

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19

<sup>1,\*</sup>Назхуев М.П., <sup>2</sup>Джамилова П.М., <sup>1</sup>Батаева Ф.А.,  
<sup>1</sup>Бакаев З.И., <sup>1</sup>Кукаев А.Х., <sup>1</sup>Османов А.<sup>1</sup>Донской государственный технический университет<sup>2</sup>Дагестанский государственный технический университет

\*E-mail: nazhuev17@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ВИБРОЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ БЕТОНОВ

**Аннотация.** Увеличение объемов строительства требует новшеств в технологических, конструктивных и расчетных решениях железобетонных элементов. Методом центрифугирования производятся вариатронные, то есть различные по своим характеристикам по сечению бетоны и конструкции, выполненные из них. Поэтому на стадиях расчета и проектирования строительных конструкций вариатронной структуры обычно закладывается необоснованно большой запас несущей способности, ведущий к внушительному удорожанию перспективных строительных конструкций. Для повышения плотности и обеспечения более равномерного распределения составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения, в частности колонн, предлагается центрифугирование совместить с вибрированием. Вибрирование будет обеспечено за счет использования хомутов, которые надеваются на валы установки. В рамках предложенных экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения с вариатронной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры вибрирования, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона. В опытах варьировались следующие технологические факторы: высота технологических выступов хомутов и режим вибрирования. Исследовалась задача оценки влияния этих факторов на интегральные характеристики бетона. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния рассмотренных технологических факторов на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона. Полученные результаты показывают целесообразность продолжения исследования рациональных технологических параметров виброцентрифугирования для улучшения характеристик бетона и регулирования его вариатронности, что позволит в дальнейшем запатентовать предлагаемый метод и спроектировать усовершенствованную виброцентрифугированную колонну с более полно используемыми резервами несущей способности строительных конструкций.

**Ключевые слова:** виброцентрифугирование, интегральные характеристики, технологические факторы вибрирования, железобетонные изделия, прочность, модуль упругости, предельные деформации.

**Введение.** Существуют различные способы изготовления железобетонных изделий и конструкций кольцевого сечения. В зависимости от способа уплотнения бетонной смеси при формировании выделяют следующие способы:

- вибрирование;
- радиальное прессование;
- центрифугирование [1].

При изготовлении изделий кольцевого сечения способом вибрирования форма располагается либо в вертикальном, либо в горизонтальном положении, а процесс уплотнения бетонной смеси осуществляется с помощью навесных вибровозбудителей или вибросердечника, который может быть подвижным и неподвижным [2–5].

Способ радиального прессования заключается в следующем: форма, как правило, располагается вертикально, а уплотнение бетонной

смеси основной части формируемого изделия осуществляется при помощи роликовой головки, которая перемещается снизу-вверх по форме, нижняя часть формируемого изделия уплотняется за счет дополнительных вибраций. Роликовая головка имеет разглаживающую часть – это позволяет получать гладкую внутреннюю поверхность у формируемых изделий. Данный способ допускает применение жестких бетонных смесей при соблюдении повышенных требований, а именно требований к точности подбора состава и режима формирования, где важно правильно подобрать скорость перемещения роликовой головки и частоту ее вращения [6–9].

Наиболее широкое распространение при изготовлении железобетонных изделий и конструкций кольцевого сечения получил способ центрифугирования. Данный способ заключается во вращении горизонтально расположенной формы

с определенной частотой (количество оборотов формы за минуту) и соответствующей угловой скоростью.

Процесс центрифугирования включает следующие технологические операции:

- очистка и смазка форм;
- укладка арматурного каркаса;
- укладка формы на центрифугу;
- загрузка бетонной смеси в форму;
- формование стенок изделия (равномерное распределение бетонной смеси по форме и ее уплотнение);

- слив шлама;

- откручивание бандажей и перемещение изделия в пропарочную камеру;

- распалубка и складирование.

Процесс центрифугирования условно можно разделить на два этапа, на первом этапе бетонная смесь равномерно распределяется по форме изделия, а на втором этапе происходит уплотнение сформированного изделия. В момент распределения бетонная смесь подвергается воздействию центробежного давления, деформируется и равномерно растекается по форме. Этап уплотнения характеризуется тем, что под действием радиально направленного прессующего центробежного давления происходит перемещение более тяжелых компонентов бетонной смеси к наружной поверхности формируемого изделия, соответственно более лёгкие компоненты и вода отжимаются к внутренней поверхности изделия [10, 11].

Идея применения для изготовления железобетонных элементов круглого и кольцевого сечения одновременного вибрирования и центрифугирования сама по себе не нова – упоминается о ней встречаются у О.А. Гершберга и И.Н. Ахвердова [1, 12]. Однако тогда исследователей – специалистов по строительным материалам – интересовал лишь вопрос о количестве отжимаемой воды и возможной экономии цемента.

Вопросы же изменения физико-механических и конструктивных характеристик бетона при виброцентрифугировании, не говоря уже об их изменении по сечению элементов, не рассматривались в принципе. А это как раз то, что очень интересует специалистов – конструкторов.

Кроме того, сама по себе технология виброцентрифугирования не была разработана, в отдельных же попытках ее реализации центрифугирование совмещалось с вибрированием по горизонтальной (продольной) оси элементов, в то время как намного более результативным представляется центрифугирование, совмещенное с вибрированием по вертикальной (поперечной) оси элементов.

