

Строительные материалы и изделия

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-12>
УДК 691.32

С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, М.П. Нажуев, П.С. Ткач, Е.С. Бондаренко,
С.А. Джамалдинов

СТЕЛЬМАХ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ – к.т.н., доцент,
SPIN: 9161-8344, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-5504>, sergej.stelmax@mail.ru
ЩЕРБАНЬ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ – к.т.н., доцент (автор, ответственный за переписку),
SPIN: 3155-2110, ResercherID: AAG-6070-2020, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5376-247X>,
ScopusID: 57197730793, au-geen@mail.ru
НАЖУЕВ МУХУМА ПАХРУДИНОВИЧ – ассистент,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1614-4677>, nazhuev17@mail.ru
ТКАЧ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ – магистрант, paveltkach98@mail.ru
БОНДАРЕНКО ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ – магистрант, bondar.es@gmail.com
ДЖАМАЛДИНОВ САЙХАН АПТИЕВИЧ – магистрант, s.djamaldinov@mail.ru
Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, Россия

Управление физико-механическими характеристиками бетона за счет варьирования высоты и шага технологических выступов хомутов виброцентрифугирующих устройств

Аннотация: Для регулирования вариатропной структуры центрифугированных изделий авторы данной статьи совместили процесс центрифугирования с вибрированием. Во время эксперимента вибрации формы обеспечивались за счет надетых на валы установки хомутов. Представлена авторская экспериментальная установка для создания виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения с вариатропной структурой, а также способ их изготовления. Выделены технологические параметры вибрирования, которые оказывали наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона, конструкций и изделий из него. В опытах варьировались высота технологических выступов хомутов и шаг между ними. Исследовалось влияние этих факторов на физико-механические характеристики бетона: плотность; кубиковая прочность на сжатие; призмная прочность на сжатие; прочность на растяжение при изгибе; прочность на осевое растяжение. Приведен анализ результатов экспериментальных исследований и получены следующие физико-механические характеристики виброцентрифугированных бетонов, изготовленных с использованием хомутов: лучшие – с высотой технологических выступов 5 мм и шагом между ними 30 мм, самый низкий показатель – соответственно 2,5 мм при любом шаге.

Ключевые слова: виброцентрифугированный бетон, физико-механические характеристики, прочность при сжатии, плотность, бетонная смесь, центрифугирование, прочность при изгибе

Введение

Одним из наиболее распространенных способов изготовления изделий кольцевого сечения является центрифугирование. Смысл центробежного формования и уплотнения бетонной смеси заключен во вращении формы вокруг неподвижной оси с заданной скоростью. При центробежном формовании внутри формы возникает прессующее давление, оно оказывает воздействие на компоненты бетонной смеси, вследствие чего происходит вытеснение слабосвязанной воды со взвешенными в ней высокодисперсными фракциями [1–4, 6, 10, 11].

© Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П., Ткач П.С., Бондаренко Е.С., Джамалдинов С.А., 2021
Статья: поступила: 25.11.2020; рецензия: 01.02.2021; принята: 10.02.2021; финансирование: Донской государственный технический университет.

Жидкая фаза не может одновременно отжиматься из всей толщины стенки изделия. Это объясняется неравномерным распределением прессующего центробежного давления по толщине стенки изделия кольцевого сечения, а именно максимальное значение прессующего давления будет на наружной, а минимальное – на внутренней поверхности изделия. И.Н. Ахвердов принимает закон распределения прессующего давления по толщине стенки формируемого изделия как для гидростатического давления по закону треугольника: отжимаемая в процессе центрифугирования жидкость из наружных слоев изделия перемещается к внутренним слоям по радиально направленным фильтрационным каналам конусообразного сечения [1].

Один из главных недостатков центробежного способа формования заключается в сепарации жидкой фазы и неравномерном распределении компонентов бетонной смеси по толщине стенки формируемого изделия [13–16, 18, 19]. Неравномерное распределение составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения приводит к тому, что бетон у наружной поверхности стенки обладает более высокой прочностью, нежели бетон у внутренней ее поверхности. Это явление называется вариатропностью, т.е. разные слои бетона одного изделия обладают различающимися физико-механическими характеристиками [1–3, 10].

