

# Исследование интегральных 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

## Виноградова Елена Владимировна

Доцент, к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: alenkavv@yandex.ru

## Ельшаева Диана Михайловна

Магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

## Жеребцов Юрий Владимирович

Магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com

## Доценко Наталья Александровна

Магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

## Самофалова Мария Сергеевна

Магистрант кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: mary.ss17@yandex.ru

## INVESTIGATION OF INTEGRAL 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

### Vinogradova Elena Vladimirovna

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Department of Urban Construction and Economy, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: alenkavv@yandex.ru

### El'shaeva Diana Mikhailovna

Master's student of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry, Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

### Zherebtsov Yuri Vladimirovich

Master's student of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com

### Dotsenko Natal'ya Aleksandrovna

Master's student of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

### Samofalova Mariya Sergeevna

Master's student of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia; e-mail: mary.ss17@yandex.ru

**Abstract:** In this paper, the integral strength and deformative characteristics of centrifuged and vibro-centrifuged concretes on activated Portland cement are studied. Mechanical activation of cement was carried out with the help of a specialized grinding unit. The production of centrifuged and vibro-centri-

fuged samples was carried out on an experimental laboratory centrifuge. 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; the 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 has been developed for obtaining small-sized samples from a common annular section to determine strength and deformation characteristics. According to the results of the study, it was found that the improvement of the values of in-

**Аннотация.** В данной работе проведено исследование интегральных прочностных и деформативных характеристик центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе. Механическая активация цемента осуществлялась с помощью специализированного помольного агрегата. Изготовление центрифугированных и виброцентрифугированных образцов осуществлялось на экспериментальной лабораторной центрифуге. Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава. 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. Приведены оптимальные значения технологических параметров центрифугирования и виброцентрифугирования. Разработана схема получения малоразмерных образцов из общего кольцевого сечения для определения прочностных и деформативных характеристик. По результатам исследования установлено, что улучшение значений интегральных прочностных и деформативных характеристик при применении активированного портландцемента наблюдаются как у центрифугированных, так и виброцентрифугированных образцов. Выявлено, что образцы, изготовленные по технологии виброцентрифугирования, имеют наилучшие показатели прочностных и деформативных характеристик, нежели образцы, изготовленные способом центрифугирования. Сделан вывод о технологии виброцентрифугирования как наиболее предпочтительной для изготовления железобетонных изделий кольцевого сечения.

**Ключевые слова:** центрифугирование, виброцентрифугирование, железобетон, активированный портландцемент, интегральные характеристики

## Введение

В настоящее время актуальным является производство изделий, конструкций, а также возведение сооружений и зданий из сборного и монолитного железобетона, имеющего наилучшие физико-механические конструктивные и деформативные харак-

теристики и при этом обладающих наименьшей массой, следовательно, наименьшим весом, особенно в условиях плотной городской застройки. Таким образом, одной из основных прикладных задач инженеров-строителей и ученых, работающих над созданием новых технологий строительства в области железобетона, является создание эффективных маломатериалоемких конструкций и изделий с минимальными сечениями и минимальным весом.

**Keywords:** centrifugation, vibrocentrifugation, reinforced concrete, activated Portland cement, integral characteristics

теристики, и при этом обладающих наименьшей массой, следовательно, наименьшим весом, особенно в условиях плотной городской застройки. Таким образом, одной из основных прикладных задач инженеров-строителей и ученых, работающих над созданием новых технологий строительства в области железобетона, является создание эффективных маломатериалоемких конструкций и изделий с минимальными сечениями и минимальным весом.

Однако в настоящее время известно не так много подобных видов железобетонных изделий и конструкций, в связи с чем встает задача получения новых усовершенствованных видов бетона и изготовление эффективных маломатериалоемких конструкций. Перспективным видится получение центрифугированных изделий кольцевого сечения, как было ранее показано в работах [1-7]. Ранее в наших исследованиях было установлено, что наиболее эффективным способом из центробежных способов формирования является так называемое виброцентрифугирование, то есть сочетание центробежного воздействия при уплотнении бетонной смеси с ее одновременным вибрированием [8, 9].

