

Строительные материалы и изделия

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-13>
УДК 691.32

А.А. Чернильник, П.Б. Костюков, Д.А. Павлов, Д.М. Ельшаева, Н.А. Доценко,
М.С. Самофалова

ЧЕРНИЛЬНИК АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – соискатель
(автор, ответственный за переписку), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0103-2587>,
chernila_a@mail.ru
КОСТЮКОВ ПАВЕЛ БОРИСОВИЧ – магистрант, pavelkostyukov@ya.ru
ПАВЛОВ ДАНИИЛ АНДРЕЕВИЧ – магистрант, paradoks530@gmail.com
ЕЛЬШАЕВА ДИАНА МИХАЙЛОВНА – магистрант,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>, diana.elshaeva@yandex.ru
ДОЦЕНКО НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА – магистрант,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>, natalya_1998_dotsenko@mail.ru
САМОФАЛОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА – магистрант,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-8696>,
mary.ss17@yandex.ru
Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, Россия

Влияние технологических факторов вибрирования на интегральные деформативные характеристики виброцентрифугированного бетона

Аннотация: На основе предложенных авторами экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных элементов с вариатропной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона и конструкций из него. В опытах варьировались следующие технологические факторы: высота и форма технологических выступов хомутов. Исследовалась задача оценки их влияния на интегральные (общие, усредненные по сечению) характеристики бетона: предельные деформации при осевом сжатии и растяжении, модуль упругости. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния рассмотренных технологических факторов на интегральные деформативные характеристики виброцентрифугированного бетона. Наиболее высокие (модуль упругости) и наименьшие (деформации) значения характерны для бетонов, изготовленных с использованием технологических выступов хомутов прямоугольной формы высотой 5 мм методом виброцентрифугирования; наименее же рациональные значения интегральных деформативных характеристик наблюдались у виброцентрифугированных бетонов, изготовленных с использованием выступов любой рассматриваемой формы высотой 2,5 мм. Полученные результаты демонстрируют целесообразность внедрения установленных рациональных технологических параметров виброцентрифугирования в практику производства для улучшения характеристик бетона получаемых конструкций. Усовершенствованные виброцентрифугированные изделия позволяют более полно использовать резервы несущей способности строительных конструкций.

Ключевые слова: центрифугирование, виброцентрифугирование, интегральные деформативные характеристики, технологические факторы вибрирования, железобетонные изделия

Введение

Классификация способов изготовления железобетонных изделий и конструкций зависит от метода уплотнения бетонной смеси при формовке изделий. Выбор метода влияет и на конструкцию главного оборудования, необходимого для их изготовления [3].

К основным способам изготовления железобетонных изделий относятся: центрифугирование, вибрирование, комбинированные (вибрирование с другими методами). Они имеют как преимущества, так и недостатки, но у всех есть рациональные области применения.

Изготовление железобетонных изделий способом вибрирования осуществляется при вертикальном или же горизонтальном расположении формы. Чтобы уплотнить бетонную смесь, используют вибровозбудители, которые навешивают на форму, неподвижный или же подвижный вибросердечник (вибропуансон), могут использовать виброплощадку, а в отдельных случаях – и комбинацию этих устройств. Установки, основанные на этом принципе, достаточно широко используются как в России, так и в других странах, включая Германию и Данию [5].

Широкое распространение получил способ изготовления железобетонных изделий центрифугирования, основанный на вращении формы, наполненной бетонной смесью и расположенной горизонтально. Вращение производится с большой частотой и соответствующей окружной скоростью, которая равна 15–20 м/с. Под влиянием центробежных сил бетонная смесь распределяется по внутренней поверхности формы [2, 4, 7].

Отечественные и зарубежные производители выпускают центрифуги различных видов, которые работают с надлежащим технологическим оборудованием. Главное сравнительное преимущество метода центрифугирования – возможность получения менее материалоемких железобетонных изделий и конструкций меньшего сечения по сравнению с вибрированными аналогами. Простота конструкции центрифуг и их обслуживания, экономное потребление энергии в процессе производства изделий и небольшое пространство, которое центрифуга занимает по высоте, дает возможность производить изделия до 5 и более метров в длину и [6, 9, 11]. Именно поэтому отечественные и зарубежные центрифуги эксплуатируют и производят длительное время.

К недостаткам центрифуг относятся их малая производительность, большая металлоемкость форм, шум в работе и отходы при центрифугировании в виде отжимаемого с водой шлама, а также недостаточно гладкая внутренняя поверхность изделий, что наблюдается при неверном расчете состава бетона.

