
	по весу, %	на 1 м ³	по весу, %	на 1 м ³	по весу, %	на 1 м ³	по весу, %	на 1 м ³
Щебень	50	1300	50	1300	50	1300	50	1300
Песок	15	390	20	520	24	624	15	390
Доломитовая мука	10	260	9	234	5	130	14	364
Сера сополимерная	25	650	21	546	21	546	21	546

Смесь приготавливали из сухих компонентов – гранулированной модифицированной сополимерной серы, минерального наполнителя и заполнителей песка и щебня. После перемешивания составляющих, смесь разогревали до температуры 140–150 °С. Разогретую смесь укладывали в пред-

варительно подготовленные стальные разогретые формы. В разогретом состоянии смесь в форме уплотняли на виброплощадке. После уплотнения серополимерного бетона формы укладывали в камеру и выдерживали для постепенного остывания в течение 3 суток. Таким образом, были изготовлены кубики с размером ребра 10 см и призма с размерами 10x10x40 см.

После изготовления образцы подвергались испытанию – кубики на сжатие до разрушения (определение прочности на сжатие), призма на сжатие с измерением продольной деформации (определение модуля деформации). Испытания проводились на гидропрессе марки П-50. Продольные деформации измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Кроме определения прочности серополимерного бетона определялся объемный вес. Результаты, полученные при испытании кубиков, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний серополимерного бетона на гидропрессе П-50

Номер образ-ца	Масса	Размеры, мм			Объем-ный вес	Среднее значение объемного веса	Разру-шающая сила	Напря-жение
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>				
№ 1-1	2493	100	101	102	2,420	2,432	237	23,47
№ 1-2	2566,5	105	100	100	2,444			
№ 2-1	2697,5	97	100	104	2,674	2,575	251	25,88
№ 2-2	2703	104	100	105	2,475			
№ 3-1	2572,5	102	102	100	2,473	2,483	299	28,74
№ 3-2	2531	100	99,5	102	2,494			
№ 4-1	2484	94	99	101	2,643	2,557	284	30,52
№ 4-2	2545	102,5	100	100,5	2,471			

Примечание: в обозначении марки образца кубика первая цифра – номер состава, вторая номер образца.

На рис. 1 представлена зависимость предельного напряжения составов от соотношения составляющих смеси серополимерного бетона.

В принятых составах оставалось постоянным содержание щебня, изменялось соотношение песка наполнителя и сополимерной серы. Причиной повышения прочности образцов кубиков становилось наиболее рациональное соотношение составляющих смеси серополимерного бетона.

Одной из составляющих серополимербетона являлась сополимерная модифицированная гранулированная сера. Для ее создания использовались специально подобранные модификаторы и жидкая сера, которые приготавливались при температуре 140 °С при атмосферном давлении в аппарате с вихревым слоем типа В – 150 К – 04 [2, 3].

Кроме определения прочности по испытанию призмы из серополимерного бетона определялся начальный модуль деформаций. Модуль деформаций определялся поэтапным нагружением призмы, с измерением

продольной деформации. По результатам испытаний построена зависимость напряжение – деформация. По отношению приращений напряжений к относительной деформации при начальных этапах нагружения, не превышавшим 15 % максимального значения, вычислялся начальный модуль деформаций, который составил 21390 МПа. Испытания показали, что модуль деформаций серополимерного бетона на 28,7 % меньше модуля деформаций цементного тяжелого бетона той же прочности.

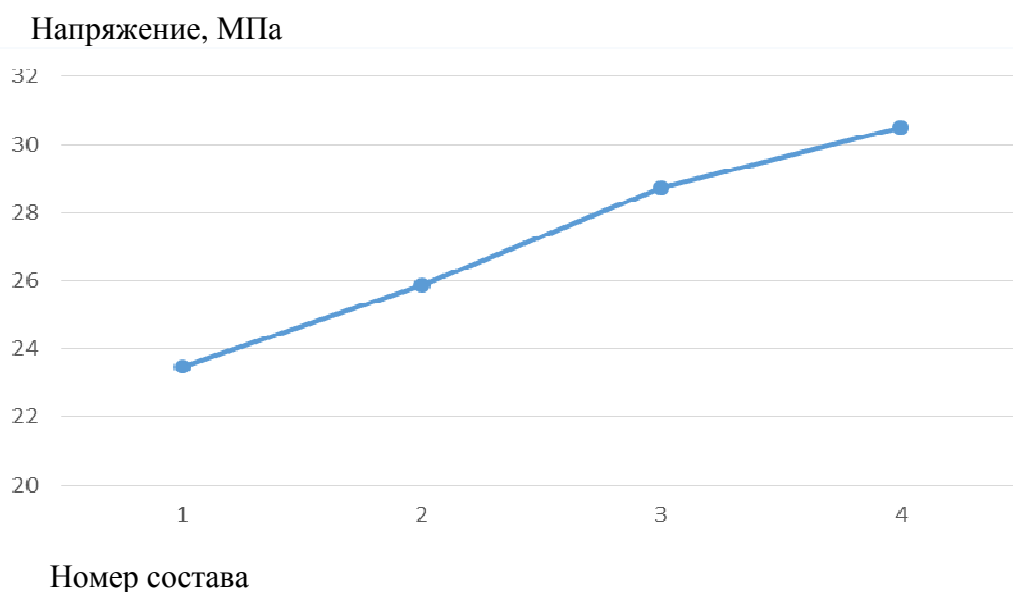


Рис. 1. График зависимости напряжения серополимерного бетона от состава

Разработанные составы серополимербетона можно отнести к эффективным видам бетонов, обладающих повышенным качеством и имеющим большие возможности в создании новых видов композиционных материалов и конструкций [4], в возведении зданий и сооружений, как строительный материал [5] для подземных конструкций (сваи, фундаменты) и различных сложных инженерных объектов.

Список литературы

1. Волгушев А. Н. Структурные и прочностные особенности серных композиций // Архив журнала Add comments. НИИЖБ. М., 2011. С. 1–13.
2. Страхова Н. А., Розенталь Д. А., Кортовенко Л. П. Серное вяжущее для бетонов // Газовая промышленность. 2001. № 4. С.61.
3. Середин Б. Н., Страхова Н. А. Интенсификация технологических процессов в производстве бетонов // Научный потенциал регионов на службу модернизации. Межвузовский сборник научных статей. 2013. № 3 (6). Т. 2. С. 15–17
4. Кокарев А. М., Кокарев С. А. К вопросу оценки работы железобетонных стержневых элементов при малоцикловых нагружениях с неполной разгрузкой // Энергосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство : V Международная научно-практическая конференция. Астрахань, 2011. С. 36–38.
5. Середин Б. Н. К вопросу об использовании серы в промышленном и гражданском строительстве // Энергосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство : V Международная научно-практическая конференция. Астрахань, 2011. С. 30–31.