Таким образом, с точки зрения теории мы влияем на структурообразование, а, следовательно, на свойства получаемых железобетонных изделий и конструкций. Структура, получаемая при центрифугировании и особенно при виброцентрифугировании, является вариатропной, то есть наблюдается различие структуры и свойств по толщине кольцевого сечения получаемых изделий и конструкций. Таким образом, нами ранее уже была доказана эффективность наиболее вариатропной структуры железобетонных конструкций для эксплуатации их в условиях с более высокими требованиями [10, 11].

С точки зрения теории и практики строительной науки интересным видится направление развития теории вариатропности структуры бетона центрифугированных и виброцентрифугированных железобетонных изделий и конструкций, и в этой связи поиск новых направлений усиления вариатропии является актуальным. Одним из актуальных и востребованных

способов повышения физико-механических конструктивных и деформативных характеристик является так называемая активация бетона и его составляющих на стадии изготовления [12-17].

Рассмотрим активацию портландцемента механическими способами, а именно домолом. В разрезе намеченной цели нами были поставлены следующие задачи в исследовании:

- провести обзор и анализ литературы, посвященной активации цемента для бетонных и железобетонных изделий;
- разработать программу экспериментальных исследований;
- выполнить исследования с помощью действующих нормативных и авторских методик, и обработать результаты;
- формулирование выводов по полученным результатам, разработка практических рекомендаций для производства и иных технологий получения новых эффективных, малоэнергоёмких, маломатериалоемких железобетонных изделий и конструкций с вариатропной структурой бетона кольцевого сечения, изготовленных методами центрифугирования и виброцентрифугирования.

Нами в рамках теории вариатропности железобетонных изделий и конструкций кольцевого сечения было предложено разделять понятия интегральные и дифференциальные характеристики бетона. В настоящем исследовании перед нами ставилась задача исследовать интегральные характеристики бетона, полученного методами центрифугирования и виброцентрифугирования, с использованием активированного портландцемента.

## 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.

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

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

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 <sup>2</sup>	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

Таблица 2.

### Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 400 Д0

Наименование свойства	Значение
Тонкость помола, проход через сито № 008, %	95,8
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /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 <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
ПЦ 400 Д0	64	11	7,1	13,2

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 [18]. Вибрации формы осуществлялись за счет дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов), на которых вращающаяся форма с бетонной смесью подвергалась дополнительной вибрации [19, 20].

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

Таблица 4

**Физико-механические характеристики щебня**

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

Таблица 5.

**Физические свойства мелкого заполнителя**

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

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

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 м<sup>3</sup> 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.

Для изучения интегральных (общих, усредненных по сечению) характеристик бетона из кольцевого сечения были выделены 3 условных квадранта, из которых выпиливались образцы для последующих испытаний на осевое сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе. Для испытаний на осевое сжатие и растяжение из первого квадранта выпиливались по четыре куба размерами 15x15x15 см, а для испытаний на осевое сжатие – одна призма размером 15x15x60 см. Далее из второго квадранта выпиливались две призмы размерами 15x15x60 см – для испытаний на осевое сжатие, из третьего квадрата выпиливались также две призмы размерами 15x15x60 см для испытаний на осевое растяжение. Схема получения малоразмерных образцов представлена на рис. 1.

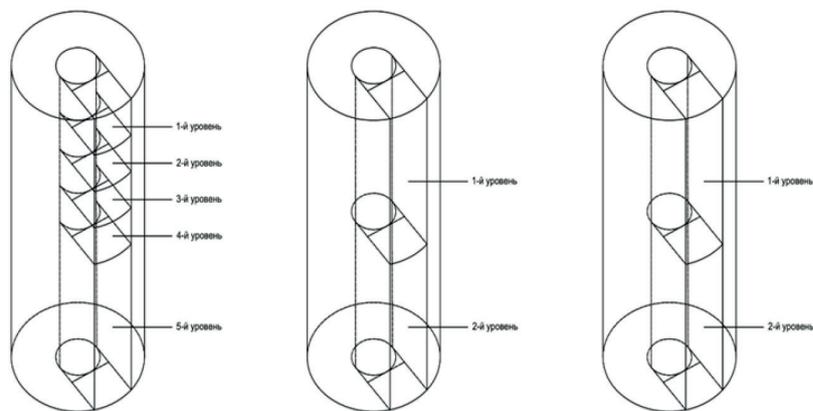


Рис. 1. Схема получения малоразмерных образцов

Таблица 6.

