

Исследование дифференциальных прочностных и деформативных характеристик центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе

УДК 691.32

Маилян Левон Рафаэлович

Профессор, д.т.н., академик РААСН, профессор кафедры «Автомобильные дороги» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: lrm@aaanet.ru

Стельмах Сергей Анатольевич

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: au-geen@mail.ru

Черных Дмитрий Сергеевич

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: d.s.chernykh@gmail.com

Строев Дмитрий Александрович

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: mr.stroev@mail.ru

Чернильник Андрей Александрович

Аспирант Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: chernila_a@mail.ru

INVESTIGATION OF DIFFERENTIAL STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF CENTRIFUGED AND VIBRO-CENTRIFUGED CONCRETES ON ACTIVATED PORTLAND CEMENT

Mailyan Levon Rafaelovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Academician of RAACS, Professor of Department of Roads, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: lrm@aaanet.ru

Stel'makh Sergei Anatol'evich

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Engineering Geology, Bases and Foundations, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Shcherban' Evgenii Mikhailovich

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Engineering Geology, Bases and Foundations, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: au-geen@mail.ru

Chernykh Dmitrii Sergeevich

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Roads, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: d.s.chernykh@gmail.com

Stroev Dmitrii Aleksandrovich

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Roads, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: mr.stroev@mail.ru

Chemil'nik Andrei Aleksandrovich

Postgraduate, Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: chernila_a@mail.ru

Annotation: In this work, the study of strength and deformation characteristics of variotropic layers of centrifuged and vibro-centrifuged concretes on activated Portland cement was carried out. Mechanical activation of cement was carried out with the help of a specialized grinding unit – a spherical planetary mill “Activator-4M”. The optimal mode of grinding Portland cement is proposed. For the manufacture of centrifuged and vibro-centrifuged samples, an experimental laboratory centrifuge TSRL-1 with a DC electric motor with thyristor power supplies was used, and the vibrations of the mold were carried out due to additional dowels (protrusions) put on the shafts. All samples were made of concrete of the same composition. In total, four basic samples of annular cross-section with dimensions were manufactured and tested: outer diameter $D = 450$ mm; inner diameter of the hole $d = 150$ mm; total height $H = 1200$ mm. The optimal values of technological parameters of centrifugation and vibration centrifugation are given. A scheme for obtaining small-sized samples is proposed, where the production of small-sized samples to determine the strength and deformation characteristics of various layers of the sample was carried out by cutting them out of a common annular section. According to the results of the study, it was found that the activation of Portland cement at its rational values is the optimal way to enhance variatropy.

Keywords: centrifuged concrete, vibro-centrifuged concrete, reinforced concrete, activated Portland cement, differential characteristics, deformative characteristics, strength characteristics

Аннотация. В данной работе было проведено исследование прочностных и деформативных характеристик вариатропных слоев центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе. Механическая активация цемента осуществлялась с помощью специализированного помольного агрегата - шаровая планетарная мельница «Активатор-4М». Предложен оптимальный режим измельчения портландцемента. Для изготовления центрифугированных и виброцентрифугированных образцов была применена экспериментальная лабораторная центрифуга ЦСРЛ-1 с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания, а вибрации формы осуществлялись за счет дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов). Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава. Всего изготовлено и испытано четыре базовый образца кольцевого сечения с размерами: внешний диаметр $D = 450$ мм; внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм; общая высота $H = 1200$ мм. Приведены оптимальные значения технологических параметров центрифугирования и виброцентрифугирования. Предложена схема получения малоразмерных образцов, где изготовление малоразмерных образцов для определения прочностных и деформативных характеристик различных слоев образца осуществлялось путем их выпиливания из общего кольцевого сечения. По результатам проведенного исследования установлено, что активация портландцемента при ее рациональных значениях является оптимальным способом усиления вариатропии.