Все это послужило побудительным мотивом для создания технологии и установки для виброцентрифугирования, создаваемого совместно центрифугированием и вибрированием по вертикальной (поперечной) оси элементов.

Неравномерное распределение составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения приводит к тому, что бетон у наружной поверхности стенки изделия обладает более высокой прочностью, нежели бетон у внутренней поверхности стенки. Это явление называется вариатропностью, то есть разные слои бетона одного изделия обладают различающимися конструктивными характеристиками и плотностью [13–16].

Увеличение объемов строительства требует новшеств в технологических, конструктивных и расчетных решениях железобетонных элементов.

В результате метода центрифугирования производятся вариатропные, то есть различные по своим характеристикам (плотности, прочности, деформативности и др.) по сечению бетоны и конструкции, выполненные из них. Данное явление целесообразно учитывать при расчете и проектировании, но аналогичных исследований практически не проводилось.

Поэтому на стадиях расчета и проектирования строительных конструкций вариатропной структуры обычно закладывается необоснованно большой запас несущей способности, ведущий к внушительному удорожанию перспективных строительных конструкций.

Для повышения плотности и обеспечения более равномерного распределения составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения, в частности колонн, предлагается центрифугирование совместить с вибрированием. Таким образом, начальное водоцементное отношение можно уменьшить до 0,24 и процесс уплотнения будет протекать без отслоения шлама путем перераспределения жидкой фазы. Также будет достигнуто и более равномерное распределение зерен заполнителя по сечению изделий, а расход цемента снижен примерно на 30 % по сравнению с центрифугированием. Вибрирование будет обеспечено за счет использования хомутов, которые надеваются на валы установки.

**Материалы и методы.** Для создания виброцентрифугированных изделий с вариатропной структурой была применена универсальная опытная установка – экспериментальная лабораторная центрифуга с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания [17–22]. Это обеспечивало плавное переключение скорости путем изменения частоты вращения

вала электродвигателя. Вибрации формы создавались с помощью надетых на валы установки металлических хомутов (по два хомута на каждый вал) с технологическими выступами различной высоты и режима вибрирования. Продолжительность виброцентрифугирования составляла 12 минут.

Разработанная установка является универсальной, поскольку может быть использована для создания как центрифугированных, так и виброцентрифугированных строительных элементов, в частности масштабных моделей изделий из бетона и железобетона в лабораторных условиях.

Центрифугирование создается за счет придания вращательного движения двум валам, на которых располагается форма с бетонной смесью.

Вибрирование создается за счет разработанных нами дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов), на которых вращающаяся форма с бетонной смесью подвергается дополнительной вибрации.

Регулирование параметров установки для управления физико-механическими свойствами бетона изготавливаемых элементов может осуществляться тремя способами:

- варьированием подъемности – высоты шпонок (выступов);
- варьированием разбежки – расстояния между шпонками (выступами);
- варьирование рельефности – формы шпонок (выступов).

Кроме того, принципиально возможно варьирование дополнительных факторов:

- синхронный режим вибрирования;
- асинхронный режим вибрирования с различными градиентами запаздывания.

Всего изготовлено и испытано девять базовых виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения размерами:

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

Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  составил: Ц = 1203 кг, Щ = 696 кг, П = 416 кг, В = 181 л.

Из общего кольцевого сечения одного базового образца было выделено три условных квадрата, из которых были выпилены следующие образцы:

- кубы в количестве 4 штук с размерами  $150 \times 150 \times 150$  мм для испытаний на осевое сжатие;
- призмы в количестве 2 штук с размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм для испытаний на осевое сжатие;

- одна призма с размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм для испытаний на растяжение при изгибе;

- две призмы с размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм для испытаний на осевое растяжение.

Испытания на осевое сжатие, растяжение при изгибе и осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Призмы и кубы на осевое сжатие испытывались на прессах ИПС-10 и П-125, а испытания призм на осевое растяжение проводилось на специальной установке в испытательном прессе Р-10 [17–21].

Измерения деформаций бетона опытных призм производились цепочкой тензодатчиков базой 50 мм и индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

В рамках предложенных экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения с вариативной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры вибрирования, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона.

К этим технологическим параметрам относятся:

- высота технологических выступов хомутов;
- шаг между технологическими выступами хомутов;
- форма технологических выступов, обеспечивающих вибрирование;
- режим вибрирования.

Длина технологических выступов хомутов прямоугольной формы была принята равной 20 мм с шагом 30 мм. Длина, форма и шаг технологических выступов являются вертикальными характеристиками вибрирования и отвечают за резкость или плавность процесса виброцентрифугирования.

**Результаты и их обсуждение.** В опытах варьировались значения таких технологических факторов как высота технологических выступов хомутов и режим вибрирования (синхронный, попеременный, асинхронный). На рисунке 1 представлено схематичное расположение металлических выступов хомутов различной высоты на валу установки.

Синхронный режим – когда вибрирование осуществляется симметрично, то есть выступы расположены на валах симметрично и параллельно друг другу.

Асинхронный – такой режим, при котором выступы на валах расположены несимметрично и происходит асинхронное вибрирование.

