

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/39SAVN222.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Голова, Т. А. Легкие бетоны на основе отходов местных производств и выбор технологии укладки бетонной смеси / Т. А. Голова, И. А. Магеррамова, Н. В. Андреева // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/39SAVN222.pdf>

For citation:

Golova T.A., Magerramova I.A., Andreeva N.V. Lightweight concretes based on waste from local industries and the choice of technology for laying concrete mix. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 39SAVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 692

ГРНТИ 67.15.39

Голова Татьяна Александровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»
Балаковский инженерно-технологический институт, Балаково, Россия
Заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: emelyanova-tanya@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214652

Магеррамова Инна Александровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»
Балаковский инженерно-технологический институт, Балаково, Россия
Старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: innamag82@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=707103

Андреева Наталья Викторовна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»
Балаковский инженерно-технологический институт, Балаково, Россия
Старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: andreevane@list.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=704487

Легкие бетоны на основе отходов местных производств и выбор технологии укладки бетонной смеси

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения отходов производств для изготовления легких бетонов. Целью исследований является определение влияния технологии укладки бетонной смеси, а также влияние отходов местных производств, используемых в качестве заполнителей, на прочностные характеристики легких бетонов.

Представлен план проведения эксперимента по определению характеристик легких бетонов на основе отходов местных производств. Указаны основные характеристики применяемых материалов для исследуемых легких бетонов.

В табличной форме приведены результаты испытаний контрольных и экспериментальных образцов, указаны значения плотности, прочности при сжатии и растяжении, а также полученного класса бетона.

Авторами экспериментально установлено, что использование отходов в качестве заполнителей положительно влияет на прочностные характеристики полученных бетонов. Представлены результаты исследований, доказывающие влияние метода укладки бетонной смеси на прочностные характеристики. Приведены графики, показывающие влияние количества регенерата на прочность при сжатии, а также графики зависимости плотности бетона от количества регенерата.

На основе проведенных экспериментальных исследований даны рекомендации по количественному использованию отходов местных производств в составе легких бетонов. Определена эффективная технология укладки бетонной смеси.

Ключевые слова: торкрет-бетон; легкий бетон; технология торкретирования; технология виброуплотнения; отходы местных производств; прочность бетона на сжатие; прочность бетона на растяжение

Введение

В настоящее время при производстве работ, связанных с возведением, ремонтом несущих и ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений, все большее применение находит технология торкретирования [1]. Данный факт обуславливается тем, что по сравнению с обычным бетоном торкрет-бетоны обладают повышенными физико-механическими характеристиками, лучшим сцеплением с поверхностью конструкций¹.

Учитывая особенности технологии торкретирования, она нашла широкое применение при возведении вертикальных резервуаров (РВС) для хранения нефти и нефтепродуктов, туннелей, обустройства ограждающих стен с волноотражающим козырьком. При этом, за счет высокой прочности создаваемых поверхностей, торкрет-бетоны способны воспринимать ударные нагрузки, хорошо работать на растяжение и изгиб, по сравнению с обычным монолитным бетоном².

Торкретирование можно отнести к инновационным методам строительства, так как область его применения ограничивается, в основном, реконструкций зданий и строительством сооружений³. Сочетания совершенствования рецептурных факторов и эффективной технологии строительства может привести к разработке энергоэффективных конструкций для строительства современных малоэтажных зданий и сооружений. Одним из рациональных способов улучшения рецептурных факторов в решении данной задачи может быть использование различных заполнителей [6; 7]. Их применение обеспечивает возможность получения оптимальной структуры, характеризующейся улучшенными эксплуатационными свойствами бетона. Технология торкретирования в строительстве применяется только для изготовления тяжелых бетонов, тогда как применение легких бетонов в малоэтажных зданиях имеет наибольшую востребованность. Поэтому значительный экономический эффект возможно получить при изготовлении легких бетонов с использованием инновационных технологий в сочетании с различными типами заполнителей. К таким разновидностям материалов можно отнести отходы промышленности местных производств [8].

¹ Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкции зданий и сооружений (Шифр М10.1/06). М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2007.

² ГОСТ Р 53324-2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности. — М.: Стандартинформ, 2019.

