

Строительные материалы и изделия

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-12>
УДК 691.32

С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, Д.М. Ельшаева, Ю.В. Жеребцов, Н.А. Доценко,
М.С. Самофалова

СТЕЛЬМАХ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – к.т.н., доцент,
ORCID: 0000-0002-0364-5504, sergej.stelmax@mail.ru
ЩЕРБАНЬ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ – к.т.н., доцент (автор, ответственный за переписку),
ORCID: 0000-0001-5376-247X, au-geen@mail.ru
ЕЛЬШАЕВА ДИАНА МИХАЙЛОВНА – магистрант,
ORCID: 0000-0002-8086-6300, diana.elshaeva@yandex.ru
ЖЕРЕБЦОВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – магистрант,
ORCID: 0000-0002-6162-0049, yuri.zherebtsov@gmail.com
ДОЦЕНКО НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА – магистрант,
ORCID: 0000-0001-7829-6401, natalya.1998.dotsenko@mail.ru
САМОФАЛОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА – магистрант,
ORCID: 0000-0001-9950-8696, mary.ss17@yandex.ru
Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, Россия

Вариатропность структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе

Аннотация: Исследована вариатропность структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе. Определены значения плотностей различных слоев образца. Предложена методика активации портландцемента в шаровой планетарной мельнице «Активатор-4М». Подобран оптимальный режим измельчения портландцемента. Для изготовления центрифугированных и виброцентрифугированных образцов из бетона одинакового состава применена ранее разработанная авторами экспериментальная лабораторная центрифуга ЦСРЛ-1 с электродвигателем постоянного тока и тиристорными блоками питания, а вибрации формы осуществлялись за счет дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов). Всего изготовлено и испытано четыре базовых элемента кольцевого сечения с размерами: внешний диаметр $D = 450$ мм; внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм; общая высота $H = 1200$ мм. Приведены полученные авторами ранее обобщенные оптимальные значения технологических параметров центрифугирования и виброцентрифугирования. Представлена схема получения малоразмерных образцов: их изготовление для определения значений плотностей различных слоев осуществлялось путем выпиливания из общего кольцевого сечения. Представлены результаты исследования влияния механической активации цемента на свойства центрифугированного бетона по всему сечению элемента. Установлено, что активация портландцемента при ее рациональных значениях является способом усиления вариатропии.

Ключевые слова: центрифугированный бетон, виброцентрифугированный бетон, железобетон, активированный портландцемент, вариатропия, плотность бетона

Введение

В настоящее время с возрастанием темпов строительства, в том числе в условиях плотной городской застройки, повышаются требования к жилым, а также промышленным зданиям и сооружениям. Поэтому, с одной стороны, возникает потребность в новых конструктивных

© Стельмах С.А., Щербань Е.М., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С., 2021

Статья: поступила: 25.06.2021; рецензия: 20.07.2021; финансирование: Донской государственный технический университет.

решениях современных строительных изделий и конструкций, с другой – становятся все более жесткими требования по качеству применяемых материалов.

Железобетон, один из основных современных строительных материалов, незаменим для возведения зданий и сооружений в современных условиях. Однако, имея целый ряд несомненных достоинств, он обладает и рядом недостатков: большая масса конструкций предполагает большой расход материалов, т.е. повышенную материало-, а также ресурс- и энергоемкость при изготовлении самих железобетонных изделий и конструкций сборного типа на промышленных предприятиях, их возведении в условиях строительной площадки. В связи с этим перспективным направлением является изготовление маломатериалоемких железобетонных изделий и конструкций, в первую очередь полых, т.е. кольцевого сечения.