Из-за этого установка режимов центрифугирования, улучшение конструкции центрифуг, работающего в комплексе с ними основного технологического оборудования и условий работы обслуживающего персонала актуальны и в настоящее время [10, 15, 16].

Для улучшения качества уплотнения бетонной смеси процесс центрифугирования мы предлагаем использовать в совокупности с вибрированием. Таким образом, этот режим разумно назвать – виброцентрифугирование. При его применении исходное водосодержание в цементном растворе может быть снижено до $В/Ц = 0,24$, процесс уплотнения будет протекать без отслоения шлама из-за перераспределения жидкой части и др.

В процессе виброцентрифугирования можно достичь и более равномерного перераспределения частиц заполнителя, а расход цементного теста уменьшить примерно на 30% (если сравнивать с фильтрационным процессом центрифугирования вязкопластичной бетонной смеси [1]).

При использовании метода виброцентрифугирования вибрацию можно рассматривать и как процесс разжижения бетонной смеси на этапах ее распределения и уплотнения под воздействием центробежных сил.

Цель данной работы – подбор рациональных технологических параметров виброцентрифугирования для получения бетонов с улучшенными интегральными деформативными характеристиками.

Для этого мы должны провести эксперимент, позволяющий выявить тенденцию изменения деформативных характеристик виброцентрифугированного бетона в зависимости от величины и вида технологических факторов вибрирования.

Материалы и методы

Эксперимент с виброцентрифугированным бетоном проводился в августе 2020 г. в лаборатории кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии» Донского государственного технического университета. Использовалась универсальная центрифуга с электродвигателем постоянного тока и тиристорными блоками питания (рис. 1, 3), что гарантировало нам плавное изменение скорости путем регулирования частоты вращения вала [8, 12–14]. Вибрации формы создавались с помощью надетых на валы установки хомутов (по два хомута на каждый вал) с технологическими выступами различной формы и высоты (рис. 2).

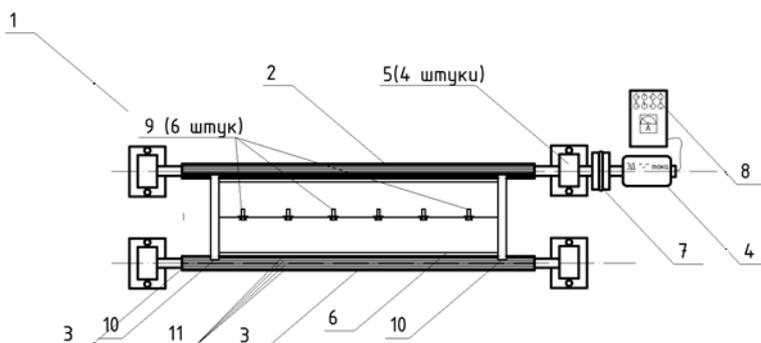


Рис. 1. Устройство для изготовления изделий из виброцентрифугированного бетона:
 1 – рама; 2 – приводной вал с хомутами; 3 – опорный вал с хомутами; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – упоры; 6 – стальная форма заданного типоразмера; 7 – муфта;
 8 – тиристорный блок управления; 9 – болты диаметром 12 мм;
 10 – опоры для стальной формы; 11 – технологические выступы хомутов.
Здесь и далее фото и рисунки авторов

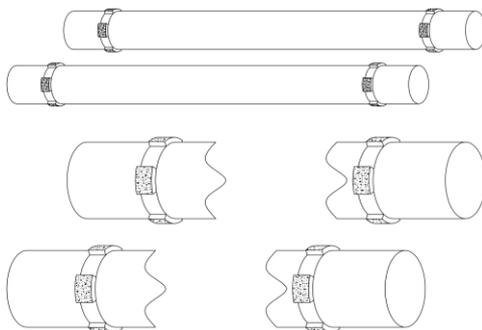


Рис. 2. Хомуты с технологическими выступами различной формы и высоты, надетые на валы установки (по два хомута на каждый вал)