³ EFNARC. (1999). European specification for sprayed concrete. Guidelines for specifiers and contractors. 31 p.

Саратовская область является крупным промышленным узлом Приволжского Федерального округа. В частности, на территории Балаковского района Саратовской области градообразующими предприятиями являются: АО «Металлургический Завод Балаково», АО «Балаковорезинотехника», АО «Апатит» (Балаковский филиал), АО «Балаково-Центролит», где на открытых площадках может происходить накопление отходов промышленности. Поэтому вопрос их утилизации или повторного использования стоит очень остро.

Экологические проблемы, связанные с размещением отходов металлургической и химической промышленности и энергетики, производства строительных материалов вблизи населенных пунктов, вопросы экономии энергии и ресурсов требуют интенсивного использования этих побочных продуктов в производстве цемента и бетона. Применение местного сырья для получения строительных композитов и изделий из них может значительно сократить стоимость строительства.

Поэтому авторами предлагается исследовать возможность применения заполнителей на основе местных отходов производств Балаковского района, а именно, завода АО «Балаково-Центролит» и инновационного метода торкретирования для изготовления легких бетонов [9].

Выбор материалов для изготовления легких бетонов на основе отходов производств

Отходами производства ООО «Балаково-Центролит» являются регенерат (песок-шлак) и пыль газоочистки. Авторами было сделано предположение о возможности использования в качестве мелкого заполнителя регенерата, а в качестве компонента комплексного порообразователя — пыли газоочистки [10]. Определенные характеристики материалов для исследуемых легких бетонов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики материалов для легких бетонов

Назначение	Наименование материала	Нормативный документ	Плотность, ρ , кг/м ³	Насыпная плотность, ρ , кг/м ³	Модуль крупности
Вязущее	Портландцемент — М400	ГОСТ 31108-2016 ⁴	3110	1250	
Заполнитель	Песок речной	ГОСТ 8736-2014 ⁵	2650	1230	$M_{кр} = 1,6$ (относится к мелким пескам)
Заполнитель	Регенерат	ГОСТ 8736-2014 ⁵	2654	1230	$M_{кр} = 0,63-0,8$ (относится к пескам очень тонким)
	Вода	ГОСТ 23732-2011 ⁶	997		

Подбор состава образцов проводился по методике, рассмотренной в ГОСТ 27006-2019⁷.

Для образования пористой структуры бетонной смеси использовался комплексный порообразователь на основе пыли газоочистки.

⁴ ГОСТ 31108-2016 «Межгосударственный стандарт. Цементы общестроительные. Технические условия».

⁵ ГОСТ 8736-2014. «Песок для строительных работ. Технические условия».

⁶ ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

⁷ ГОСТ 27006-2019 «Бетоны. Правила подбора состава».

Планирование эксперимента по определению характеристик легких бетонов на основе отходов местных производств

Целью экспериментальных исследований являлось определение возможности использования в качестве заполнителей для легкого бетона отходов местных производств, а также определение оптимального содержания заполнителей в составе бетонной смеси при различных технологиях уплотнения. Для этого был использован метод математического планирования эксперимента с использованием нескольких выходных параметров.

При изготовлении опытных образцов предусматривалось использование во всех опытах одной серии сырьевых компонентов из одной партии; хранение сырьевых компонентов в герметичной таре.

Формы для изготовления образцов соответствовали ГОСТ 22685-89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия»⁸.

Для приготовления бетонной смеси использовалось стандартное лабораторное оборудование. Компоненты дозировались на лабораторных весах с погрешностью 0,5 %, затем сухие компоненты перемешивались.

В опытах варьировались:

- технология уплотнения бетона — виброуплотнение, торкретирование;
- возраст бетона — 7, 28 сут.;
- вид НДС — осевое сжатие, кубы 100×100×100 мм и призмы 100×100×400 мм (виброуплотнение) и кубы 150×150×150 мм и призмы 100×100×400 мм (торкретирование);
- вид НДС — осевое растяжение, призмы 100×100×400 мм (виброуплотнение) и призмы 100×100×400 мм (торкретирование);
- режим испытаний — с постоянной скоростью нагружения и деформирования.