Одна из наиболее перспективных технологий – центрифугирование, которое обладает специфической особенностью. Дело в том, что при центробежном уплотнении бетонной смеси возникает так называемое явление вариатропии. То есть характеристики материала по его кольцевому сечению разнятся по показателям плотности, прочности, деформативности и т.п. Долгое время эта отличительная черта центрифугированных изделий и конструкций рассматривалась как недостаток, однако в наших работах были получены новые данные и расчетные зависимости, позволяющие правильно, рациональным образом учитывать получаемую вариатропию, тем самым было доказано, что вариатропность применима и как положительное качество: своевременно учитывая ее в расчетах, можно определить скрытые резервы железобетонных изделий и конструкций, полученных методом центрифугирования и имеющих вариатропную структуру. Таким образом, наши дальнейшие исследования направлены не на попытки избавления от вариатропии, а наоборот, на поиски рациональных технологических рецептурных способов ее усиления. Проведенный нами анализ литературных источников [1–8, 11, 14–16, 19–23] позволил установить, что улучшение характеристик бетона зачастую связано с повышением качественных характеристик составляющих компонентов.

Таким образом, в рамках настоящего исследования нами выдвинута гипотеза о возможности усиления вариатропности центрифугированных железобетонных изделий и конструкций с помощью рецептурных и технологических факторов. К технологическим факторам отнесем рассмотренный нами ранее способ дополнительного вибрирования при центрифугировании. То есть с помощью виброцентрифугирования мы получаем железобетонную конструкцию с большей вариатропией бетона. В то же время (и это касается рецептуры) необходимо попытаться добиться повышенных характеристик получаемой конструкции с помощью улучшения качества применяемых компонентов. В связи с удорожанием современных строительных материалов на рынке и непрерывным ростом цен перспективным видится направление так называемой активации уже имеющихся компонентов, при этом рациональным представляется способ активации именно компонентов с заранее установленными невысокими характеристиками, а следовательно, обладающими невысокой стоимостью на рынке. За счет активации мы получим исходные компоненты с улучшенными свойствами, что, в свою очередь, приведет к повышению качества самой железобетонной конструкции, полученной методом центрифугирования и виброцентрифугирования.

Известен ряд работ, в которых активации подвергались различные компоненты бетонной смеси [1–8, 11, 14–16, 19–23]. Активировались вода, вяжущее, заполнители, а также бетонная смесь в целом. Активация портландцемента и ее методика подробно описаны в [2, 4, 8, 11, 14–16, 21].

Механическая активация цементных суспензий подробно рассмотрена в [13]. Авторы отмечают, что путем высокоскоростной обработки водно-цементных суспензий можно воздействовать на физико-механические свойства бетонных изделий за счет структурных преобразований жидкой среды. При этом повышаются прочностные характеристики цементного камня и бетона, снижается их водопоглощение и повышается морозостойкость [13]. В [15] рассмотрены параметры помола цемента в шаровой планетарной мельнице и выбраны условия наибольшего эффекта диспергации при мокром помоле (в водной среде). Авторами подобран оптимальный режим измельчения и выявлены технологические факторы с наибольшим

влиянием на процесс измельчения [15]. В [16] проводилась оценка эффективности измельчения минеральных компонентов и рассматривались факторы, влияющие на данный процесс.

Выбор для нашего исследования метода механической активации цемента обусловлен его малой энергозатратностью и эффективностью. Он позволяет достичь в короткие сроки желаемой удельной поверхности цемента.

Цель данной статьи – исследование вариативности структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе.

В настоящей работе мы должны прежде всего проанализировать взаимосвязи между активацией применяемого портландцемента и несущей способностью и деформативностью получаемой железобетонной конструкции. Однако прежде чем говорить о конструктивных и деформативных характеристиках бетона, следует определить степень его вариативности, поэтому в рамках данного исследования необходимо определить вариативность сечения центрифугированных и виброцентрифугированных железобетонных конструкций, полученных с помощью активированного портландцемента.

Материалы и методы

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

Таблица 1

Технические характеристики «Активатора-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	Ø95×180

В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ПЦ 400 Д0: в табл. 2 представлены его физико-механические характеристики.

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 плотность цементного теста, %	26,5
Сроки схватывания, ч:мин - начало - конец	0:48 4:00
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	42,5

Цель предварительных исследований – определение наиболее эффективных параметров измельчения.

Для определения оптимального режима измельчения применен метод математического планирования эксперимента (ПФЭ 2^к).