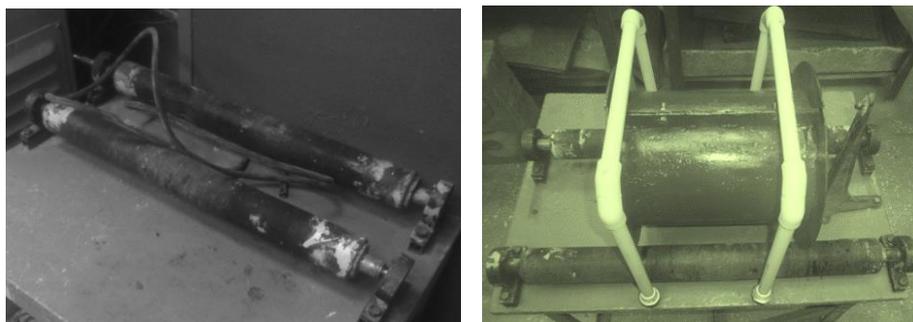


Рис. 3. Общий вид установки:
 а – до формования; б – во время формования

Установка работает следующим образом: на приводной и опорный валы устанавливается стальная форма заданного типоразмера (масштабная модель строительного изделия), далее через муфту передается вращательное движение от электродвигателя постоянного тока с тиристорным блоком управления к приводному валу. Приводной и опорный валы через упоры крепятся к раме при помощи болтов диаметром 12 мм. Разгон и плавное регулирование скорости вращения осуществляется за счет тиристорного блока управления, позволяющего менять частоту вращения двигателя постоянного тока. Вращение от приводного вала передается стальной форме, которая имеет опоры, за счет сил трения. Уплотнение в стальной форме происходит за счет действия центробежной уплотняющей силы на компоненты бетонной смеси и высокочастотного вибрационного колебания, которое создают технологические выступы хомутов на приводном и опорном валах.

В качестве вяжущего использовался портландцемент Евроцемент групп «Осколцемент» ПЦ 500-Д0-Н, физико-механические свойства которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства цемента

Наименование	Удельная поверхность, см ² /кг	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч, мин		Активность, МПа	
			начало	конец	R _{из}	R _{сж}
Портландцемент	3700	25,5	1–15	3–40	6,0	52,2

В качестве заполнителей приняты:

- щебень гранитный фракций 5–10 и 10–20 мм;
- песок кварцевый (M_к = 2,12).

Физические свойства крупного заполнителя представлены в таблицах 2 и 3, мелкого заполнителя – в табл. 4.

Таблица 2

Физические свойства крупного заполнителя с размерами зерен от 5 до 20 мм

Наименование материала	Фракция	Удельная поверхность, см ² /г	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная (средняя) плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Общее водопоглощение, %
Щебень гранитный	5–20	4,2	1440	2720 (2680)	46	0,58

Таблица 3

Физико-механические показатели гранитного щебня фракций 5–10 и 10–20 мм

Наименование показателей	Фактические показатели	Требования ГОСТ 8267
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,45	Не более 1
Содержание глины в комках, % по массе	0	0,25
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм	31,0	Св. 25 до 35 для 4 группы
Дробимость, % по массе	11,3	До 12 включ. для марки 1400
Морозостойкость	F300	F300

Физические свойства мелкого заполнителя

Фракция	Частный остаток, %	Удельная поверхность, см ² /г	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
5–2,5	1,85	86,9	1240	2580	52
2,5–1,25	3,22				
1,25–0,63	35,8				
0,63–0,315	28,5				
0,315–0,16	25,1				
<0,16	3,45				

В результате расчетного подбора определен состав бетонной смеси. Оптимизацию составов бетонов и выбор вида компонентов для них выполняли с применением метода математического планирования эксперимента ПФЭ 2^k. Статистический анализ и обработку полученных результатов проводили с использованием программы MathCAD.

Результаты пробных экспериментов приведены ниже: применялся следующий состав бетона: цемент – 412 кг/м³, вода – 178 л, песок – 692 кг/м³, щебень – 1208 кг/м³.

Особенность методики: каждый выпущенный образец использовался в нескольких видах испытаний.

Проведенные испытания дали возможность проанализировать полученные интегральные (усредненные по сечению) характеристики бетона.

Необходимо было из сечения кольцевого типа выделить 3 условных квадранта, из которых требовалось выпилить образцы малого размера для установления предельных деформаций при сжатии и растяжении и модуля упругости:

- призма 2 шт.: 150x150x600 мм – на осевое сжатие;
- призма 1 шт.: 150x150x600 мм – на растяжение при изгибе;
- призма 2 шт.: 150x150x600 мм – на осевое растяжение [12–14].