Проблемы способа центрифугирования были частично решены в работах С.Н. Леоновича с помощью применения модифицирования центрифугируемой бетонной смеси добавкой суперпластификатора [5].

В настоящей работе для повышения плотности и обеспечения более равномерного распределения составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения мы предлагаем центрифугирование совместить с вибрированием и назвать данный режим виброцентрифугированием. Вибрирование будет обеспечено за счет использования хомутов, которые надеваются на валы установки. Также виброцентрифугирование позволяет уменьшить водосодержащие до значений $V/C = 0,24$ и снизить расход цемента на 25–30% по сравнению центрифугированием.

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

Материалы и методы

В рамках проводимого исследования рассмотрено влияние технологических параметров вибрирования: высота технологических выступов хомутов (амплитуда), шаг между их технологическими выступами (частота) на физико-механические характеристики бетона: плотность, кубиковая прочность на сжатие, призменная прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, прочность на осевое растяжение.

Для создания виброцентрифугированных изделий с вариатропной структурой была применена опытная установка – лабораторная центрифуга с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания [7–9, 12, 17]. Таким образом, при помощи варьирования частоты вращения вала электродвигателя обеспечивалось достаточно плавное переключение скорости. Вибрации формы создавались с помощью надетых на валы установки хомутов (по два хомута на каждый вал) с технологическими выступами различной высоты и шага между ними.

Для технологических выступов хомутов приняты: длина – 15 мм, форма – прямоугольная, режим вибрирования – попеременный. Длина и форма здесь являются вертикальными характеристиками вибрирования и отвечают за резкость или плавность процесса виброцентрифугирования. Попеременный режим вибрирования обеспечивается за счет того, что с одной стороны валов хомуты перемещаются во время процесса формования, а на противоположной стороне они зафиксированы и неподвижны.

Всего изготовлено 9 виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения, базовый размер каждого: внешний диаметр $D = 450$ мм; внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм; общая высота $H = 1200$ мм.

Все образцы изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на 1 м³ составил: Ц = 416 кг, ШЦ = 1203 кг, П = 696 кг, В = 181 л.

Из общего кольцевого сечения одного базового образца выделены 3 условных квадранта, из которых выпилены следующие образцы:

- 4 куба 150x150x150 мм – для испытаний на осевое сжатие;
- 2 призмы 150x150x600 мм – на осевое сжатие;
- 1 призма 150x150x600 мм – на растяжение при изгибе;
- две призмы 150x150x600 мм – на осевое растяжение.

Эксперименты (по ГОСТ 10180) проводились на следующем оборудовании: на осевое сжатие (призмы и кубы) – на испытательном прессе ИПС-10; на осевое растяжение (призмы) – на специальной установке – универсальной разрывной машине Р-10 [15–19].

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований влияния технологических факторов на физико-механические характеристики виброцентрифугированного бетона приведены в таблице и на рисунках 1–5.

Результаты экспериментальных исследований влияния высоты технологических выступов хомутов и шага между ними на физико-механические характеристики виброцентрифугированного бетона

Характеристики бетона	Высота технологических выступов хомутов, мм								
	2,5			5			10		
	Шаг между технологическими выступами хомутов, мм								
	15	30	45	15	30	45	15	30	45
Плотность, кг/м ³	2312	2328	2333	2381	2391	2380	2360	2365	2376
Сжатие									
Прочность, МПа:									
а) кубиковая	48,8	49,9	50,2	54,7	55,2	54,7	52,5	52,9	54,4
б) призмная	40,4	41,1	41,6	43,8	44,3	43,8	41,3	41,7	43,9
Растяжение									
Прочность, МПа:									
а) при изгибе	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6
б) осевое	4,1	4,1	4,2	4,4	4,4	4,4	4,2	4,2	4,3

Анализ результатов экспериментальных исследований влияния технологических факторов на плотность виброцентрифугированного бетона показал: его плотность достигает максимальных значений при использовании хомутов с высотой технологических выступов 5 мм и шагом между ними 30 мм.