Значение и физический смысл факторов варьирования представлены в табл. 3. За функцию отклика была принята удельная поверхность портландцемента ($S_{уд}$, $\text{см}^2/\text{г}$).

Таблица 3

Значение факторов варьирования ПФЭ 2^к

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Уровни фактора		
			-1	0	+1
1	τ	Время измельчения, мин	1,5	2	3,5
2	ν	Частота вращения ротора, Гц	25	35	45

Величина удельной поверхности цемента в процессе помола контролировалась при помощи прибора ПСХ-10М. Принцип определения $S_{уд}$ основан на измерении скорости прохождения воздуха через слой материала стандартного объема.

План эксперимента и результаты параметров оптимизации приведены в табл. 4.

Таблица 4

План эксперимента и результаты параметров оптимизации

Номер опыта	Кодирование переменных		Натуральные значения		Удельная поверхность портландцемента, $\text{см}^2/\text{г}$
	Время измельчения, мин	Частота вращения ротора, Гц	Время измельчения, мин	Частота вращения ротора, Гц	
1	-1	-1	1	25	3457
2	1	-1	3	25	4356
3	-1	1	1	45	4457
4	1	1	3	45	5212
5	-1	0	1	35	4089
6	1	0	3	35	4883
7	0	-1	2	25	3895
8	0	1	2	45	4778
9	0	0	2	35	4552

Так как активность цемента зависит от степени его дисперсности, то, соответственно, с увеличением удельной поверхности повышается и активность, однако наблюдается и отрицательный эффект, выраженный в повышении водопотребности. При повышении удельной поверхности более $S_{уд} = 5000 \text{ см}^2/\text{г}$ отрицательное влияние увеличения водопотребности значительно сказывается на прочностных характеристиках, что делает нецелесообразным дальнейший помол цемента.

По результатам исследования методом наименьших квадратов получено базовое уравнение регрессии в виде полинома 2-й степени:

$$S_{уд}(\tau, \nu) = 4408,78 + 45,34 \cdot \tau + 50,73 \cdot \nu - 36 \cdot \tau \cdot \nu + 0,0054 \cdot \tau^2 - 149,49 \cdot \nu^2$$

Уравнение регрессии оценено по трем критериям:

- однородность дисперсий;
- значимость коэффициентов;
- адекватность, оцениваемая по критерию Фишера.

По экспериментальным данным определены:

- дисперсия ($S^2 = 6,44 \cdot 10^3$);
- среднеквадратическое отклонение коэффициентов ($S = 48,61$);
- расчетное значение критерия Фишера ($F_{расч} = 8,42$);
- среднеквадратическая ошибка в определении коэффициентов (S_{bi}).

По критерию Стьюдента установлена значимость коэффициентов уравнений:

$$t_p = |b_i| / S_{bi} > t_f (f = n_0 - 1; q = 5\%; t_f = 4,3).$$

Графическая интерпретация изменения удельной поверхности цемента в зависимости от параметров измельчения представлена на рис. 1.

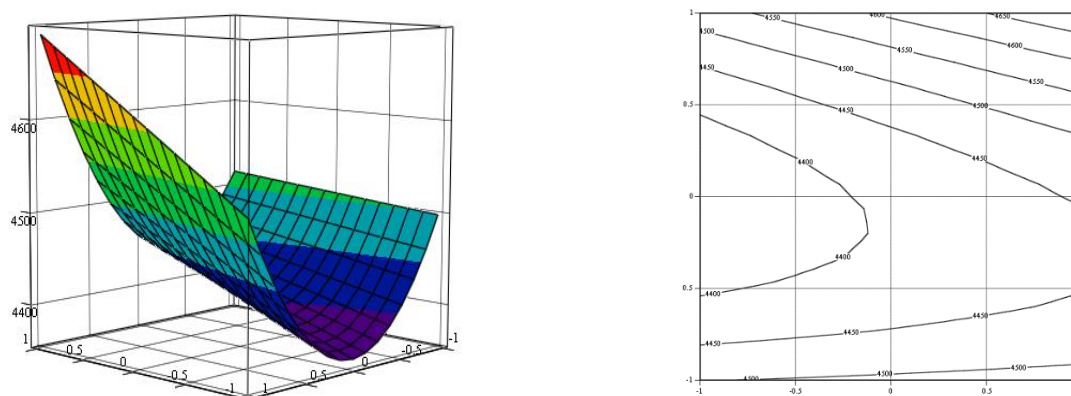


Рис. 1. Изменение удельной поверхности портландцемента в зависимости от времени измельчения (помола) и частоты вращения ротора