Образцы из виброцентрифугированного изделия выпиливались на камнерезной установке с помощью диска с алмазным напылением.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 24452. Измерения деформаций бетона опытных призм производились цепочкой тензодатчиков базой 50 мм и индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм (рис. 4).



Рис. 4. Испытание образцов-призм

В рамках предложенных авторами статьи экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных элементов с вариатропной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона и конструкций из него.

К ним в первую очередь можно отнести группу факторов вибрирования:

- высоту технологических выступов;
- шаг между технологическими выступами;
- форму технологических выступов;
- режим вибрирования.

Тем самым учитывались следующие параметры, обеспечивающие вибрирование: амплитуда – регулируемая высотой технологических выступов хомутов; частота – регулируемая шагом между технологическими выступами хомутов; вертикальная характеристика вибрирования (резкость или плавность) – регулируемая формой технологических выступов хомутов; горизонтальная характеристика вибрирования – режим вибрирования (синхронный, асинхронный и попеременный).

Всего методом виброцентрифугирования изготовлено и испытано 9 базовых образцов с кольцевым сечением, имеющих размеры:

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

Ход эксперимента

В опытах варьировались следующие технологические факторы: высота и форма технологических выступов хомутов (рисунки 5, 6).

Исследовалась задача оценки влияния этих факторов на интегральные (общие, усредненные по сечению) характеристики бетона:

- предельные деформации при сжатии;
- предельные деформации при растяжении;
- модуль упругости.

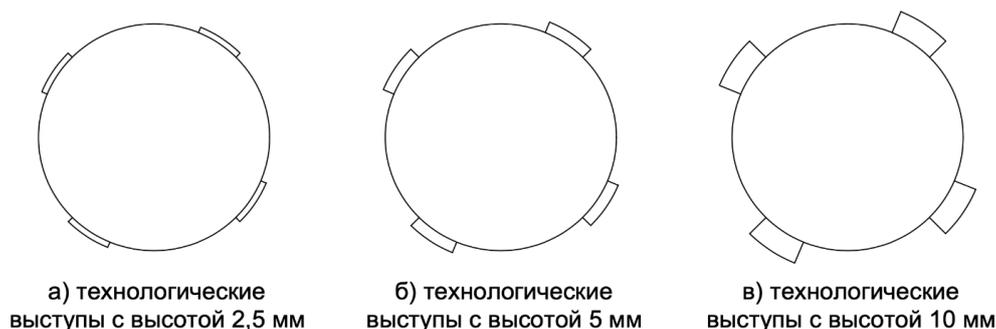


Рис. 5. Выбор высоты технологических выступов вала виброцентрифуги

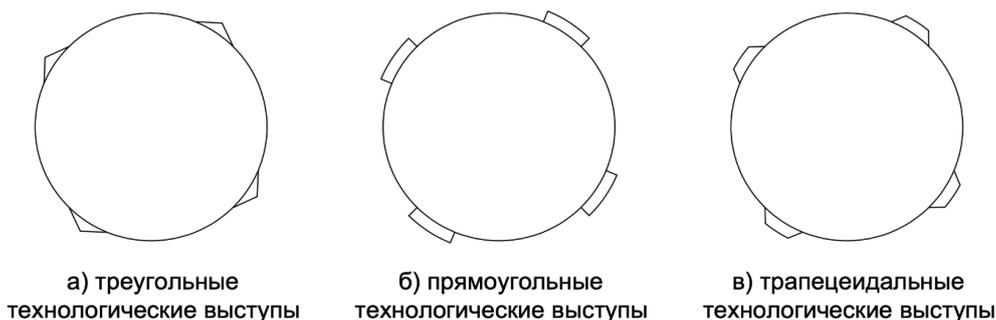


Рис. 6. Выбор формы технологических выступов вала виброцентрифуги

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований влияния рассмотренных технологических факторов на интегральные деформации и модуль упругости виброцентрифугированного бетона представлены в табл. 5 и на рисунках 7–9.