Ключевые слова: центрифугированный бетон, виброцентрифугированный бетон, железобетон, активированный портландцемент, дифференциальные характеристики, деформативные характеристики, прочностные характеристик

Введение

Актуальность исследования обусловлена острой проблемой нехватки эффективных строительных железобетонных конструкций — ресурсосберегающих, энергосберегающих и материалоемких по своей сути.

Ранее в наших работах и в исследованиях других авторов были установлены рациональные конструктивные рецептурные и технологические решения касательно центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов, имеющих вариатропную структуру и применяемых для полых изделий и конструкций,

имеющих кольцевое сечение. Такие конструктивные особенности позволяют, во-первых, более полно использовать преимущества, возникающие вследствие вариатропии бетона при возведении таких конструкций, а во-вторых, снизить материалоемкость и ресурсоемкость в самой технологической последовательности операций при заводском изготовлении, а также при их монтаже в условиях стройплощадки.

Известно из работ многих авторов о том, что активированный портландцемент, то есть домолотый механическим способом в шаровых мельницах, позволяет существенно повысить качество и характеристики получаемых с его применением изделий и конструкций как бетонных, так и железобетонных и фибробетонных [1-8]. Поэтому ранее в наших работах была выдвинута гипотеза о возможности совмещения активации портландцемента и изготовления железобетонных изделий и конструкций методом центробежного уплотнения с дополнительным вибрированием, то есть виброцентрифугирование [9]. Таким образом, получая вариатропную конструкцию с максимально возможным уровнем вариатропии на современной стадии технологических возможностей и добавив при этом рецептурный аспект в виде активированного тонкодисперсного портландцемента с высоким уровнем удельной поверхности, мы получаем синергетический эффект и, тем самым, влияем на прочностные и иные характеристики получаемых бетонов. Также с учетом того, что в наших работах интерес вызывает именно дифференциация по слоям [10, 11], то есть вариатропия, нас в первую очередь будут интересовать дифференциальные, то есть различающиеся по сечению прочностные характеристики виброцентрифугированных и центрифугированных бетонов. В этой связи была выдвинута гипотеза о том, что дифференциальные прочностные характеристики напрямую будут зависеть от вида применяемого портландцемента.

Таким образом, целью настоящей статьи является выявление роли активации портландцемента в процессе формирования характеристик, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов, а также в выявлении влияния этой активации портландцемента на значения дифференциальных прочностных характеристик.

Таким образом, задача исследования сводится к следующему: обзор и анализ литературы, посвященной повышению качества портландцемента, применяемого при производстве железобетонных изделий и конструкций, анализ работ, посвященных вариатропным конструкциям, постановка целей и задачи исследования, разработка программы методики экс-

перимента, экспериментальные исследования, формулирование выводов и разработка предложений по практическому внедрению полученных результатов.

Материалы и методы

Механическая активация цемента осуществлялась с помощью специализированного помольного агрегата – шаровой планетарной мельницы «Активатор-4М». Технические характеристики шаровой планетарной мельницы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики «Активатор-4М»

Наименование показателя	Единицы измерения	Показатель
Планетарный диск: - скорость вращения - эффективный диаметр	об/мин мм	100–800 400
Скорость вращения барабанов	об/мин	150–1650
Центробежное ускорение	м/с ²	1500
Барабаны	шт	4
Объем барабана	мл	1000
Загрузка шаров	г	600–1400
Загрузка порошка	г	50–400
Материал: шары		ШХ15СГ
барабаны	мм	95 180

В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ПЦ 400 Д0, в таблице 2 представлены его физико-механические характеристики, а в таблице 3 – его минералогический состав.

Таблица 2

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 400 Д0

Наименование свойства	Значение
Тонкость помола, проход через сито № 008, %	95,8
Удельная поверхность, см ² /г	2988,5
Нормальная густота цементного теста, %	26,5
Сроки схватывания, час:мин - начало - конец	0:48 4:00
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	42,5

Таблица 3

Минералогический состав портландцемента

Марка цемента	Минералогический состав, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
ПЦ 400 Д0	64	11	7,1	13,2

Режим помола портландцемента марки ПЦ 400 Д0 рекомендуется проводить при следующих параметрах (время помола = 2 мин; частота вращения ротора $\rho = 35$ Гц).