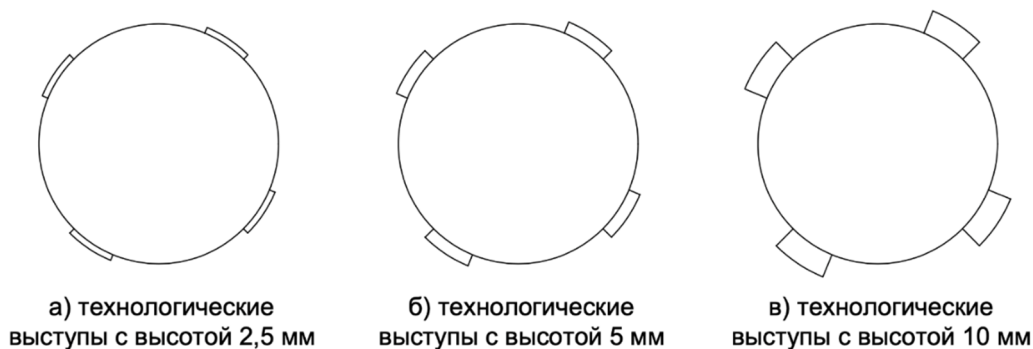


Рис. 1. Выбор высоты технологических выступов вала виброцентрифуги

Попеременный – это режим, при котором вначале вибрирование при виброцентрифугировании осуществляется в синхронном режиме, а затем – в асинхронном.

Было оценено влияние этих факторов на интегральные (общие, усредненные по сечению) характеристики виброцентрифугированного бетона:

- плотность;
- кубиковая и призмная прочность на сжатие;

- прочность на растяжение при изгибе;
- прочность на осевое растяжение;
- предельные деформации при осевом сжатии и осевом растяжении;
- модуль упругости.

Результаты экспериментальных исследований влияния высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона представлены в табл. 1 и на рис. 2–9.

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований влияния группы факторов вибрирования на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона**

Характеристики бетона	Центрифугирование	Высота технологических выступов хомутов 2,5 мм								
		2,5			5			10		
		Режим вибрирования								
		Синхронный	Попеременный	Асинхронный	Синхронный	Попеременный	Асинхронный	Синхронный	Попеременный	Асинхронный
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2308	2314	2338	2300	2390	2412	2381	2368	2381	2360
<b>Сжатие</b>										
Прочность, МПа:										
а) кубиковая	48,5	48,9	50,9	48,8	55,1	56,8	54,7	52,9	54,7	52,5
б) призмная	40,2	40,7	41,8	40,0	44,1	46,2	43,8	42,1	43,8	41,3
<b>Растяжение</b>										
Прочность, МПа:										
а) при изгибе	4,3	4,4	4,5	4,4	4,7	4,8	4,6	4,6	4,6	4,6
б) осевое	4,0	4,1	4,2	4,1	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2
Предельные деформации при осевом сжатии, мм/м · 10 <sup>-3</sup>	2,09	2,11	2,03	2,12	1,89	1,65	1,96	1,97	1,96	2,01
Предельные деформации при осевом растяжении, мм/м · 10 <sup>-4</sup>	1,22	1,21	1,17	1,22	1,14	1,13	1,16	1,15	1,16	1,17
Модуль упругости, МПа	25,9	25,6	26,5	25,1	29,2	29,7	29,1	28,7	29,1	28,2

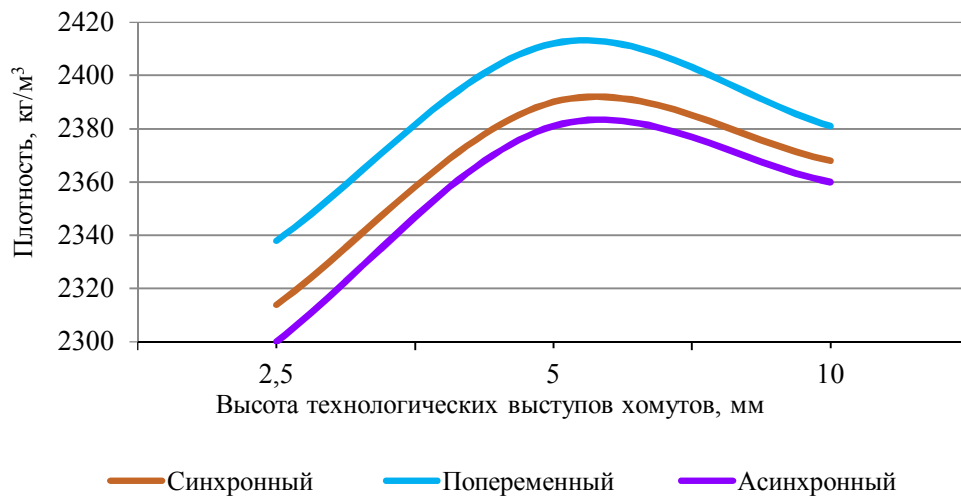


Рис. 2. Зависимость плотности виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