Планирование эксперимента показано на рисунке 1.

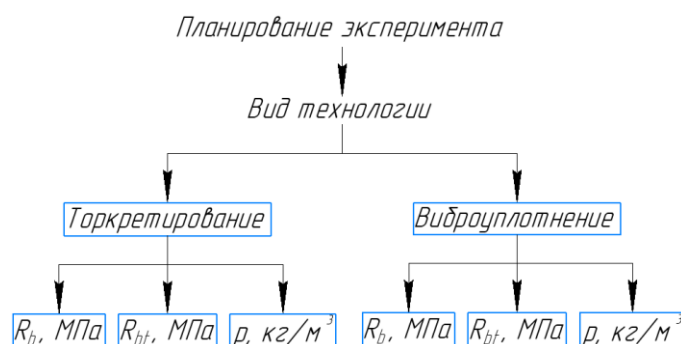


Рисунок 1. Планирование эксперимента (рисунок выполнен авторами)

Состав бетонной смеси контрольных образцов имел соотношение Ц:П = 1:1.7 и оставался постоянным при различном количестве комплексного порообразователя в пределах 2–46 %. Уровни варьирования фактора представлены в таблице 2.

⁸ ГОСТ 22685-89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия».

Таблица 2

Уровни варьирования факторов контрольных образцов

№ п/п	Название фактора	Уровень варьирования				Шаг варьирования
		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)	верхний (+2)	
1	Порообразователь, %, от массы цемента	2	16	30	46	14

Экспериментальные образцы были изготовлены с применением дробного факторного эксперимента из трех факторов четырех уровней (табл. 3). При каждом значении варьируемых факторов испытывалось по три образца для исключения получения случайных результатов⁹.

Изготовление образцов с использованием метода виброуплотнения проводилось в лабораторных условиях при помощи вибростолы ЛВС 180 во временном диапазоне 15–60 сек. Бетонная смесь укладывалась в формы, после чего производилось виброуплотнение.

Изготовление образцов методом торкретирования осуществлялось компрессором фирмы Power Technic 440/100 с использованием пневмоковша. Давление подаваемое компрессором составляло 4–6 атм. Формы устанавливались под углом 90°С на расстоянии 0,3 м от пневмоковша. Смесь наносилась послойно.

Таблица 3

Уровни варьирования факторов экспериментальных образцов

№ п/п	Название фактора	Уровни варьирования				Шаг варьирования
		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)	верхний (+2)	
1	Регенерат, %, от массы цемента	15	30	45	60	15
2	Отношение Ц/П	1,5	1,35	1,2	1,05	0,15
3	Порообразователь, %, от массы цемента	2	16	30	46	14

Сушка образцов проводилась в соответствии с ГОСТ 12730.2 и ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности»¹⁰. Масса образцов определялась на технических весах по ГОСТ 24104¹¹.



Рисунок 2. Разрушение образца при испытании:
а — на осевое сжатие; б — на осевое растяжение (выполнено авторами)

⁹ ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

¹⁰ ГОСТ 12730.2 и ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

¹¹ ГОСТ 24104-2001 Весы лабораторные. Общие технические требования.

Испытания образцов на осевое сжатие проводились на прессе ПСУ-125, а на осевое растяжение — на разрывной машине Р-50, по достижении возраста бетона 7 и 28 сут. соответственно (рис. 2). Разрушение образцов на сжатие имело классическую форму двух усеченных пирамид. При испытании на осевое растяжение разрушение образцов происходило в зоне крепления анкеровки закладной арматуры, установленной в теле образца для закрепления в разрывной машине.

Результаты экспериментальных исследований

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что применение регенерата в качестве заполнителя и пыли газоочистки в составе комплексного порообразователя позволяет получить легкий бетон со следующими характеристиками (табл. 4, 5):

- при технологии виброуплотнения 1510–1810 кг/м³, классы бетона на сжатие В15, на растяжение В2,5 (рис. 3);
- при технологии торкретирования 1720–2050 кг/м³, классы бетона на сжатие В20, на растяжение В3,5.