Для изготовления центрифугированных и виброцентрифугированных образцов была применена экспериментальная лабораторная центрифуга ЦСРЛ-1 с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания, принципиальная схема и подробное описание которой представлены в работе [12]. Вибрации формы осуществлялись за счет дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов), на которых вращающаяся форма с бетонной смесью подвергалась дополнительной вибрации [13–15].

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень, физико-механические характеристики которого представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Физико-механические характеристики щебня

Фракция	Насыщенная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	Дробимость, % по массе
5-20	1470	45,7	0,65	17	12,7

В качестве мелкого заполнителя применялся песок кварцевый, физико-механические характеристики которого представлены в таблице 5.

Таблица 5

Физические свойства мелкого заполнителя

Плотность, г/см ³	Насыщенная плотность, кг/м ³	Модуль крупности	Пустотность, %	Водопоглощаемость, %
2,62	1480	1,4	43,3	9

Для регулирования подвижности бетонных смесей использовался суперпластификатор Muraplast FK 48 в количестве 1,5 % от массы цемента.

Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на 1 м³ составил: Ц = 520 кг, Щ = 1331 кг, П = 396 кг, В = 193 л.

Всего изготовлено и испытано четыре базовых образца кольцевого сечения с размерами:

- внешний диаметр $D = 450$ мм;
- внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм;
- общая высота $H = 1200$ мм.

Изготовление центрифугированных образцов с активированным и неактивированным портландцементом осуществлялось при следующих значениях параметров центрифугирования: режим разгона и торможения вращения – традиционный; угловая скорость вращения – 156 рад/с; время центрифугирования – 12 мин.

Изготовление виброцентрифугированных образцов с активированным и неактивированным портландцементом осуществлялось при тех же самых значениях параметров центрифугирования и при следующих значениях параметров виброцентрифугирования: высота технологических выступов хомутов – 5 мм; длина технологических выступов хомутов – 20 мм; шаг между технологическими выступами хомутов – 30 мм; режим вибрирования – попеременный. Попеременный режим вибрирования характеризуется тем, что на приводном вале выступы хомутов, надетых на вал с обеих сторон, расположены симметрично и параллельно по отношению друг к другу, а на опорном вале – несимметрично с различным градиентом запаздывания.

Исследование дифференциальных прочностных и деформативных характеристик центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе заключается в определении данных характеристик различных слоев образца. Изготовление малоразмерных образцов для определения прочностных и деформативных характеристик различных слоев образца осуществлялось путем их выпиливания из общего кольцевого сечения, схема получения малоразмерных образцов представлена на рис. 1. Для этой цели из общего кольцевого сечения образца условно был выделен квадрант размером $150 \times 150 \times 150$ мм, сечение квадранта делилось на три слоя по 50 мм каждый – внешний, средний и внутренний. По высоте образец делился на четыре уровня: первый уровень – выпиливалось 9 кубов размерами $50 \times 50 \times 50$ мм, для определения кубиковой прочности при сжатии; второй уровень – 9 призм размерами $50 \times 50 \times 200$ мм для определения призмной прочности при сжатии; третий уровень – 9 призм размерами $50 \times 50 \times 200$ мм для определения прочности на растяжение при изгибе; четвертый уровень – 9 призм размерами