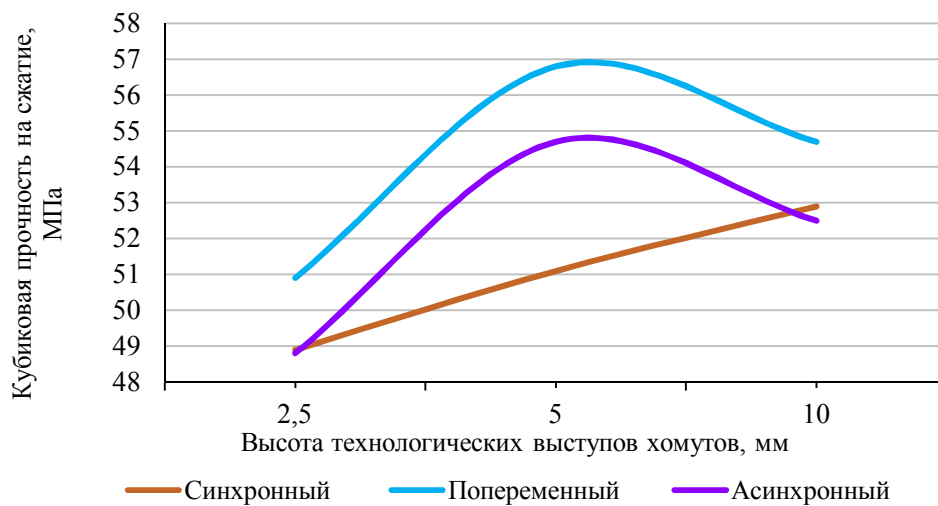


Рис. 3. Зависимость кубиковой прочности на сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

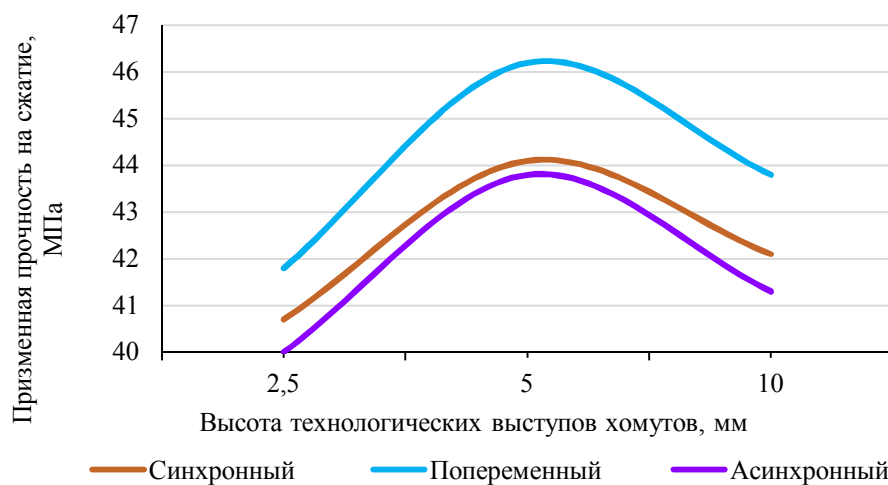


Рис. 4. Зависимость призмной прочности на осевое сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

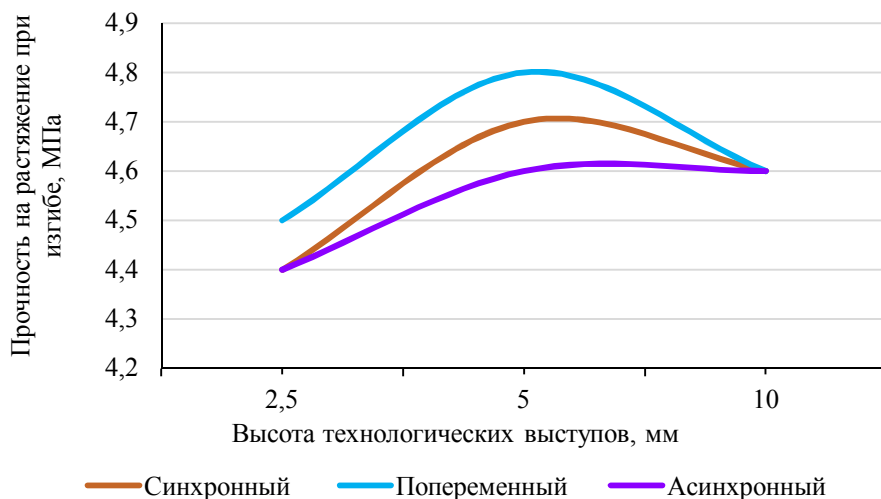


Рис. 5. Зависимость прочности на растяжение при изгибе виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

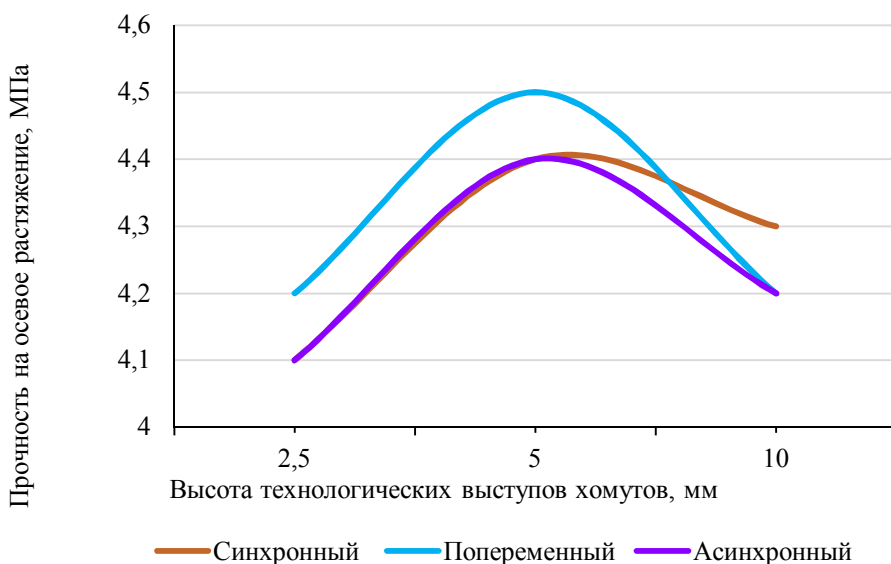


Рис. 6. Зависимость прочности на осевое растяжение виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