Таблица 5

Результаты влияния группы факторов вибрирования на интегральные деформации и модуль упругости виброцентрифугированного бетона

Характеристики бетона	Центрифугирован. бетон (контрольный состав)	Технологические выступы хомутов								
		Высота, мм			Форма					
		2,5	5	10	треугольная	прямоугольная	трапецидальная	треугольная	прямоугольная	трапецидальная
Пределные деформации при осевом сжатии, $\text{мм/м} \cdot 10^{-3}$	1,88	1,99	2,01	2,07	1,98	1,64	2,01	1,98	1,96	1,89
Пределные деформации при осевом растяжении, $\text{мм/м} \cdot 10^{-4}$	1,16	1,16	1,17	1,19	1,15	1,12	1,17	1,15	1,16	1,14
Модуль упругости, МПа	28,6	28,3	28,2	26,4	28,9	29,4	28,2	28,9	29,1	29,2

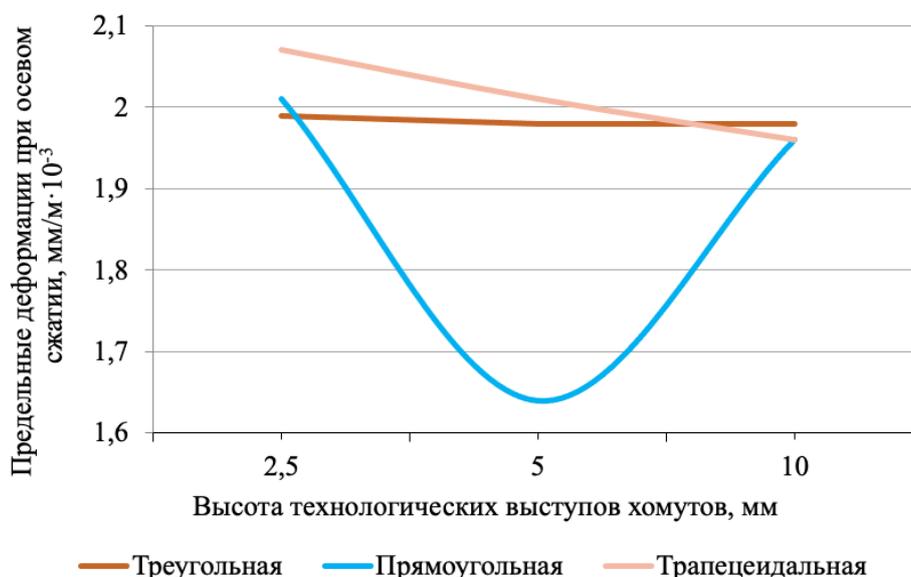


Рис. 7. Графики зависимостей максимальных деформаций виброцентрифугированного бетона от высоты и формы технологических выступов хомутов при испытании на осевое сжатие

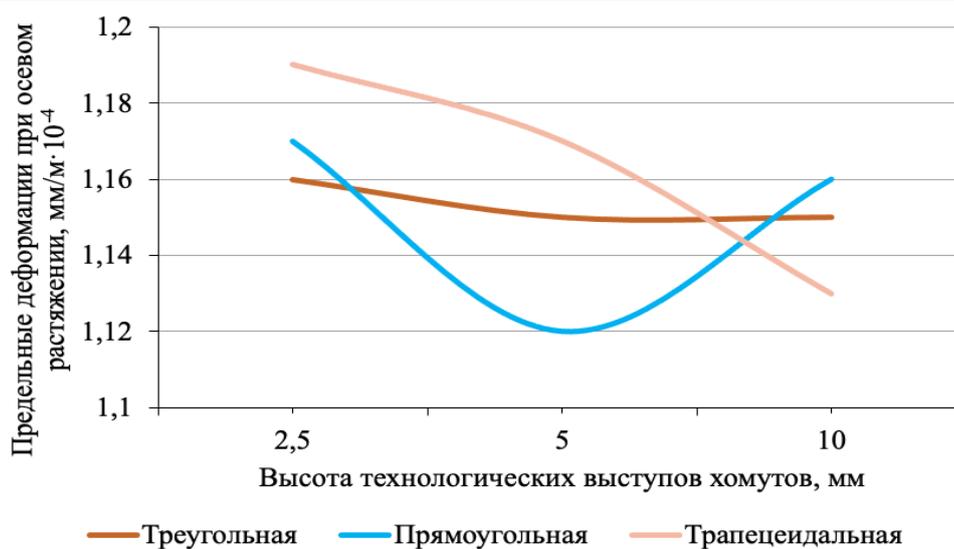


Рис. 8. Графики зависимостей максимальных деформаций виброцентрифугированного бетона от высоты и формы технологических выступов хомутов при испытании на осевое растяжение