Таблица 4

Результаты испытаний контрольных образцов

Составы	Вид укладки	В/т	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		Прочность при растяжении, МПа		Класс бетона
				7	28	7	28	
№1 Нижний уровень	виброуплотнение	0,25	1360	1,7	3,5	0,073	0,126	B5/Bt1,6
	торкретирование		1558	2,37	4,7	0,082	0,141	B7,5/Bt1,6
№ 2 Основной	виброуплотнение	0,25	1270	1,57	3,2	0,058	0,1	B5/Bt1,2
	торкретирование		1470	2,32	4,55	0,072	0,124	B7,5/Bt1,2
№ 3 Верхний	виброуплотнение	0,25	1040	1,25	2,34	-	-	B3,5/-
	торкретирование		1290	2,01	3,7	0,055	0,095	B5/Bt1,2
№4 Верхний	виброуплотнение	0,25	0810	0,58	1,72	-	-	B 2,5/-
	торкретирование		1050	1,15	2,42	-	-	B3,5/-

Таблица 5

Результаты испытаний экспериментальных образцов

Составы	Вид укладки	В/т	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		Прочность при растяжении, МПа		Класс бетона
				7	28	7	28	
№1 Нижний уровень	виброуплотнение	0,25	1518	5,5	9,3	0,13	0,235	B15/Bt2,5
	торкретирование		1720	6,9	11,9	0,15	0,261	B20/Bt3,5
№ 2 Основной уровень	виброуплотнение	0,25	1570	5,8	10,1	0,14	0,245	B15/Bt2,5
	торкретирование		1770	7,2	12,3	0,156	0,267	B20/Bt3,5
№ 3 Верхний уровень	виброуплотнение	0,3	1640	6,6	11,3	0,148	0,263	B15/Bt2,5
	торкретирование		1890	8,2	14,1	0,164	0,281	B20/Bt3,5
№4 Верхний уровень	виброуплотнение	0,33	1810	5,4	9,5	0,133	0,228	B 15/Bt2,5
	торкретирование		2050	6,8	11,8	0,153	0,262	B20/Bt3,5

Применение регенерата и пыли газоочистки в составе комплексного порообразователя в бетонной смеси позволило повысить прочность на сжатие при методе виброуплотнения в 2,5 раза, при методе торкретирования в 3 раза, в сравнении с контрольными образцами. Прочность на растяжение бетона осталась неизменной. При этом содержание регенерата 15–45 % от массы цемента положительно влияет на прочностные свойства, а превышение на 60 % от массы цемента — снижает прочность и увеличивает плотность бетона (рис. 3, 4).