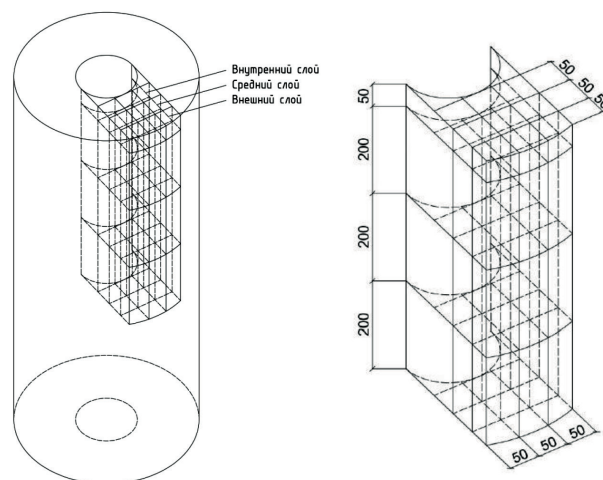


Рис. 1. Схема получения малоразмерных образцов

$50 \times 50 \times 200$ мм для определения прочности при осевом растяжении.

Испытания на сжатие и растяжение при изгибе проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180.

Испытания на осевое сжатие и осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 24452.

Результаты обсуждения

Результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных характеристик вариативных слоев центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе представлены в таблицах 6 – 7 и на рис. 2 – 8.

Проанализировав полученные данные, установлено, что значения прочностных и деформативных характеристик внутреннего, среднего и внешнего слоев центрифугированного бетона на неактивированном портландцементе ниже тех же значений центрифугированного бетона на активированном портландцементе. Данная тенденция наблюдается и у виброцентрифугированных образцов. Максимальные значения прочностных и минимальные значения деформативных характеристик зафиксированы у виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе. Таким образом совместное влияние технологии виброцентрифугирования и активации портландцемента приводит к заметному улучшению прочностных и деформативных характеристик бетона.

**Результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных характеристик
вариатропных слоев центрифугированных бетонов на активированном портландцементе**

Центрифугированный бетон													
На неактивированном портландцементе							На активированном портландцементе						
$R_{b, cub}, МПа$	$R_b, МПа$	$R_{bt}, МПа$	$R_{bb}, МПа$	$E_{bR}, мм/м \cdot 10^{-3}$	$E_{btR}, мм/м \cdot 10^{-4}$	$E_b = E_{bt}, МПа \cdot 10^3$	$R_{b, cub}, МПа$	$R_b, МПа$	$R_{bt}, МПа$	$R_{bb}, МПа$	$E_{bR}, мм/м \cdot 10^{-3}$	$E_{btR}, мм/м \cdot 10^{-4}$	$E_b = E_{bt}, МПа \cdot 10^3$
Внешний слой													
67,8	34,9	8,1	4,7	1,89	1,08	36,7	74,8	37,4	9,1	5,2	1,79	0,92	37,3
Средний слой													
42,1	21,6	5,1	3,1	2,02	1,11	32,1	44,2	23,1	5,4	3,3	1,95	1,01	33,7
Внутренний слой													
30,2	15,6	3,2	2,2	2,15	1,17	27,4	33,2	16,9	3,9	2,4	2,07	1,08	28,2

Таблица 7

**Результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных характеристик
вариатропных слоев виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе**

Виброцентрифугированный бетон													
На неактивированном портландцементе							На активированном портландцементе						
$R_{b, cub}, МПа$	$R_b, МПа$	$R_{bt}, МПа$	$R_{bb}, МПа$	$E_{bR}, мм/м \cdot 10^{-3}$	$E_{btR}, мм/м \cdot 10^{-4}$	$E_b = E_{bt}, МПа \cdot 10^3$	$R_{b, cub}, МПа$	$R_b, МПа$	$R_{bt}, МПа$	$R_{bb}, МПа$	$E_{bR}, мм/м \cdot 10^{-3}$	$E_{btR}, мм/м \cdot 10^{-4}$	$E_b = E_{bt}, МПа \cdot 10^3$
Внешний слой													
69,4	35,2	8,3	4,8	1,83	0,92	37,5	78,3	39,8	9,4	5,4	1,68	0,89	38,5
Средний слой													
43,8	22,3	5,3	3,3	1,97	1,01	32,1	46,8	24,6	5,6	3,5	1,85	0,95	34,2
Внутренний слой													
31,9	17,8	3,4	2,4	2,10	1,21	27,4	33,2	17,9	4,0	2,5	2,05	1,06	29,1