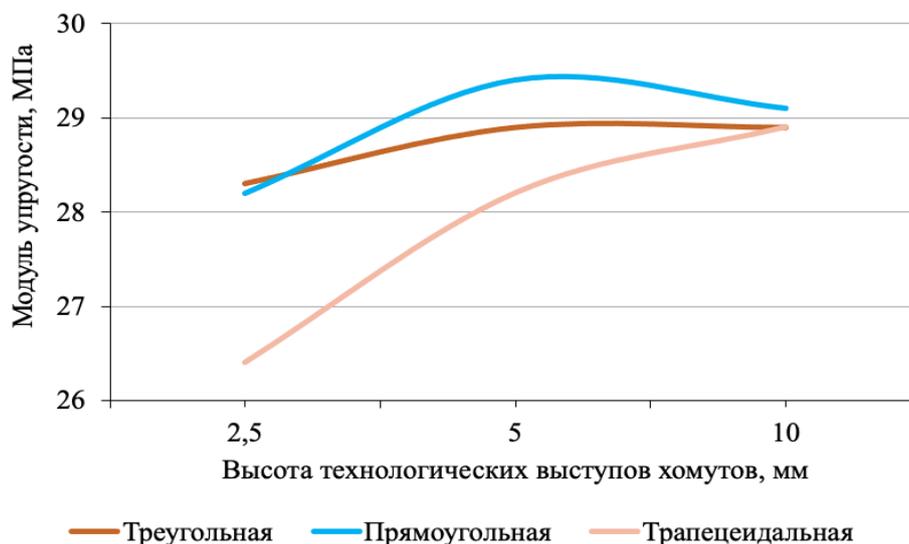


Рис. 9. Графики зависимостей модуля упругости виброцентрифугированного бетона от высоты и формы технологических выступов хомутов

Итак, мы получили зависимости интегральных деформативных характеристик виброцентрифугированного бетона от параметров технологических выступов хомутов.

Таблица 5 показывает: интегральные деформативные характеристики в большинстве случаев лучше у бетона виброцентрифугированного, нежели у центрифугированного (контрольного).

Наименьшие деформации и наибольший модуль упругости наблюдался у виброцентрифугированных бетонов, изготовленных на экспериментальной установке с технологическими выступами хомутов прямоугольной формы высотой 5 мм. При значениях высоты технологических выступов 2,5 или 10 мм деформации виброцентрифугированного бетона заметно увеличивались, а модуль упругости уменьшался.

При использовании на хомутах выступов трапецеидальной и треугольной форм значения интегральных деформативных характеристик уменьшались в сравнении с выступами прямоугольной формы. При этом чуть большие значения характеристик наблюдались у виброцентрифугированных бетонов, полученных с использованием технологических выступов треугольной формы, в сравнении с выступами трапецеидальной формы. Хотя эта разница не

столь выражена по сравнению с выступами прямоугольной формы. Если высота выступов равнялась 10 мм, то деформативные характеристики бетона были лучше при применении трапецеидальных выступов, нежели треугольных.

Также наблюдается различие в значениях деформативных характеристик виброцентрифугированного бетона при использовании технологических выступов хомутов треугольной и трапецеидальной форм в зависимости от высоты этих выступов. Графические зависимости для различных деформативных характеристик имели то линейный (с использованием трапецеидальных и треугольных выступов), то параболический (с использованием прямоугольных выступов) характер. Наиболее рациональные показатели деформативных свойств наблюдались у бетонов, полученных при использовании выступов высотой 5 и 10 мм.

Выводы

На основании полученных результатов и построенных графических зависимостей мы можем сделать следующие выводы:

- 1) наиболее высокие значения модуля упругости и наименьшие деформации характерны для бетонов, изготовленных с использованием технологических выступов хомутов прямоугольной формы высотой 5 мм методом виброцентрифугирования;
- 2) наименьшие же значения модуля упругости и наибольшие деформации наблюдаются у виброцентрифугированных бетонов, полученных с использованием выступов любой рассматриваемой формы высотой 2,5 мм;
- 3) деформативные характеристики виброцентрифугированного бетона имели в большинстве вариациях технологических факторов лучшие показатели по сравнению с центрифугированным бетоном.

Впервые определена количественная и качественная картины влияния технологических факторов вибрирования на интегральные деформативные характеристики виброцентрифугированного бетона. Полученные нами результаты демонстрируют целесообразность внедрения установленных рациональных технологических параметров виброцентрифугирования в практику производства для улучшения характеристик бетона. Усовершенствованные виброцентрифугированные изделия позволят более полно использовать резервы несущей способности строительных конструкций.