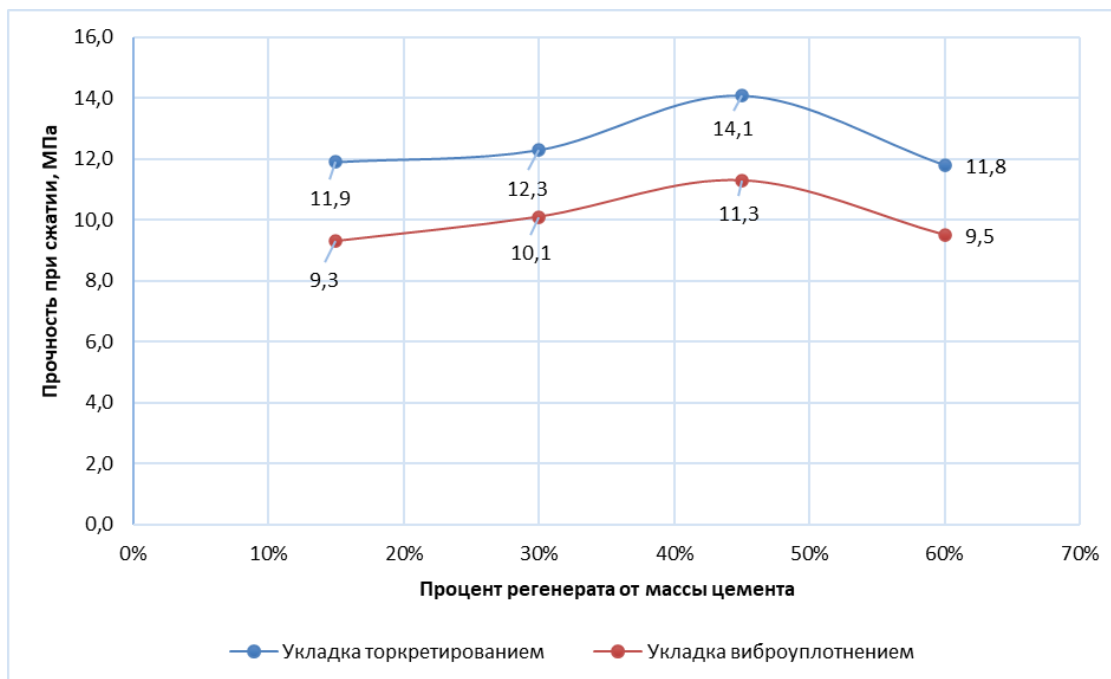


Рисунок 3. Влияние количества регенерата на прочность при сжатии (график выполнен авторами)

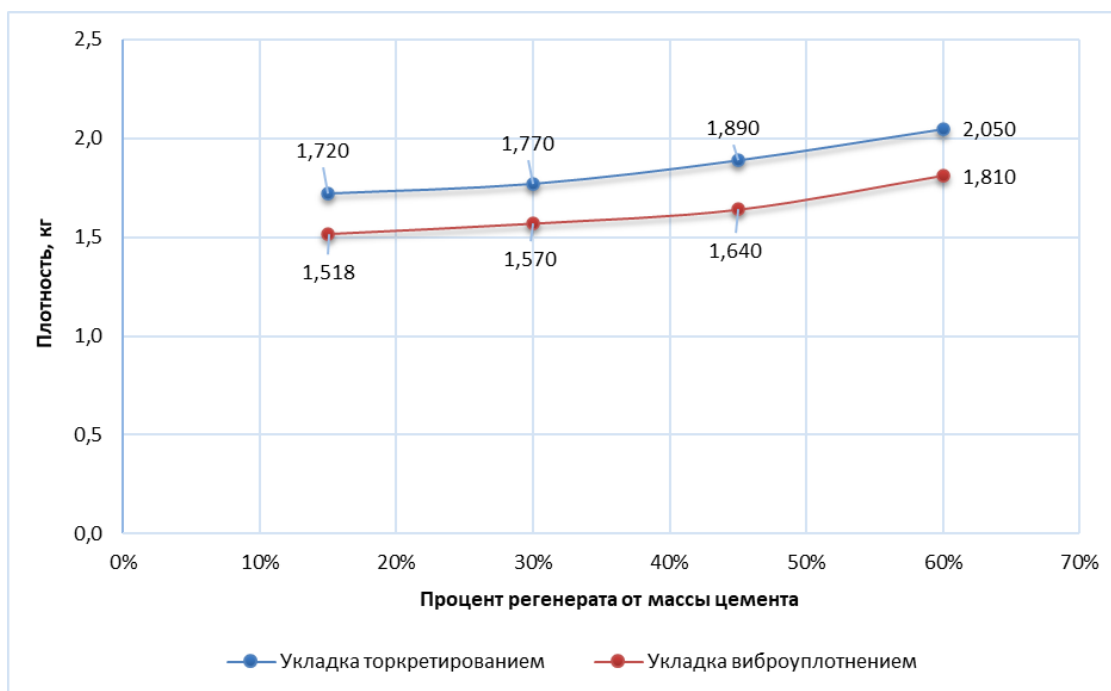


Рисунок 4. График зависимости плотности бетона от количества регенерата (график выполнен авторами)

При этом экспериментально установлено, что введение регенерата в бетонную смесь дает определённые преимущества в сокращении сроков схватывания без введения дополнительных пластификаторов, так как в нем содержится до 99,2 % SiO_2 . Определение сроков схватывания было проведено с учетом ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности измерения объема¹².

Проведенные исследования доказали, что использование регенерата в бетонной смеси позволяет сократить сроки схватывания в 1,5 раза в сравнении с контрольными образцами.