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

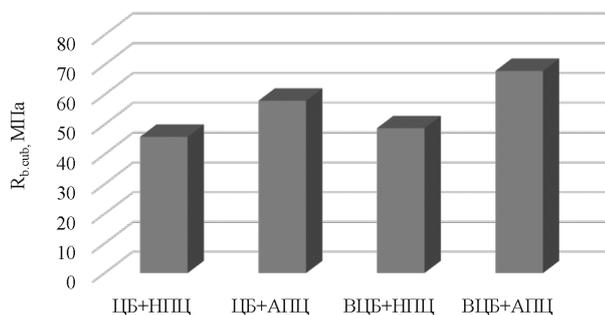
Характеристики бетона	Центрифугированный бетон		Виброцентрифугированный бетон	
	На неактивированном портландцементе	На активированном портландцементе	На неактивированном портландцементе	На активированном портландцементе
$R_{b, cub}$ , МПа	45,8	57,9	48,7	67,9
$R_b$ , МПа	22,1	24,8	24,9	31,5
$R_{br}$ , МПа	5,5	6,9	5,8	8,1
$R_{btb}$ , МПа	3,2	4,1	3,3	4,6
$\varepsilon_{br}$ , мм/м · 10 <sup>-3</sup>	2,11	2,03	2,01	1,93
$\varepsilon_{btR}$ , мм/м · 10 <sup>-4</sup>	1,22	1,12	1,17	1,08
$E_b = E_{br}$ , МПа	32,7	34,7	34,9	36,8

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

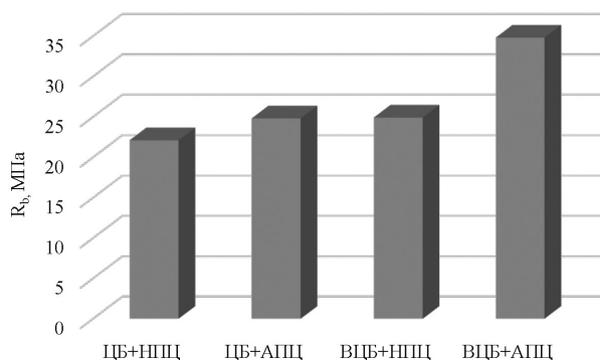
Испытания на осевое сжатие и осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 24452.

## Результаты обсуждения

Результаты экспериментальных исследований интегральных прочностных и деформативных характеристик центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе представлены в таблице 6 и на рис. 2–8.



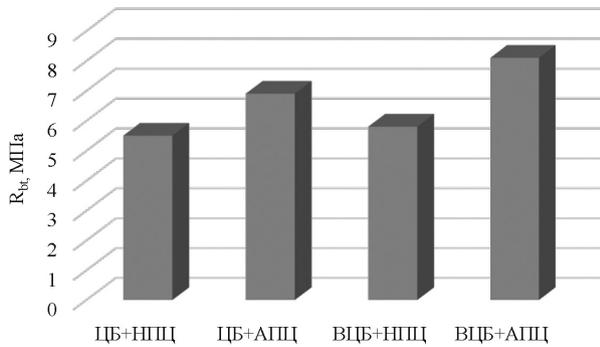
**Рис. 2.** Зависимость изменения кубиковой прочности при сжатии от технологии изготовления бетона и активации цемента (ЦБ+НПЦ – центрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе; ВЦБ+НПЦ – виброцентрифугированный бетон на неактивированном портландцементе; ВЦБ+АПЦ – на активированном портландцементе)