Практическое значение результатов статьи представляет ценность для изготовления сборных железобетонных конструкций, для которых важны прочностные и деформативные характеристики (колонны, напорные трубы, опоры ЛЭП и др.).

Заявленный вклад авторов: А.А. Чернильник – окончательная редакция статьи, ее согласование со всеми авторами; П.Б. Костюков – изготовление образцов, проведение экспериментов, анализ результатов; Д.А. Павлов – обработка данных эксперимента, построение графиков и таблиц для статьи; Д.М. Ельшаева – написание статьи; Н.А. Доценко – сбор, анализ и интерпретация материала для статьи; М.С. Самофалова – формулировка цели, задач исследования, общее руководство.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Баташев В.М. Исследование прочности и деформации железобетонных элементов кольцевого сечения при изгибе, сжатии и растяжении // Труды института Энергосетьпроект. 1975. № 6. С. 70–86.
3. Волков Л.А. Конструирование, исследование и определение параметров оборудования для изготовления железобетонных труб способом центрифугирования: дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 173 с.
4. Гуца Ю.П., Лемыш Л.Л. К вопросу о совершенствовании расчета деформаций железобетонных элементов // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций: сб. статей / Науч. исслед. ин-т бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1986. С. 26–39.

5. Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Тагил, 2002. 150 с.
6. Королев А.С., Ворошилин А.А., Трофимов Б.Я. Повышение прочности и теплоизоляционных свойств ячеистого бетона путем направленного формирования вариатропной структуры // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 8–9.
7. Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1760> (дата обращения: 02.11.2020).
8. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация технологических параметров для изготовления центрифугированных бетонных образцов кольцевого сечения // Строительство и архитектура. 2018. Т. 6, вып. 1(18). С. 247–252.
9. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах // Инженерный вестник Дона. 2014. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/N4y2014/2734> (дата обращения: 02.11.2020).
10. Романенко Е.Ю., Трубицин М.А. Способы повышения надежности центрифугированных опор контактной сети // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4680> (дата обращения: 02.11.2020).
11. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9–16.
12. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Третьяков Д.А., Дао В.Н., Заикин В.И. Предложения по расчетному определению прочностных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки. 2018. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> (дата обращения: 02.11.2020).
13. Чернильник А.А., Щербань Е.М., Стельмах С.А., Чебураков С.В., Ельшаева Д.М., Доценко Н.А. Рецептурно-технологические аспекты получения высококачественных центрифугированных бетонов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5525> (дата обращения: 02.11.2020).
14. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Ванян С.С., Евсюков К.К., Зарецкий А.В., Коржаева Е.Э. Особенности изменения прочностных и деформативных характеристик обычного и модифицированного центрифугированных бетонов при циклическом замораживании и оттаивании // Вестник Евразийской науки. 2019. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf> (дата обращения: 02.11.2020).
15. Aktham H. Alani, N. Muhamad Bunnori, Ahmed Tareq Noaman, T.A. Majid. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). *Construction and Building Materials*. 2019(209):395–405.
16. Ferrotto M.F., Fischer O. & Cavaleri L. Analysis-oriented stress–strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload. *Mater Struct*. 2018(51):44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-13>

Chernil'nik A., Kostyukov P., Pavlov D., El'shaeva D., Dotsenko N., Samofalova M.

ANDREI ChERNIL'NIK, External Student (Corresponding Author),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0103-2587>, chernila_a@mail.ru

PAVEL KOSTYUKOV, MS-Student, pavelkostyukov@ya.ru

DANIIL PAVLOV, MS-Student, paradoks530@gmail.com

DIANA EL'SHAEVA, MS-Student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-6300>,

diana.elshaeva@yandex.ru

NATAL'YA DOTSENKO, MS-Student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7829-6401>,

natalya_1998_dotsenko@mail.ru

MARIYA SAMOFALOVA, MS-Student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-8696>,

mary.ss17@yandex.ru

Don State Technical University

Rostov-on-Don, Russia

Influence of technological factors of vibration on the integral deformative characteristics of vibrocentrifuged concrete