Также наблюдается, что при аналогичных параметрах выступов кубиковая и призмная прочности при сжатии и прочность на растяжение при изгибе имеют наивысшие показатели. Прочность на осевое растяжение достигает максимальных значений при использовании выступов высотой 5 мм независимо от шага между ними.

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 2,5 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 и плотности виброцентрифугированного бетона наблюдаются при высоте выступов 2,5 мм.

При шаге 30 мм между технологическими выступами хомутов и высоте 2,5 и 5 мм прочностные характеристики виброцентрифугированного бетона и его плотность имеют наибольшие показатели в сравнении с теми же значениями, полученными при применении выступов с шагом 15 мм и 45 мм.

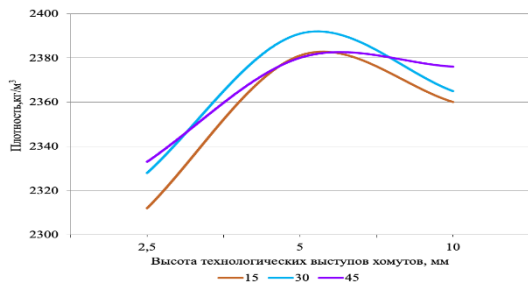


Рис. 1. Зависимость плотности виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и шага между ними

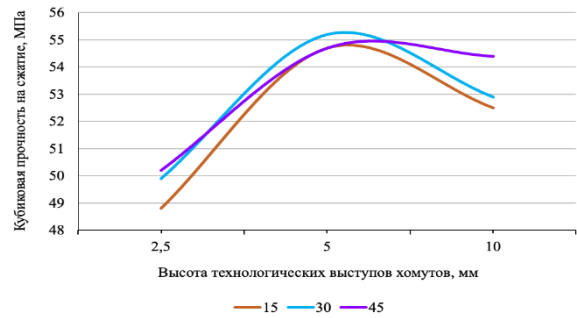


Рис. 2. Зависимость кубиковой прочности на сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и шага между ними

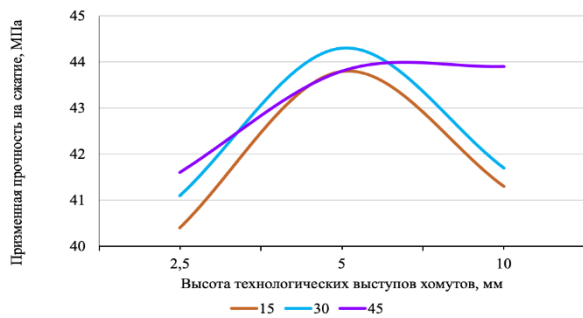


Рис. 3. Зависимость применной прочности на осевое сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и шага между ними

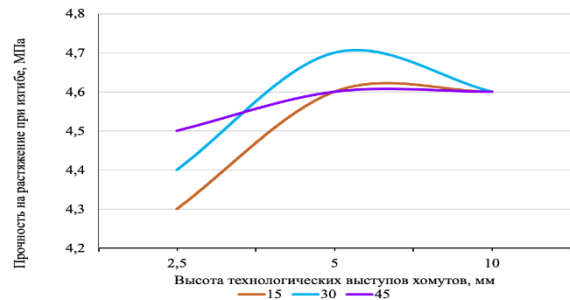


Рис. 4. Зависимость прочности на растяжение при изгибе виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и шага между технологическими выступами