Анализ результатов испытаний показал, что максимальная прочность легкого бетона была достигнута в образцах, изготовленных методом торкретирования. Прирост прочности на сжатие составил 34–58 %, на растяжение — до 11 % в сравнении с контрольными образцами, выполненными с использованием метода виброуплотнения. Увеличение количества комплексного порообразователя привело к снижению плотности и соответственно к снижению прочности.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования доказали возможность использования отходов местных производств для изготовления легких бетонов. При этом эффективной технологией укладки является метод торкретирования. Оптимальными по количеству в составе торкретированных легких бетонов будут количество регенерата в пределах 15–30 % от массы цемента, порообразователя на основе пыли газоочистки от 16 до 30 % от массы цемента.

¹² ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности измерения объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швырков С.А., Петров А.П., Назаров В.П., Юрьев Я.И. Теплотехнические свойства бетона, торкрет-бетона и торкрет-фибробетона в условиях углеводородного пожара // Пожаровзрывбезопасность. — 2016. — Т. 25, № 12. — С. 5–12. DOI:10.18322/PVB.2016.25.12.5-12.
2. Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях // 2017. № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421>.
3. Черепанова Е.Е., Полетаева Е.С. Новшества в строительстве: фибробетон // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2013. С. 42–46.
4. Копылов И.А. Применение торкрет-бетона в современном строительстве. Технологии бетонов, № 1–2, 2017. — С. 13–15.
5. Веревичева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. // Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение», вып. 82. 2015 С. 25–30.
6. Tom Melbye, Ross Dimmock, Knut F. Garshol. (2006). Sprayed Concrete for Rock Support. 11th edition, December, 2006, 280 p.
7. Ana Baricevic, Martina Pezer, Marija Jelcic Rukavina, Marijana Serdar, Nina Stirmer. Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete. // Construction and Building Materials. Volume 176, 2018. Pages 135–144. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.229>.
8. Емельянова Т.А., Денисова А.П. Тенденции развития и перспективы применения метода торкретирования // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 12. — С. 48–50.
9. Пикус Г.А. Технология торкретирования фибробетона [Текст] / Г.А. Пикус, Б.А. Евсеев. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. — 63 с.
10. Куликов А.В., Иванов В.П., Баев С.М. Исследование свойств и области применения торкрет-бетонов // ЗАО «Служба защиты сооружений», 2008.

Golova Tatyana Aleksandrovna

National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute»
Balakovo Institute of Engineering and Technology, Balakovo, Russia
E-mail: emelyanova-tanya@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214652

Magerramova Inna Aleksandrovna

National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute»
Balakovo Institute of Engineering and Technology, Balakovo, Russia
E-mail: innamag82@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=707103

Andreeva Natalya Viktorovna

National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute»
Balakovo Institute of Engineering and Technology, Balakovo, Russia
E-mail: andreevane@list.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=704487

Lightweight concretes based on waste from local industries and the choice of technology for laying concrete mix

Abstract. The article considers the possibility of using industrial waste for the manufacture of lightweight concrete. The purpose of the research is to determine the influence of the technology of laying concrete mix, as well as the influence of waste from local industries used as aggregates on the strength characteristics of light concrete.

A plan for conducting an experiment to determine the characteristics of light concrete based on waste from local industries is presented. The main characteristics of the materials used for the studied light concretes are indicated.

The results of tests of control and experimental samples are presented in tabular form, the values of density, compressive and tensile strength, as well as the resulting concrete class are indicated.

The authors have experimentally established that the use of waste as fillers has a positive effect on the strength characteristics of the resulting concretes. The results of studies proving the influence of the method of laying concrete mix on the strength characteristics are presented. Graphs showing the effect of the quantity of regenerate on the compressive strength, as well as graphs of the dependence of the density of concrete on the amount of regenerate are given.

Based on the conducted experimental studies, recommendations are given for the quantitative use of waste from local industries as part of light concrete. The effective technology of laying concrete mix has been determined.

Keywords: shotcrete; light concrete; shotcrete technology; vibration compaction technology; waste from local industries; compressive strength of concrete; tensile strength of concrete