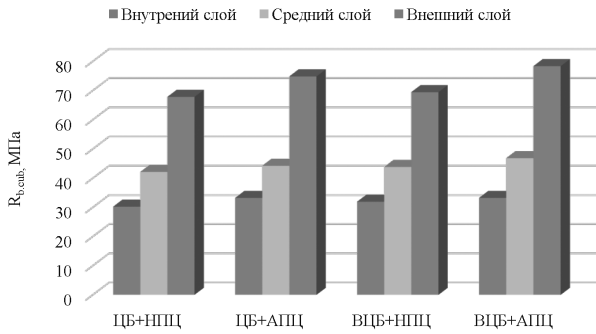


Рис. 2. Зависимость изменения кубиковой прочности вариатропных слоев при сжатии (ЦБ+НПЦ – центрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе; ВЦБ+НПЦ – виброцентрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ВЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе)

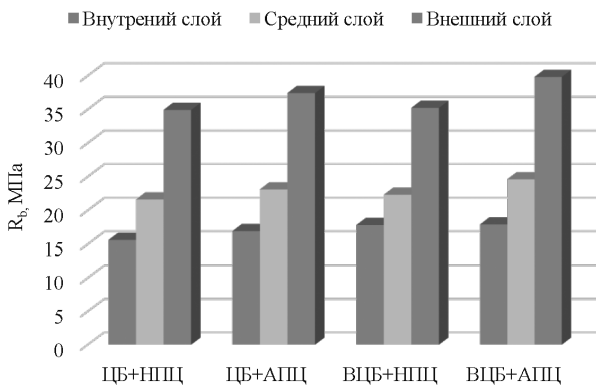


Рис. 3. Зависимость изменения призмной прочности вариатропных слоев при сжатии (см. Рис. 2)

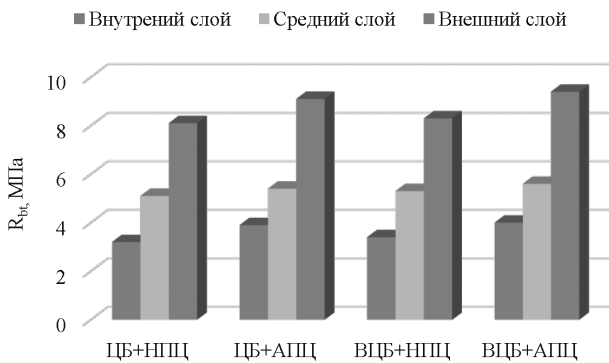


Рис. 4. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе вариатропных слоев (см. Рис. 2)

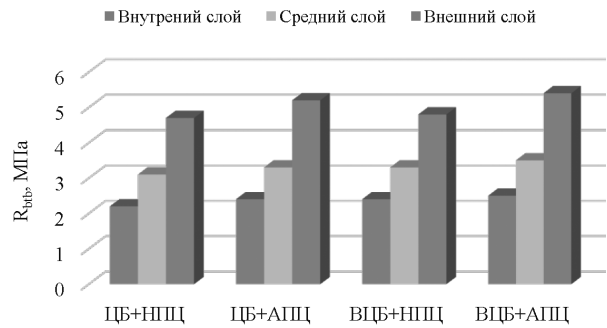


Рис. 5. Зависимость изменения прочности при осевом растяжении вариатропных слоев (см. Рис. 2)

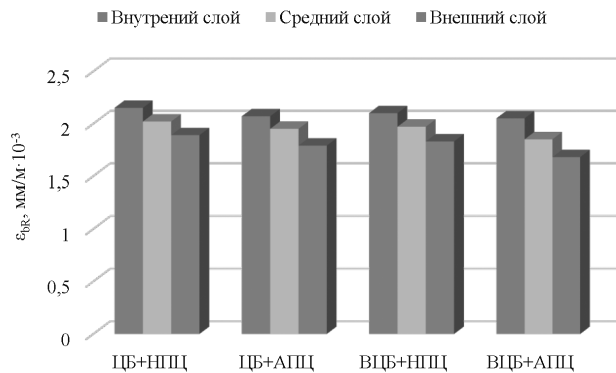


Рис. 6. Зависимость изменения предельных деформаций при осевом сжатии вариатропных слоев (см. Рис. 2)