Abstract: To improve the quality of concrete mixture compaction, it is appropriate to use the centrifugation process in conjunction with vibration, which can be referred to as vibrocentrifugation. When doing so, the initial water content in the cement slurry can be reduced, and the compaction process will proceed without sludge delamination due to redistribution liquid part and other factors. Within the framework of the proposed experimental setup for creating vibrocentrifuged elements with a variatropic structure and a method for their manufacture, technological parameters were identified that cause the most significant effect on the characteristics of vibrocentrifuged concrete and structures made from it. In the experiments, the following technological factors were varied: height and shape of the technological protrusions of the clamps. The problem of assessing the influence of these factors on the integral (general, cross-section-averaged) characteristics of concrete: ultimate deformations under axial compression and tension, as well as the modulus of elasticity, was investigated. The results of experimental studies of the influence of the considered technological factors on the integral deformative characteristics of vibrocentrifuged concrete are presented. The highest values of the modulus of elasticity and the smallest deformations are characteristic of concretes made using technological protrusions of rectangular collars with a height of 5 mm by vibrocentrifugation; the least rational values of integral deformative characteristics are observed in vibrocentrifuged concretes obtained using protrusions of any considered shape with a height of 2.5 mm.

Keywords: vibrocentrifugation, integral deformation characteristics, technological factors of vibration, reinforced concrete products, deformation, elastic modulus

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

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES:

1. Akhverdov I.N. Fundamentals of Concrete Physics. M., Stroyizdat, 1981. 464 p.
2. Batashev V.M. Investigation of the strength and deformation of reinforced concrete elements of annular section under bending, compression and tension. Proceedings of the Energosetproekt Institute. 1975(6):70–86.
3. Volkov L.A. Design, research and determination of the parameters of equipment for the manufacture of reinforced concrete pipes by centrifugation. Dis... Candidate of Techn. Sciences. Moscow, 1999, 173 p.

4. Gushcha Yu.P., Lemysh L.L. On the question of improving the calculation of deformations of reinforced concrete elements. Stress-strain state of concrete and reinforced concrete structures: collection of articles. Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete. Moscow, Stroyizdat, 1986, p. 26–39.
5. Dubinina V.G. Development of optimal parameters for centrifugation of reinforced concrete gravity pipes. Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Nizhny Tagil, 2002. 150 p.
6. Korolev A.S., Voroshilin A.A., Trofimov B.Ya. Increasing the strength and thermal insulation properties of aerated concrete by directional formation of a variotropic structure. *Construction Materials*. 2005(5):8–9.
7. Mailyan L.R., Mailyan A.L., Aivazyan E.S. Calculation assessment of strength and deformation characteristics and deformation diagrams of fiber-reinforced concrete with aggregated fiber distribution. *Engineering Bulletin of Don*. 2013(3). URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1760> – 02.11.2020.
8. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. Optimization of technological parameters for the manufacture of centrifuged concrete samples of annular cross-section. *Building and Architecture*. 2018(18):247–252.
9. Pol'skoi P.P., Mailyan D.R., Georgiev S.V. Strength and deformability of short reinforced struts at low eccentricities. *Engineering Bulletin of the Don*. 2014(4). URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734> – 02.11.2020.
10. Romanenko E.Yu., Trubitsin M.A. Methods for increasing the reliability of centrifuged contact network supports. *Engineering Bulletin of Don*. 2018(1). URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4680> – 02.11.2020.
11. Suleimanova L.A. High-quality energy-saving and competitive building materials, products and structures. *Vestnik BGTU V.G. Shukhova*. 2017(1):9–16.
12. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Tret'yakov D.A., Dao V.N., Zaikin V.I. Proposals for the calculated determination of the strength characteristics of vibrated, centrifuged and vibrocentrifuged concretes. *Bulletin of Eurasian Science*. 2018(6). URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> – 02.11.2020.
13. Chernil'nik A.A., Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Cheburakov S.V., El'shaeva D.M., Dotsenko N.A. Recipe and technological aspects of obtaining high-quality centrifuged concretes. *Engineering Bulletin of Don*. 2019(1). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5525> – 02.11.2020.
14. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Vanyan S.S., Evsyukov K.K., Zaretskii A.V., Korzhaeva E.E. Features of changes in strength and deformative characteristics of conventional and modified centrifuged concretes during cyclic freezing and thawing. *Bulletin of Eurasian Science*. 2019(6). URL: <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf> – 02.11.2020.
15. Aktham H. Alani, N. Muhamad Bunnori, Ahmed Tareq Noaman, T.A. Majid. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). *Construction and Building Materials*. 2019(209):395–405.
16. Ferrotto M.F., Fischer O. & Cavaleri L. Analysis-oriented stress–strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload. *Mater Struct*. 2018(51):44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>.