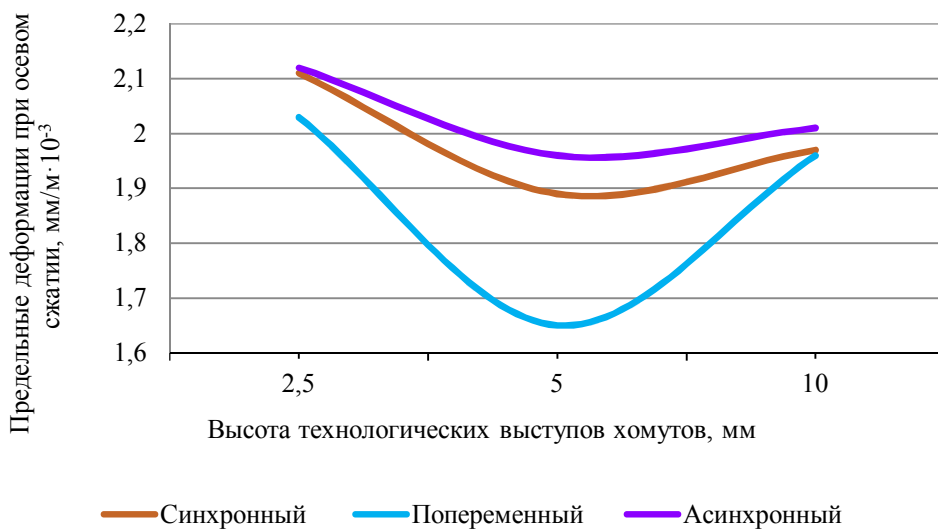


Рис. 7. Зависимость предельных деформаций при осевом сжатии бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

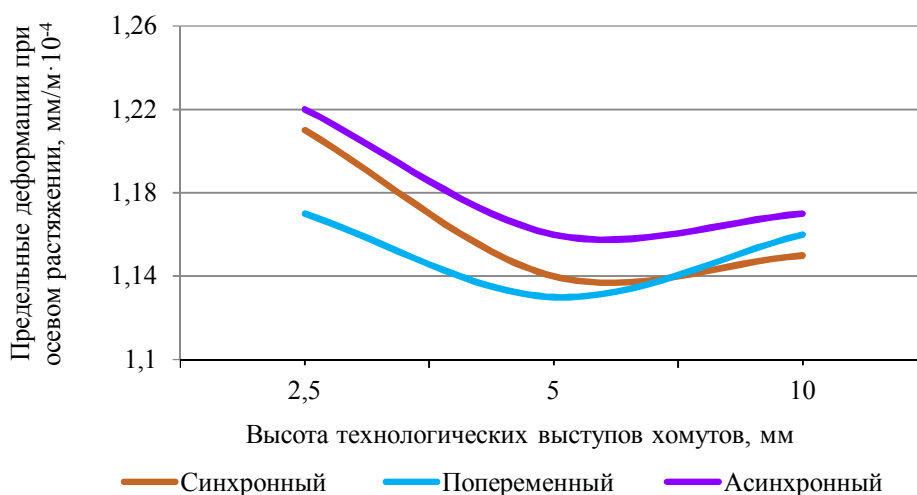


Рис. 8. Зависимость предельных деформаций при осевом растяжении бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

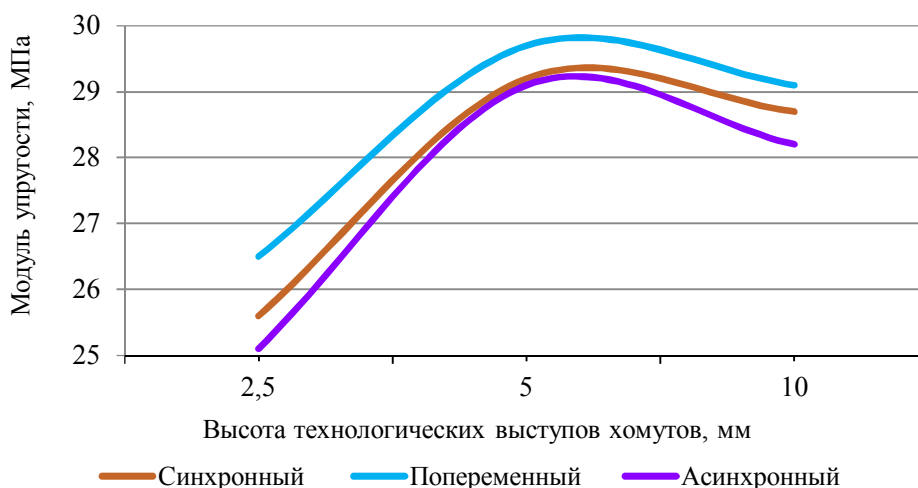


Рис. 9. Зависимость модуля упругости бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

По результатам экспериментальных исследований интегральных характеристик виброцентрифугированного бетона были получены их зависимости от технологических параметров вибрирования, а именно от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования.