На основании проведенного исследования установлено, что наиболее существенным фактором, влияющим на увеличение удельной поверхности, является частота вращения ротора. Режим помола портландцемента марки ПЦ 400 Д0 рекомендуется проводить при следующих параметрах: время помола $\tau = 2$ мин; частота вращения ротора $\nu_p = 35$ Гц.

Для изготовления центрифугированных и виброцентрифугированных образцов была применена экспериментальная лабораторная центрифуга ЦСРЛ-1 с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания, принципиальная схема данной установки и подробное описание представлены в [17]. Вибрации формы осуществлялись за счет дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов), на которых вращающаяся форма с бетонной смесью подвергается дополнительной вибрации [9, 10, 13, 18].

В качестве вяжущего для изготовления опытных образцов применялся активированный портландцемент марки ПЦ 400 Д0, минералогический состав которого представлен в табл. 5.

Таблица 5

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

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень, его физико-механические характеристики представлены в табл. 6.

Таблица 6

Физико-механические характеристики щебня

Фракция	Насыпная 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, его физические характеристики представлены в табл. 7.

Таблица 7

Физические свойства мелкого заполнителя

Плотность, г/см ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Модуль крупности	Пустотность, %	Водопотребность, %
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 равна 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 другу, а на опорном вале – несимметрично и с различным градиентом запаздывания.

Исследование вариатропности структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе заключается в определении значений плотностей различных слоев образца. Изготовление малоразмерных образцов для определения значений плотностей различных слоев образца осуществлялось путем их выпиливания из общего кольцевого сечения. Схема получения малоразмерных образцов представлена на рис. 2. Для этой цели из общего кольцевого сечения образца условно был выделен квадрант 150x150x150 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 50x50x50 мм; второй, третий и четвертый уровни – по 9 призм размерами 50x50x200 мм.

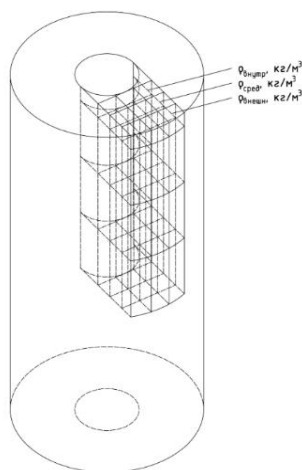


Рис. 2. Схема получения малоразмерных образцов

Определение плотности полученных малоразмерных образцов проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований вариатропности структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе представлены в табл. 8 и на рис. 3.

Таблица 8

**Результаты экспериментальных исследований вариативности структуры
центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов
на активированном портландцементе**