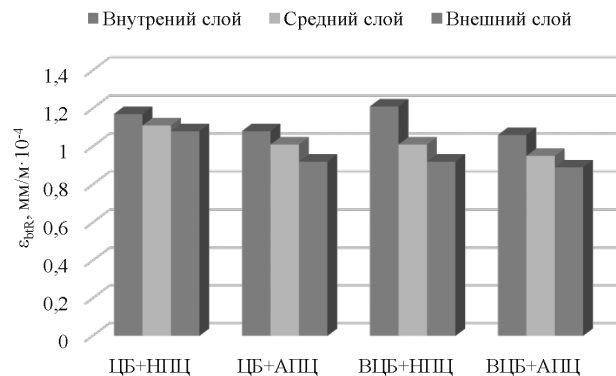


Рис. 7. Зависимость изменения предельных деформаций при осевом растяжении вариатропных слоев (см. рис. 2)

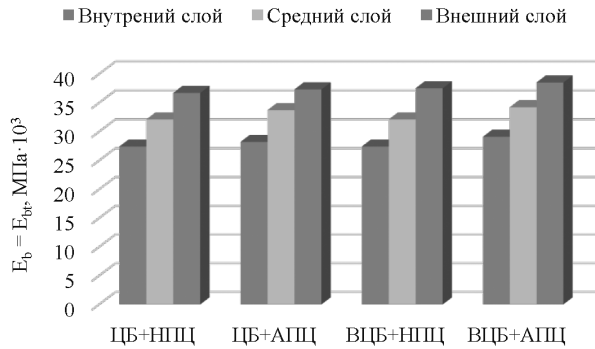


Рис. 8. Зависимость изменения модуля упругости вариатропных слоев (см. рис. 2)

Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие выводы. Вариатропностью центрифугиро-

ванных и виброцентрифугированных железобетонных изделий возможно управлять с помощью активации портландцемента, применяемого при их изготовлении. Активация портландцемента при ее рациональных значениях является оптимальным способом усиления вариатропии и, тем самым, ведет к улучшению характеристик бетона.

Результаты проведенного исследования рекомендуются к применению в промышленном и гражданском строительстве при проектировании и расчете строительных конструкций, изготовленных из железобетонных изделий кольцевого сечения с вариатропной структурой и при промышленных технологиях производства таких изделий, в нормативно-технических документах на расчет, проектирование и изготовление таких конструкций, для условий стройплощадки и для применения в учебно-методических документах при изучении дисциплин по технологии железобетонных изделий.