Из таблицы 1 видно, что интегральные характеристики лучше в большинстве случаев у виброцентрифугированного бетона, нежели у центрифугированного.

Плотность достигает максимальных значений при использовании хомутов с высотой технологических выступов 5 мм при попеременном режиме вибрирования (на 5 % больше, чем у центрифугированного бетона).

Также наблюдается, что при аналогичных параметрах вибрирования кубиковая и призмная прочности при сжатии (больше, чем у центрифугированного бетона соответственно на 17 % и 15 %), прочность на растяжение при изгибе и проч-

ность при осевом растяжении (больше, чем у центрифугированного бетона соответственно на 12 % и 13 %) имеют наивысшие показатели.

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 2,5 мм и 10 мм прочностные характеристики виброцентрифугированного бетона и его плотность меньше, чем значения тех же показателей, полученных при применении хомутов с высотой технологических выступов 5 мм. Наименьшие значения прочностных характеристик виброцентрифугированного бетона и его плотности наблюдаются при высоте технологических выступов 2,5 мм.

Наименьшие значения деформаций и наибольший модуль упругости наблюдаются у виброцентрифугированных бетонов, при формировании (попеременный режим формирования) которых были применены хомуты с высотой технологических выступов 5 мм (предельные деформации при осевом сжатии и растяжении меньше, чем у

центрифугированного бетона соответственно на 20 и 8 %).

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 2,5 мм и 10 мм деформации виброцентрифугированного бетона увеличивались, а модуль упругости уменьшался. Наибольшие значения деформаций и наименьший модуль упругости наблюдаются у бетонов при высоте технологических выступов 2,5 мм.

При попеременном режиме вибрирования с высотой технологических выступов хомутов, равной 2,5 мм, 5 мм и 10 мм зафиксированы наибольшие значения прочностных характеристик бетона и его плотности, наибольший модуль упругости и наименьшие значения деформации в сравнении с теми же значениями, полученными при асинхронном и синхронном режиме вибрирования. Наихудшие показатели наблюдаются при асинхронном режиме вибрирования.

На наш взгляд, попеременный режим вибрирования при виброцентрифугировании в сравнении с центрифугированием в наибольшей степени «сглаживает» вариативность бетона за счет варьирования двумя режимами вибрирования – синхронным и асинхронным, то есть происходит более равномерное распределение заполнителя по толщине стенки изделия, вследствие чего интегральные характеристики бетона улучшаются (плотность, прочности и модуль упругости увеличиваются, а предельные деформации уменьшаются). При этом экспериментальным путем выявлено, что попеременный режим успешно сочетается с высотой технологических выступов хомутов на валах установки, равной 5 мм.

**Вывод.** Наиболее высокие значения интегральных характеристик наблюдаются у виброцентрифугированных бетонов, изготовленных с использованием хомутов, высота технологических выступов которых равна 5 мм, а режим вибрирования – попеременный.

Наименьшие же значения интегральных характеристик зафиксированы у бетонов, изготовленных с использованием хомутов, имеющих высоту технологических выступов 2,5 мм при различных режимах вибрирования.

Полученные результаты показывают целесообразность продолжения исследования рациональных технологических параметров виброцентрифугирования для улучшения характеристик бетона и регулирования его вариативности, что позволит в дальнейшем запатентовать предлагаемый метод и спроектировать усовершенствованную виброцентрифугированную колонну с более полно используемыми резервами несущей способности строительных конструкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1969. 164 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. Гуца Ю.П., Лемыш Л.Л. К вопросу о совершенствовании расчета деформаций железобетонных элементов // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций: сб. статей Научно-исследовательского института бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1986. С. 26–39.
4. Овсянкин В.И. Железобетонные трубы для напорных водоводов (3-е издание). М.: Стройиздат, 1971. 320 с.
5. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Технологии бетонов. 2005. № 1. С. 6–8.
6. 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. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_28\\_Mailian.pdf\\_1760.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_28_Mailian.pdf_1760.pdf) (дата обращения: 16.11.2020).
7. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams // Magazine of Concrete Research. 2019. Vol. 71. № 4. Pp. 184–194.
8. Alani A., Bunnori N., Noaman A., Majid T. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC) // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 209. Pp. 395–405.
9. Maruyama I., Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete // Cement and Concrete Research. 2019. № 123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.015.
10. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes // Cement and Concrete Research. 2019. № 124. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.105811.
11. Ferrotto M.F., Fischer O., Cavaleri L. Analysis-oriented stress-strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload // Materials and Structures. 2018. Vol. 51, Iss. 44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>.
12. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1971. 360 с.



13. Bourchy A., Barnes L., Bessette L., Chalencou F., Joron A., Torrenti J.M. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures // *Cement and Concrete Composites*, 2019. Vol. 103. Pp. 233–241.

14. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2017. №1. С. 9–16.

15. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2017. № 4. С. 56–59.

16. Королев А.С., Ворошилин А.А., Трофимов Б.Я. Повышение прочности и теплоизоляционных свойств ячеистого бетона путем направленного формирования вариативной структуры // *Строительные материалы*. 2005. №5. С. 8–9.

17. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020. № 1(45). Pp. 6–14. DOI: 10.25987/VSTU.2020.45.1.001.

18. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Осадченко С.А. Анализ зарубежного опыта развития технологии виброцентрифугированных строительных конструкций и изделий из бетона // *Вестник Евразийской науки*. 2018. №3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader.

URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> (дата обращения: 16.11.2020).

19. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация параметров центрифугированных изделий кольцевого сечения на стадии уплотнения // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_82\\_Mailyan\\_Stelmakh\\_N.pdf\\_733ea2349a.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_82_Mailyan_Stelmakh_N.pdf_733ea2349a.pdf) (дата обращения: 16.11.2020).

20. 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. Том 6. Вып. 1(18). С. 247–252.

21. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN519.pdf> (дата обращения: 16.11.2020).

22. Пат. 197610, Российская Федерация, МПК В28В 21/30. Устройство для изготовления изделий из виброцентрифугированного бетона / С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, М.Г. Холодняк, А.С. Насевич, А.В. Яновская; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ДГТУ. № 2020103753; заявл. 29.01.2020; опубл. 18.05.2020, Бюл. № 14. 4 с.

#### *Информация об авторах*

**Нажуев Мухума Пахрудинович**, ассистент. E-mail: [nazhuev17@mail.ru](mailto:nazhuev17@mail.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Джамилова Патимат Магомедовна**, аспирант. E-mail: [p.dzhamilova@mail.ru](mailto:p.dzhamilova@mail.ru). Дагестанский государственный технический университет. Россия, Республика Дагестан, 367026, Махачкала, пр. Имама Шамиля, д. 70.

**Батаева Фариза Ахмедовна**, магистрант. E-mail: [bataevafariza@mail.ru](mailto:bataevafariza@mail.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Бакаев Заурбек Идрисович**, магистрант. E-mail: [zaurbekbakaev06@gmail.com](mailto:zaurbekbakaev06@gmail.com). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Кукаев Анзор Хамидович**, магистрант. E-mail: [kukaevanzor@mail.ru](mailto:kukaevanzor@mail.ru). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

**Османов Ашыр**, магистрант. E-mail: [ashir.osmanov@gmail.com](mailto:ashir.osmanov@gmail.com). Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

*Поступила 29.11.2020*

© Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А., 2021

<sup>1,\*</sup>Nazhuev M.P., <sup>2</sup>Dzhamilova P.M., <sup>1</sup>Bataeva F.A.,  
<sup>1</sup>Bakaev Z.I., <sup>1</sup>Kukaev A.Kh., <sup>1</sup>Osmanov A.  
<sup>1</sup>Don State Technical University  
<sup>2</sup>Dagestan State Technical University  
 \*E-mail: nazhuev17@mail.ru

## SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF VIBRATION CENTRIFUGAL EQUIPMENT AS A FACTOR IN CONTROL OF CONCRETE PROPERTIES

**Abstract.** An increase in the volume of construction requires innovations in technological, structural and design solutions for reinforced concrete elements. As a result of the centrifugation method, variatropic concretes with different cross-sectional characteristics and structures made from them. Therefore, at the stages of calculation and design of building structures of a variatropic structure, an unreasonably large supply of bearing capacity is usually laid, leading to an impressive rise in the cost of promising building structures. It is proposed to combine centrifugation with vibration to increase the density and ensure a more uniform distribution of the components of the concrete mixture over the wall thickness of an annular section product, in particular columns. Vibration will be ensured through the use of clamps, which are put on the shafts of the installation. Within the framework of the proposed experimental setup for creating vibrocentrifuged samples of annular cross-section with a variatropic structure and a method for their manufacture, the technological parameters of vibration are identified, which have the most significant effect on the characteristics of vibrocentrifuged concrete. In the experiments, the following technological factors varied: the height of the technological protrusions of the clamps and the vibration mode. The problem of assessing the influence of these factors on the integral characteristics of concrete is investigated. The results of experimental studies of the influence of the considered technological factors on the integral characteristics of vibrocentrifuged concrete are presented. The results obtained show the feasibility of continuing the study of rational technological parameters of vibrocentrifugation to improve the characteristics of concrete and regulate its variatropy, which will allow the proposed method to be patented in the future and to design an improved vibrocentrifuged column with more fully utilized reserves of the bearing capacity of building structures.

**Keywords:** vibrocentrifugation, integral characteristics, technological factors of vibration, reinforced concrete products, strength, modulus of elasticity, ultimate deformation.