Центрифугированный бетон				Виброцентрифугированный бетон			
На неактивированном портландцементе		На активированном портландцементе		На неактивированном портландцементе		На активированном портландцементе	
ρ_i , г/см ³	ρ_{cp} , г/см ³	ρ_i , г/см ³	ρ_{cp} , г/см ³	ρ_i , г/см ³	ρ_{cp} , г/см ³	ρ_i , г/см ³	ρ_{cp} , г/см ³
Внутренний слой							
2,29	2,31	2,30	2,31	2,31	2,32	2,33	2,34
2,31		2,27		2,34		2,34	
2,30		2,23		2,23		2,38	
2,30		2,31		2,31		2,31	
2,31		2,31		2,31		2,33	
2,31		2,32		2,33		2,33	
2,33		2,32		2,33		2,33	
2,32		2,30		2,34		2,36	
2,32		2,33		2,34		2,34	
2,33		2,31		2,33		2,33	
2,31		2,34		2,34		2,34	
2,31		2,33		2,34		2,34	
Средний слой							
2,46	2,44	2,54	2,49	2,55	2,50	2,60	2,54
2,49		2,49		2,52		2,57	
2,42		2,55		2,55		2,63	
2,44		2,46		2,46		2,52	
2,43		2,48		2,48		2,52	
2,46		2,48		2,48		2,53	
2,44		2,49		2,49		2,49	
2,45		2,50		2,51		2,51	
2,45		2,52		2,52		2,52	
2,43		2,50		2,49		2,51	
2,42		2,48		2,49		2,54	
2,40		2,44		2,48		2,53	
Внешний слой							
2,51	2,51	2,52	2,53	2,68	2,57	2,68	2,60
2,50		2,57		2,65		2,71	
2,49		2,63		2,63		2,68	
2,51		2,50		2,54		2,57	
2,50		2,52		2,54		2,57	
2,51		2,52		2,54		2,58	
2,50		2,52		2,53		2,56	
2,51		2,51		2,52		2,58	
2,51		2,52		2,54		2,58	
2,51		2,51		2,54		2,57	
2,52		2,52		2,54		2,56	
2,51		2,49		2,56		2,56	

Проанализировав полученные данные, мы можем проследить следующую тенденцию. Значения плотностей внутреннего слоя центрифугированного бетона на активированном и неактивированном портландцементе остались неизменными. Что касается среднего слоя, то наблюдается увеличение его плотности: так, при применении активированного портландцемента его плотность выросла с 2,44 до 2,49 г/см³, а у внешнего слоя – с 2,51 до 2,53 г/см³. У виброцентрифугированных образцов при применении активированного портландцемента увеличения плотностей наблюдаются во всех трех слоях.

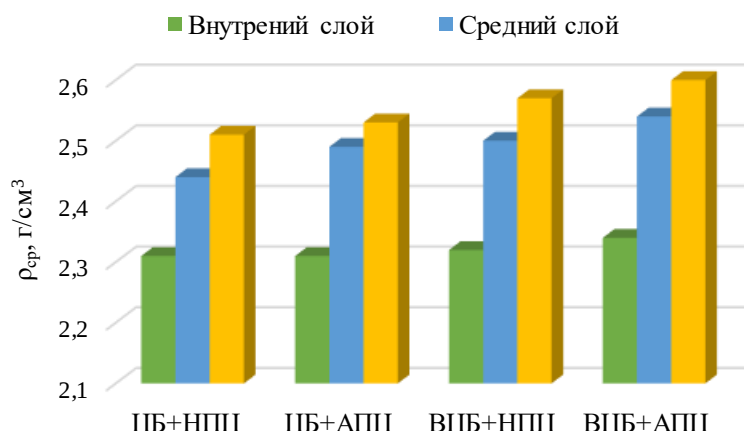


Рис. 3. Зависимость изменения значений плотностей бетона по слоям (ЦБ+НПЦ – центрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе; ВЦБ+НПЦ – виброцентрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ВЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе)

Выводы

Итак, вариатропностью центрифугированных 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 – тем самым она ведет к улучшению характеристик бетонов. В процентном соотношении плотность внешнего слоя по сравнению с внутренним слоем для центрифугированных образцов на активированном портландцементе выше на 8,7% по сравнению с такими же образцами на неактивированном портландцементе, где плотность внешнего слоя выше плотности внутреннего слоя на 7,9%. У виброцентрифугированных образцов, изготовленных с применением активированного портландцемента, плотность внешнего слоя выше плотности внутреннего слоя на 10,2% по сравнению с такими же образцами на неактивированном портландцементе, где плотность внешнего слоя выше плотности внутреннего слоя на 9,7%. Таким образом, теоретически и экспериментально доказана возможность усиления вариатропности структуры центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов за счет применения активированного портландцемента.