Литература

- Баженов Ю.М. Современная технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов // Технологии бетонов. – 2005. – № 6. – С. 6–8.
- Федюк Р.С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей [Текст] / Р.С. Федюк, А.В. Мочалнов, В.С. Лесовик // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2018. – № 4(37). – С. 85–99. DOI: 10.5281/zenodo.2008670.
- Saadoon T. New predictive methodology for the apparent activation energy and strength of conventional and rapid hardening concretes / T. Saadoon, B. G mez-Meijide, A. Garcia // (2019) Cement and Concrete Research 115, pp. 264–273. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.10.020.
- Williamson T. The role of activating solution concentration on alkali–silica reaction in alkali-activated fly ash concrete / T. Williamson, M.C.G. Juenger M.C.G. // (2016) Cement and Concrete Research 83, pp. 124–130. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.02.008.
- Buttress A. Microwave processing of cement and concrete materials – towards an industrial reality / A. Buttress, A. Jones, S. Kingman // (2015) Cement and Concrete Research 68, pp. 112–123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.11.002.
- Прокопец В.С., Лесовик В.С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией [Текст]. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. – 264 с.
- Ibragimov R.A. Effect of mechanochemical activation of a binder on the properties of fine-grained concrete [Текст] / R.A. Ibragimov R.A., S.I. Pimenov, V.S. Izotov // Magazine of Civil Engineering. – 2015. – №2. – pp. 63–69. DOI: 10.5862/MCE.54.7.
- Зайченко Н.М., Халюшев А.К., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нахуев М.П., Чернильник А.А. Способ поверхностного модифицирования цемента // Пат. на изобретение 2715276 Россия, МПК С04В 40/02. – № 2019138010; заявл. 25.11.2019; опубл. 26.02.2020, Бюл. № 6.
- Маилян Л.Р. Влияние технологии производства на структурообразование и свойства бетона виброцентрифугированных колонн [Текст] / Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, М.Г. Холодняк, Е.М. Щербань, А.К. Халюшев // Строительство и архитектура. – 2017. – Том 5. – № 4 (17). – С. 224–228.
- Маилян Л.Р. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона [Электронный ресурс] / Л.Р. Маилян, С.А. Стельмах, М.Г. Холодняк, А.К. Халюшев, Е.М. Щербань, М.П. Нахуев // Вестник Евразийской науки. 2018. №4. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf>.
- Stel'makh S.A. Theoretical and Practical Aspects of the Formation of the Variational Structure of Centrifuged Products from Heavy Concrete / S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban, A.I. Shuyskiy, M.P. Nazhuyev // (2018) Materials Science Forum 931, pp. 502–507.
- Холодняк М.Г. Совершенствование расчета и технологии создания виброцентрифугированных железобетонных колонн с учетом вариатропии структуры: дис. канд. техн. наук [Текст]. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. – 185 с.
- Нахуев М.П. Влияние технологических факторов на конструктивные характеристики бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения [Электронный ресурс] / М.П. Нахуев, М.Г. Холодняк, Н.С. Курбанов, Е.Ю. Евлахова, А.К. Халюшев // Вестник Евразийской науки: научный журнал. – 2019. – № 3. URL: <https://esj.today/PDF/20SAVN319.pdf>.
- Нахуев М.П. Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов [Текст] / М.П. Нахуев, П.М. Джамилова, Ф.А. Батаева, З.И. Бакаев, А.Х. Кукаев, А.А. Османов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 1. – С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19.
- Нахуев М.П. Управление интегральными деформативными характеристиками бетона за счет варьирования высоты и шага технологических выступов хомутов виброцентрифугирующих устройств [Текст] / М.П. Нахуев, Р.Г. Саркисян, Д.М. Ельшашева, Н.А. Доценко, М.С. Самофалова, Ю.В. Жеребцов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2021. – № 1. – С. 108–118. DOI: 10/248666/2227-6858/2021-1-12.