### REFERENCES

1. Akhverdov I.N. Reinforced concrete centrifuged pressure pipes [Zhelezobetonnye napornye tseftrifugirovannye trubyy]. Moscow: Stroyizdat. 1969, 164 p. (rus)
2. Batashev V.M. Investigation of the strength and deformation of reinforced concrete elements of ring section under bending, compression and tension [Issledovanie prochnosti i deformatsii zhelezobetonnykh elementov kol'tsevogo secheniya pri izgibe, szhatii i rastyazhenii]. Trudy instituta Energoset'proekt. 1975. No. 6. Pp. 70–86. (rus)
3. Gushcha Yu.P., Lemyshev L.L. On the issue of improving the calculation of deformations of reinforced concrete elements [K voprosu o sovershenstvovanii rascheta deformatsii zhelezobetonnykh elementov]. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsii: sb. statei Nauchno-issledovatel'skogo instituta betona i zhelezobetona. Moscow: Stroyizdat, 1986. Pp. 26–39. (rus)
4. Ovsyankin V.I. Reinforced concrete pipes for pressure water conduits (3rd edition) [Zhelezobetonnye trubyy dlya napornnykh vodovodov (3-e izdanie)]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 320 p. (rus)
5. Bazhenov Yu.M. Modern concrete technology. [Sovremennaya tekhnologiya betona]. Concrete technology. 2005. No. 1. Pp. 6–8. (rus)
6. Mailyan L.R., Mailyan A.L., Aivazyan E.S. Estimated Strength and Deformation Characteristics and Fiber Concrete Deformation Diagrams with Aggregated Fiber Distribution [Raschetnaya ocenka prochnostnykh i deformativnykh harakteristik i diagram deformirovaniya fibrobetonov s agregirovannym raspredeleniem volokon]. Engineering journal of Don. 2013. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_28\\_Mailian.pdf\\_1760.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_28_Mailian.pdf_1760.pdf). (rus) (date of treatment: 16.11.2020).
7. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams. Magazine of Concrete Research. 2019. Vol. 71. No. 4. Pp. 184–194.
8. Alani A., Bunnori N., Noaman A., Majid T. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). Construction and Building Materials. 2019. Vol. 209. Pp. 395–405.
9. Maruyama I., Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete. Cement and Concrete Research. 2019. Vol. 123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.015.

10. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.105811.
11. Ferrotto M.F., Fischer O., Cavaleri L. Analysis-oriented stress–strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload. *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>.
12. Gershberg O.A. Technology of concrete and reinforced concrete products [Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii]. Moscow: Stroizdat, 1971. 360 p. (rus)
13. Bourchy A., Barnes L., Bessette L., Chalencou F., Joron A., Torrenti J. M. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 2019. Vol. 103. Pp. 233–241.
14. Suleimanova L.A. High-quality energy-saving and competitive building materials, products and structures [Vysokokachestvennye energosberegayushchie i konkurentosposobnye stroitel'nye materialy, izdeliya i konstruktsii]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 1. Pp. 9–16. (rus)
15. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of the deformability of bendable reinforced concrete elements of various cross sections [Eksperimental'nye issledovaniya deformativnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov razlichnykh poperechnykh sechenij]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 4. Pp. 56–59. (rus)
16. Korolev A.S., Voroshilin A.A., Trofimov B.Ya. Increasing the strength and thermal insulation properties of aerated concrete by the directional formation of a variatropic structure [Povyshenie prochnosti i teploizolyatsionnykh svoystv yacheistogo betona putem napravlennoogo formirovaniya variatropnoi struktury]. *Construction Materials*. 2005. No. 5. Pp. 8–9. (rus)
17. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020. No. 1(45). Pp. 6–14. DOI: 10.25987/VSTU.2020.45.1.001.
18. Nazhnev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Osadchenko S.A. Analysis of foreign experience in the development of technology of vibrocentrifuged building structures and concrete products [Analiz zarubezhnogo opyta razvitiya tekhnologii vibrotsentrifugirovannykh stroitel'nykh konstruktsii i izdelii iz betona]. *Bulletin of Eurasian Science*. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> (rus) (date of treatment: 16.11.2020).
19. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. Optimization of the parameters of centrifuged products with an annular section at the stage of compaction [Optimizatsiya parametrov tsentrifugirovannykh izdelii kol'tsevogo secheniya na stadii uplotneniya]. *Engineering Bulletin of Don*. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_82\\_Mailyan\\_Stelmakh\\_N.pdf\\_733ea2349a.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_82_Mailyan_Stelmakh_N.pdf_733ea2349a.pdf) (rus) (date of treatment: 16.11.2020).
20. 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 production of centrifuged concrete samples of annular section [Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov dlya izgotovleniya tsentrifugirovannykh betonnykh obraztsov kol'tsevogo secheniya]. *Construction and architecture*. 2018. Vol. 6. No. 1(18). Pp. 247–252. (rus)
21. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concrete [Vliyanie vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. *Bulletin of Eurasian Science*. 2019. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN519.pdf> (rus) (date of treatment: 16.11.2020).
22. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nasevich A.S., Yanovskaya A.V. Device for the manufacture of products from vibrocentrifuged concrete. Patent RF, no. 2020103753, 2020.

#### *Information about the authors*

**Nazhnev, Mukhuma P.** Assistant. E-mail: nazhnev17@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Dzhamilova, Patimat M.** Postgraduate student. E-mail: p.dzhamilova@mail.ru. Dagestan State Technical University Republic of Dagestan. 367026, Makhachkala, Imam Shamil, 70.

**Bataeva, Fariza A.** Master student. E-mail: bataevafariza@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Bakaev, Zaurbek I.** Master student. E-mail: zaurbekbakaev06@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Kukaev, Anzor K.** Master student. E-mail: kukaevanzor@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

**Osmanov, Ashyr.** Master student. E-mail: ashir.osmanov@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

---

*Received 29.11.2020*

**Для цитирования:**

Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А. Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19

**For citation:**

Nazhuev M.P., Dzhamilova P.M., Bataeva F.A., Bakaev Z.I., Kukaev A.Kh., Osmanov A. Some technological parameters of vibration centrifugal equipment as a factor in control of concrete properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19