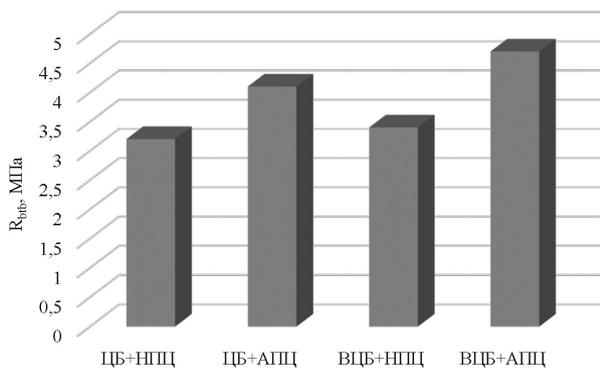
**Рис. 3.** Зависимость изменения призмной прочности при сжатии от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)

Проанализировав полученные данные установлено, что значения прочностных характеристик центрифугированного бетона на неактивированном портландцементе ниже аналогичных показателей центрифугированного бетона на активированном портландцементе. Данная тенденция наблюдается и у виброцентрифугированных образцов. Максимальные значения прочностных и минимальные для деформативных характеристик зафиксированы у виброцентрифугированных бетонов на активированном портландцементе.

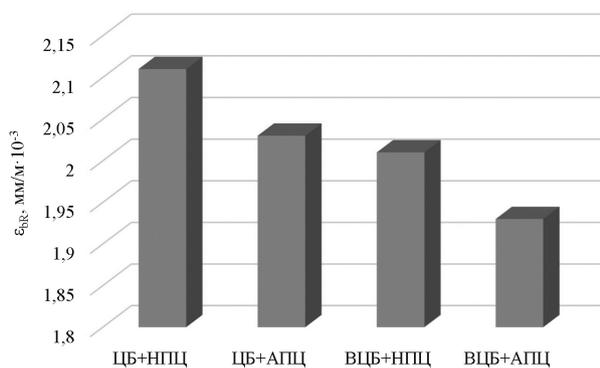
Так прочность при сжатии центрифугированных образцов на активированном портландцементе выше на 21 % в сравнении с образцами, изготовленными на неактивированном портландцементе, призмная прочность выше на 11 %, прочность на растяжение при изгибе выше на 20 %, прочность



**Рис. 4.** Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)

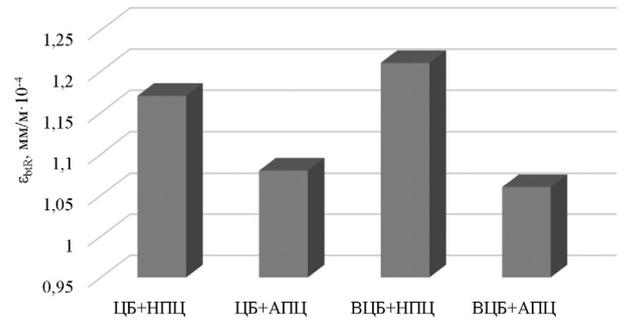


**Рис. 5.** Зависимость изменения прочности при осевом растяжении от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)

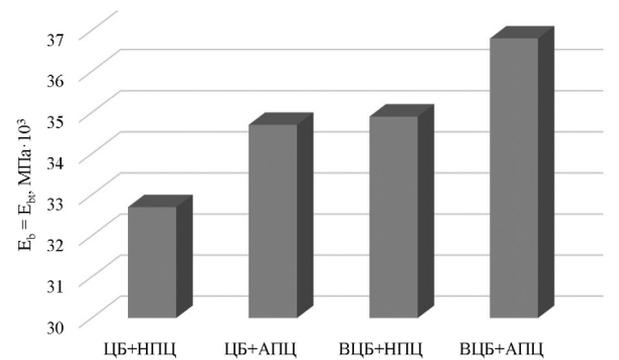


**Рис. 6.** Зависимость изменения предельных деформаций при осевом сжатии от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)

при осевом растяжении выше на 22 %. Что касается виброцентрифугированных образцов, изготовленных на активированном портландцементе, то их



**Рис. 7.** Зависимость изменения предельных деформаций при осевом растяжении от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)



**Рис. 8.** Зависимость изменения модуля упругости от технологии изготовления бетона и активации цемента (см. Рис. 2)

прочность при сжатии выше на 28 %, прочность на растяжение при изгибе выше на 20 %, призматическая прочность выше на 28 %, прочность при осевом растяжении выше на 26 % в сравнении с образцами, изготовленными на неактивированном портландцементе.