Заявленный вклад авторов: С.А. Стельмах – окончательная версия статьи; Е.М. Щербань – текст; Д.М. Ельшаева – изготовление образцов, проведение экспериментов, анализ результатов; Ю.В. Жеребцов – обработка данных эксперимента, построение графиков и таблицы; Н.А. Доценко – сбор, анализ и интерпретация материала; М.С. Самофалова – редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2007. 528 с.
2. Бердов Г.И., Линник С.И. Воздействие высокочастотного электрического поля на гидратационное твердение цемента // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1983. № 7. С. 68–71.
3. Бирюков А.И., Плугин А.Н. Особенности электроповерхностных явлений в цементно-водных системах. Харьков, 1983. С. 56–60.
4. Верещагин В.И., Силкина О.В. Влияние высоковольтного коронного разряда на гидратацию клинкерных минералов // Цемент. 1992. № 1. С. 4–8.
5. Золототрубов Д.Ю. Закономерности формирования плотно упакованной структуры дисперсно-зернистых строительных материалов при электрофизическом воздействии: дис ... канд. техн. наук. Воронеж: ГАСУ, 2006. 135 с.
6. Малодушев А.А. Электроразогрев пенобетонной смеси непосредственно перед укладкой в дело: дис ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2000. 151 с.

7. Мальцев В.Т., Ткаченко Г.А., Мальцев Н.В., Власенко И.В. О влиянии электрического поля и гелеобразующих присадок на структуру пенобетонов и их свойства // *Науковедение*. 2012. № 3. URL: <http://naukovedenie.ru/sbornik12/12-48.pdf> (дата обращения: 10.06.2021).
8. Матвиенко В.А. Влияние напряженности электрического поля на прочность цемента // *Журнал прикладной химии*. 1991. № 64(9). С. 1857–1861.
9. Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А.А. Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов // *Вестник Белгородского гос. технолог. ун-та им. В.Г. Шухова*. 2021. № 1. С. 8–19. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19>
10. Нажуев М.П., Саркисян Р.Г., Ельшаева Д.М., Доценко Н.А., Самофалова М.С., Жеребцов Ю.В. Управление интегральными деформативными характеристиками бетона за счет варьирования высоты и шага технологических выступов хомутов виброцентрифугирующих устройств // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2021. № 1. С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.01.09>
11. Пат. 2715276 Российская Федерация, МПК C04B 40/02. Способ поверхностного модифицирования цемента / Н.М. Зайченко, А.К. Халюшев, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, М.П. Нажуев, А.А. Чернильник; Ростов н/Д., ДГТУ. № 2019138010; заявл. 25.11.19; опубл. 26.02.20, Бюл. № 6. 8 с.
12. Расцветова Е.А. Повышение механических свойств бетонных изделий путем механической активации цементных суспензий: дис ... канд. техн. наук. Иваново: ИГАСУ, 2011. 145 с.
13. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П., Ткач П.С., Бондаренко Е.С., Джамалдинов С.А. Управление физико-механическими характеристиками бетона за счет варьирования высоты и шага технологических выступов хомутов виброцентрифугирующих устройств // *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2021. № 1(46). С. 117–123. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-12>
14. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) // *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2018. № 4(37). С. 85–99. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2008670>
15. Халюшев А.К., Джамбеков Н.А., Джамалдинов С.А., Нажуев М.П., Чернильник А.А., Доценко Н.А. Оптимизация режимов совместного измельчения композиционного цемента в шаровой планетарной мельнице // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/10SAVN319.pdf> (дата обращения: 09.06.2021).
16. Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Губанов К.В. Оценка эффективности степени измельчения минеральных компонентов бетона // *Строительство и архитектура–2015: материалы международной научно-практической конференции, 26–27 ноября 2015*. Ростов н/Д.: Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. С. 400–402. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24875596_87008340.pdf (дата обращения: 10.06.2021).
17. Холодняк М.Г. Совершенствование расчета и технологии создания виброцентрифугированных железобетонных колонн с учетом вариативности структуры: дис ... канд. техн. наук. Ростов н/Д.: ДГТУ. 185 с.
18. Чернильник А.А., Костюков П.Б., Павлов Д.А. и др. Влияние технологических факторов вибрирования на интегральные деформативные характеристики виброцентрифугированного бетона // *Вестник Инженерной школы ДВФУ*. 2021. № 1(46). С. 124–135. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-13>
19. Шамрина Г.В. Цементные бетоны, активированные в электрическом поле на стадии перемешивания: дис ... канд. техн. наук. Макеевка: ДГАСА, 2001. 152 с.
20. Юдина А.Ф. Ресурсосберегающая технология бетонных работ на основе использования электрообработанной воды затворения: дис ... докт. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2000. 295 с.
21. Buttress A., Jones A., Kingman S. Microwave processing of cement and concrete materials – towards an industrial reality. *Cement and Concrete Research*. 2015(68):112–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.002>
22. Saadoon T., Gómez-Mejide B., Garcia A. New predictive methodology for the apparent activation energy and strength of conventional and rapid hardening concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019(115):264–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.10.020>
23. Williamson T., Juenger M.C.G. The role of activating solution concentration on alkali-silica reaction in alkali-activated fly ash concrete. *Cement and Concrete Research*. 2016(83):124–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.02.008>