References

1. Bazhenov Yu.M. Sovremennaya tekhnologiya betona [Modern concrete technology]. Tekhnologii betonov [Concrete technology]. 2005. № 6. pp. 6–8.
2. Fedyuk R.S. Sovremennyye sposoby aktivatsii vyazhushchego i betonnykh smesei [Modern methods of activating binder and concrete mixtures]. Vestnik Inzhenernoi shkoly DVFU [FEFU: School of Engineering Bulletin]. 2018. I. 4(37). pp. 85–99. DOI: 10.5281/zenodo.2008670.
3. Saadoon T. New predictive methodology for the apparent activation energy and strength of conventional and rapid hardening concretes / T. Saadoon, B. G. mez-Mejjide, A. Garcia // (2019) Cement and Concrete Research 115, pp. 264–273. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.10.020.
4. Williamson T. The role of activating solution concentration on alkali–silica reaction in alkali-activated fly ash concrete / T. Williamson, M.C.G. Juenger M.C.G. // (2016) Cement and Concrete Research 83, pp. 124–130. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.02.008.
5. Buttress A. Microwave processing of cement and concrete materials – towards an industrial reality / A. Buttress, A. Jones, S. Kingman // (2015) Cement and Concrete Research 68, pp. 112–123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.11.002.
6. Prokopets B.C., Lesovik V.S. Proizvodstvo i primeneniye dorozhno-stroitel'nykh materialov na osnove syr'ya, modifitsirovannogo mekhanicheskoi aktivatsiei [Production and use of road-building materials based on raw materials modified by mechanical activation]. Belgorod Izd. BGTU [Belgorod BGTU Publishing House]. 2005. 264 p.
7. Ibragimov R.A. Effect of mechanochemical activation of a binder on the properties of fine-grained concrete / R.A. Ibragimov R.A., S.I. Pimenov, V.S. Izotov // (2015) Magazine of Civil Engineering. №2. pp. 63–69. DOI: 10.5862/MCE.54.7.
8. Zaichenko N.M., Khalyshev A.K., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P., Chernil'nik A.A. Method for surface modification of cement // Pat. for invention 2715276 Russia, IPC C04B 40/02. - No. 2019138010; declared 11/25/2019; publ. 02/26/2020, Bul. No. 6.
9. Mailyan L.R. Rekomendatsii po uchetu variatropii pri raschete, proektirovanii i izgotovlenii tsentrifugirovannykh konstruktivnykh iz tyazhelogo betona [Recommendations for the consideration of variatropy in the calculation, design and manufacture of centrifuged structures made of heavy concrete]. Vestnik Evraziiskoi Nauki [Bulletin of Eurasian Science]. 2018. I.4. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf>.
10. Stel'makh S.A. Theoretical and Practical Aspects of the Formation of the Variational Structure of Centrifuged Products from Heavy Concrete / S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban, A.I. Shuyskiy, M.P. Nazhnev // (2018) Materials Science Forum 931, pp. 502–507.
11. Stel'makh S.A. Theoretical and Practical Aspects of the Formation of the Variational Structure of Centrifuged Products from Heavy Concrete / S. A. Stel'makh, E. M. Shcherban, A.I. Shuyskiy, M.P. Nazhnev // (2018) Materials Science Forum 931, pp. 502–507.
12. Kholodnyak M.G. Sovershenstvovanie rascheta i tekhnologii sozdaniya vibrotsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn s uchetom variatropii struktury: dis. kand. tekhn. nauk [Improvement of the calculation and technology of creating vibrocentrifuged reinforced concrete columns taking into account the variatropy of the structure: dis. Cand. of Eng. sciences]. Rostov-na-Donu: DGTU [Rostov-na-Donu: DSTU]. 2020. 185 p.
13. Nazhnev M.P. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na konstruktivnyye kharakteristiki betona opytnykh obraztsov tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn kol'tsevogo secheniya [Influence of technological factors on the structural characteristics of concrete of prototypes of centrifuged reinforced concrete annular columns]. Vestnik Evraziiskoi Nauki [Bulletin of Eurasian Science]. 2019. I. 3. URL: <https://esj.today/PDF/20SAVN319.pdf>.
14. Nazhnev M.P. Vliyaniye rezhimov vibrotsentrifugirovaniya na svoystva poluchaemykh betonov [Influence of vibration centrifugation modes on the properties of the concretes obtained] Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova]. 2021. I. 1. pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19.
15. Nazhnev M.P. Upravleniye integral'nymi deformativnymi kharakteristikami betona za schet var'irovaniya vysoty i shaga tekhnologicheskikh vystupov khomutov vibrotsentrifugiruyushchikh ustroystv [Control of the integral deformative characteristics of concrete by varying the height and pitch of the technological protrusions of the clamps of vibrating centrifugation devices]. Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. [Bulletin of the PNRPU. Applied ecology. Urbanism] 2021. I 1. pp. 108–118. DOI: 10/248666/2227-6858/2021-1-12.