Предельные деформации при осевом сжатии центрифугированных образцов на активированном портландцементе ниже на 4 %, предельные деформации при осевом растяжении ниже на 8 % в сравнении с образцами, изготовленными на неактивированном портландцементе. Значения модуля упругости образцов на активированном портландцементе выше на 6 %. У виброцентрифугированных образцов на активированном портландцементе предельные деформации при осевом сжатии ниже на 4 %, предельные деформации при осевом растяжении ниже на 8 %, а модуль упругости выше на 5 % в сравнении с образцами, изготовленными на неактивированном портландцементе.

## Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие выводы. Активация портландцемента при ее рациональных значениях является оптимальным способом усиления вариатропии и тем самым ведет к улучшению характеристик бетона. Улучшение значений интегральных прочностных и деформативных характеристик при применении активированного портландцемента наблюдаются как у центрифугированных, так и виброцентрифугированных образцов. Однако образцы, изготовленные по технологии виброцентрифугирования, имеют более высокие значения прочностных характеристик и модуля упругости, и меньшие значения предельных деформаций, нежели образцы, изготовленные способом центрифугирования. По-

этому на практике изготовление эффективных, малоэнергоёмких, маломатериалоемких железобетонных изделий и конструкций с вариатропной структурой бетона кольцевого сечения предпочтительнее осуществлять посредством технологии виброцентрифугирования.

Результаты проведенных экспериментов рекомендуются к применению в гражданском и промышленном строительстве при проектировании и расчете строительных конструкций, изготовленных из железобетонных изделий кольцевого сечения с вариатропной структурой, 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

1. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст]. — М.: Изд-во АСВ, 2007. — 528 с.
2. Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук [Текст]. Нижний Тагил, 2002. 150 с.
3. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Смирнов В.А. Строительные материалы вариатропно-каркасной структуры [Текст]. — М.: МГСУ, 2011. 316 с.
4. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции [Текст] / Л.А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2017. — №1. — С. 9-16.
5. Kirthika S.K. Durability studies on recycled fine aggregate concrete / S.K. Kirthika, S.K. Singh // (2020) Construction and Building Materials 250, 118850. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118850.
6. Ferrotto M.F. Analysis-oriented stress-strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload / M.F. Ferrotto, O. Fischer, L. Cavaleri // (2018) Materials and Structures 51, 44. DOI: 10.1617/s11527-018-1169-0.
7. Несветаев Г.В. Раздельное бетонирование при изготовлении центрифугированных железобетонных изделий [Электронный ресурс] / Г.В. Несветаев, Г.Н. Хаджишалапов, М.П. Нажуев, Е.Ю. Евлахова, Д.А. Павлов, П.Б. Костюков // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 9. — URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6223>.
8. 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.
9. Холодняк М.Г. Предложения по расчетному определению прочностных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов [Электронный ресурс] / М.Г. Холодняк, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, Д.А. Третьяков, В.Н. Дао, В.И. Заикин // Вестник Евразийской науки. — 2018. — №6. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf>.
10. 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. Нажуев // Вестник Евразийской науки. 2018. №4. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf>.
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. 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.
13. 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.
14. Williamson T. The role of activating solution concentration on alkali-silica reaction in alkali-activated fly ash concrete / T. Williamson, M.C.G. Juenger // (2016) Cement and Concrete Research 83, pp. 124–130. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.02.008.
15. 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.
16. 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.
17. Зайченко Н.М., Халюшев А.К., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П., Чернильник А.А. Способ поверхностного модифицирования цемента // Пат. на изобретение