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-12>

Stel'makh S., Shcherban' E., El'shaeva D., Zherebtsov Yu., Dotsenko N., Samofalova M.

SERGEI STEL'MAKH, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
ORCID: 0000-0002-0364-5504, sergej.stelmax@mail.ru

EVGENII ShchERBAN', Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
(Corresponding Author), ORCID: 0000-0001-5376-247X, au-geen@mail.ru

DIANA EL'SHAEVA, MS-Student, ORCID: 0000-0002-8086-6300,
diana.elshaeva@yandex.ru

YURIY ZHEREBTsOV, MS-Student, ORCID: 0000-0002-6162-0049,
yuri.zhrebtsov@gmail.com

NATAL'YA DOTSENKO, MS-Student, ORCID: 0000-0001-7829-6401,
natalya_1998_dotsenko@mail.ru

MARIYA SAMOFALOVA, MS-Student, ORCID: 0000-0001-9950-8696,
mary.ss17@yandex.ru

Don State Technical University

Rostov-on-Don, Russia

Investigation of the variability of the structure of centrifuged and vibrocentrifuged concretes on activated Portland cement

Abstract: In this work, a study of the variability of the structure of centrifuged and vibrocentrifuged concretes on activated Portland cement was carried out. The study of the variability of the structure of centrifuged and vibrocentrifuged concretes on activated Portland cement consisted in determining the values of the densities of various layers of the sample. Also, a method was proposed for activating Portland cement in a planetary ball mill "Activator-4M". The optimal grinding mode for Portland cement has been selected. For proper fabrication of centrifuged and vibrocentrifuged samples, an experimental laboratory centrifuge TsSRL-1 with a DC electric motor and thyristor power supplies was used, and the form vibrations were carried out due to additional dowels (protrusions) put on the shafts. All samples were made from concrete of the same composition. In total, four basic samples of annular cross-section were manufactured and tested with the following dimensions: outer diameter $D = 450$ mm; inner hole diameter $d = 150$ mm; total height $H = 1200$ mm. The optimal values of technological parameters of centrifugation and vibrocentrifugation are given. A scheme for obtaining small-sized samples is proposed, where their production to determine the values of the densities 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 a way to enhance variatropy.

Keywords: centrifuged concrete, vibrocentrifuged concrete, reinforced concrete, activated Portland cement, variatropy, density

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. Concrete technology. M., ASV Publishing, 2007, 528 p.
2. Berdov G.I., Linnik S.I. The effect of a high-frequency electric field on the hydration hardening of cement. *Izvestia of Higher Education Institutions. Construction and Architecture*. 1983(7):68–71.
3. Biryukov A.I., Plugin A.N. Features of electrosurface phenomena in cement-water systems. *Khar'kov*, 1983, 56–60 p.
4. Vereshchagin V.I., Silkina O.V. Effect of high-voltage corona discharge on hydration of clinker minerals. *Cement*. 1992(1):4–8.
5. Zolototrubov D.Yu. Regularities of the formation of a densely packed structure of dispersed-granular building materials under electrophysical action. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Voronezh, VGASU, 2006, 135 p.

6. Malodushev A.A. Electric heating of the foam concrete mixture immediately before putting it into operation. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Spb., SPBGASU, 2000, 151 p.
7. Mal'tsev V.T., Tkachenko G.A., Mal'tsev N.V., Vlasenko I.V. On the influence of the electric field and gel-forming additives on the structure of foam concrete and their properties. *Naukovedenie*. 2012(3). URL: <http://naukovedenie.ru/sbornik12/12-48.pdf> – 10.06.2021.
8. Matvienko V.A. Influence of electric field strength on cement strength. *Journal of Applied Chemistry*. 1991;64(9):1857–1861.
9. Nazhnev M.P., Dzhamilova P.M., Bataeva F.A., Bakaev Z.I., Kukaev A.Kh., Osmanov A.A. Influence of vibration centrifugation modes on the properties of the resulting concrete. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021(1):8–19. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19>
10. Nazhnev M.P., Sarkisjan R.G., El'shaeva D.M., Dotsenko N.A., Samofalova M.S., Zherebtsov Yu.V. 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. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development*. 2021(1):108–116. DOI: <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2021.01.09>
11. Pat. 2715276 Russian Federation, MPK C04B 40/02 Method for surface modification of cement / N.M. Zaichenko, A.K. Khalyushev, S.A. Stel'makh, E.M. Shcherban', M.P. Nazhnev, A.A. Chernil'nik, Rostov-on-Don, DSTU, N 2019138010, declared 25.11.19; publ. 26.02.20, bull. N 6, 8 p.
12. Rastvetova E.A. Improving the mechanical properties of concrete products by mechanical activation of cement suspensions. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Ivanovo, ISPU, 2011, 145 p.
13. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P., Tkach P.S., Bondarenko E.S., Dzhamaldinov S.A. Control of physical and mechanical characteristics of concrete by varying the height and pitch of technological protrusions of the clamps of vibrating centrifugation devices. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2021(1):117–123. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-12>
14. Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Lesovik V.S. Modern methods of activating a binder and concrete mixtures (review). *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2018;4(37):85–99. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2008670>
15. Khalyushev A.K., Dzhambekov N.A., Dzhamaldinov S.A., Nazhnev M.P., Chernil'nik A.A., Dotsenko N.A. Optimization of modes of joint grinding of composite cement in a spherical planetary. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019(3). URL: <https://esj.today/PDF/10SAVN319.pdf> – 09.06.2021.
16. Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Gubanov K.V. Estimation of the efficiency of the degree of grinding of mineral components of concrete. *Construction and Architecture-2015: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Russia, November 26–27. Rostov-on-Don, RSUCE Editorial and Publishing Center, 2015, 400–402 p.* URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24875596_87008340.pdf – 10.06.2021.
17. Kholodnyak M.G. Improving the calculation and technology of creating vibrocentrifuged reinforced concrete columns, taking into account the variability of the structure. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Rostov-on-Don, DSTU, 185 p.
18. Chernil'nik A.A., Kostyukov P.B., Pavlov D.A., El'shaeva D.M., Dotsenko N.A., Samofalova M.S. The influence of vibration technological factors on the integral deformative characteristics of vibrocentrifuged concrete. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2021;1(46):124–135. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-13>
19. Shamrina G.V. Cement concretes mixing activated in the electric field at the stage. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Makeevka, DonSACEA, 2001, 152 p.
20. Yudina A.F. Resource-saving technology of concrete works based on the use of electrotreated mixing water. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Spb., SPBGASU, 2000, 295 p.
21. Buttress A., Jones A., Kingman S. Microwave processing of cement and concrete materials – towards an industrial reality. *Cement and Concrete Research*. 2015(68):112–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.002>
22. Saadoon T., Gómez-Meijide B., García A. New predictive methodology for the apparent activation energy and strength of conventional and rapid hardening concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019(115):264–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.10.020>
23. Williamson T., Juenger M.C.G. The role of activating solution concentration on alkali-silica reaction in alkali-activated fly ash concrete. *Cement and Concrete Research*. 2016(83):124–130.