- 2715276 Россия, МПК C04B 40/02. – № 2019138010; заявл. 25.11.2019; опубл. 26.02.2020, Бюл. № 6.
18. Холодник 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.
  19. Назуев М.П. Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов [Текст] / М.П. Назуев, 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.
  20. Назуев М.П. Управление интегральными деформативными характеристиками бетона за счет варьирования высоты и шага технологических выступов хомутов виброцентрифугирующих устройств [Текст] / М.П. Назуев, Р.Г. Саркисян, Д.М. Ельшаева, 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. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. M.: Izd. ASV [ASV Publishing House], 2007. 528 p.
2. Dubinina V.G. Razrabotka optimal'nykh parametrov tseftrifugirovaniya zhelezobetonnykh beznapornykh trub: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of optimal parameters for centrifugation of reinforced concrete gravity pipes: dis. Cand. of Eng. sciences]. Nizhny Tagil [Nizhny Tagil], 2002. 150 p.
3. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Smirnov V.A. Stroitel'nye materialy variatropno-karkasnoi struktury [Construction materials of variatropic-frame structure]. M.: MGSU [MGSU], 2011. 316 p.
4. Suleimanova L.A. Vysokokachestvennyye energosberegayushchie i konkurentosposobnyye stroitel'nye materialy, izdeliya i konstruksii [High quality energy saving and competitive building materials, products and structures]. Vestnik BGU im. V. G. Shukhova [Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov]. 2017, I. 1. pp. 9–16.
5. Kirthika S.K. Durability studies on recycled fine aggregate concrete / S.K. Kirthika, S.K. Singh // (2020) Construction and Building Materials 250, 118850. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118850.
6. Ferrotto M.F. Analysis-oriented stress-strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload / M.F. Ferrotto, O. Fischer, L. Cavaleri // (2018) Materials and Structures 51, 44. DOI: 10.1617/s11527-018-1169-0.
7. Nesvetaev G.V. Razdel'noe betonirovanie pri izgotovlenii tseftrifugirovannykh zhelezobetonnykh izdelii [Separate concreting in the manufacture of centrifuged reinforced concrete products]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering journal of Don]. 2019, I. 9. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6223>.
8. Mailyan L.R. Vliyanie tekhnologii proizvodstva na strukturoobrazovanie i svoystva betona vibrotsentrifugirovannykh kolonn [Influence of production technology on the structure formation and properties of concrete of vibrocentrifuged columns]. Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and architecture]. 2017, I. 4 (17). pp. 224–228.
9. Kholodnyak M.G. Predlozheniya po raschetnomu opredeleniyu prochnostnykh kharakteristik vibriruyemykh, tseftrifugirovannykh i vibrotsentrifugirovannykh betonov [Proposals for the calculated determination of the strength characteristics of vibrated, centrifuged and vibrocentrifuged concretes]. Vestnik Evraziiskoi Nauki [Bulletin of Eurasian Science]. 2018, I. 6. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf>.
10. Mailyan L.R. Rekomendatsii po uchetu variatropii pri raschete, proektirovanii i izgotovlenii tseftrifugirovannykh konstruksii 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>.
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. Nazhuev // (2018) Materials Science Forum 931, pp. 502–507.
12. 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.
13. Saadon T. New predictive methodology for the apparent activation energy and strength of conventional and rapid hardening concretes / T. Saadon, B. G. mez-Meijide, A. Garcia // (2019) Cement and Concrete Research 115, pp. 264–273. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.10.020.
14. Williamson T. The role of activating solution concentration on alkali-silica reaction in alkali-activated fly ash concrete / T. Williamson, M.C.G. Juenger // (2016) Cement and Concrete Research 83, pp. 124–130. DOI: 10.1016/j.cemconres.2016.02.008.
15. Prokopets B.C., Lesovik V.S. Proizvodstvo i primenenie 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. BGU [Belgorod BGU Publishing House]. 2005. 264 p.
16. 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.
17. Zaichenko N.M., Khalyushev A.K., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Nazhuev 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.
18. Kholodnyak M.G. Sovershenstvovanie rascheta i tekhnologii sozdaniya vibrotsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn s uchedom 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: DGU [Rostov-na-Donu: DSTU]. 2020. 185 p.
19. Nazhuev M.P. Vliyanie 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.
20. Nazhnev M.P. Upravlenie 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.