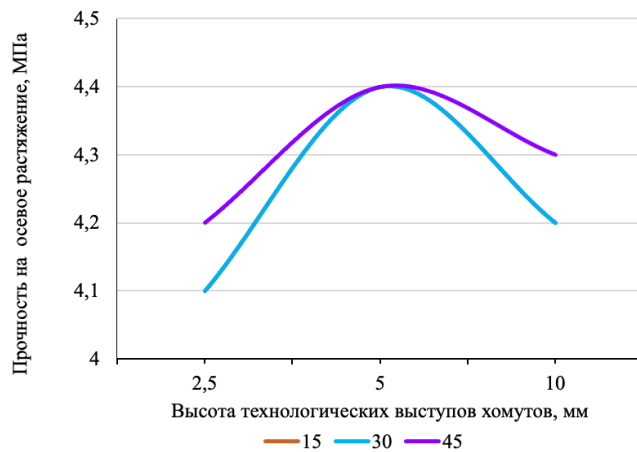


Рис. 5. Зависимость прочности на осевое растяжение виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и шага между ними

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 10 мм максимальные значения прочностных характеристик виброцентрифугированного бетона и его плотность были зафиксированы при шаге 45 мм.

Выводы

Итак, полученные результаты позволяют нам сделать следующие выводы. Наиболее высокие значения физико-механических характеристик – у виброцентрифугированных бетонов, изготовленных с использованием хомутов, высота технологических выступов которых равна 5 мм, а шаг между ними – 30 мм, наименьшие – высота 2,5 мм при любом шаге между ними.

Полученные в данном исследовании результаты подтверждают целесообразность внедрения установленных рациональных технологических параметров виброцентрифугирования в практику производства для улучшения свойств бетона. Усовершенствованные виброцентрифугированные изделия позволят наиболее полно использовать резервы несущей способности строительных конструкций.

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

Заявленный вклад авторов: С.А. Стельмах – окончательная версия статьи перед ее подачей на публикацию; Е.М. Щербань – написание статьи; М.П. Нажуев – изготовление образцов, проведение экспериментов, анализ результатов; П.С. Ткач – обработка данных эксперимента, построение графиков и таблицы для статьи; Е.С. Бондаренко – сбор, анализ и интерпретация материала для статьи; С.А. Джамалдинов – редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Технологии бетонов. 2005. № 1. С. 6–8.
3. Дубинина В.Г. Разработка оптимальных параметров центрифугирования железобетонных безнапорных труб: дис. ... канд. техн. наук. Нижний Тагил, 2002. 150 с.
4. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Смирнов В.А. Строительные материалы вариативно-каркасной структуры: монография / Министерство образования и науки Российской Федерации. М.: Московский гос. строительный ун-т, 2011. 316 с.
5. Леонович С.Н., Зайцев Ю.В., Доркин В.В., Литвиновский Д.А. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и влажностных воздействиях. М.: ИНФРА-М, 2018. 258 с.
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. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1760> (дата обращения: 02.11.2020).
7. 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. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archi-ve/n3y2018/5123> (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, № 1(18). С. 247–252.
9. 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. URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> (дата обращения: 02.11.2020).
10. Овсянкин В.И. Железобетонные трубы для напорных водоводов. М.: Стройиздат, 1971. 320 с.
11. 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/ru/magazine/archive/N4y2014/2734> (дата обращения: 02.11.2020).
12. 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/ru/magazine/archive/n1y2019/5525> (дата обращения: 02.11.2020).
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(103):233–241.
14. 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. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>
 15. Geiker M.R., Michel A., Stang H., Lepech M.D. Limit states for sustainable reinforced concrete structures, *Cement and Concrete Research*, 2019(122):189–195.
 16. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019(124):105811. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105811>.
 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 j. of Building Construction and Architecture*. 2020(1):6–14. DOI 10.25987/-VSTU.2020.45.1.001
 18. Tasevski D., Ruiz M.F., Muttoni A. Compressive strength and deformation capacity of concrete under sustained loading and low stress rates. *J. of Advanced Concrete Technology*. 2018(16):396–415.
 19. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams. *J. of Concrete Research*. 2019(71):184–194.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 1/46

Building Materials and Productswww.dvfu.ru/en/vestnikisDOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2021-1-12>

Stel'makh S., Shcherban' E., Nazhnev M., Tkach P., Bondarenko E., Dzhamaaldinov S.

SERGEI STEL'MAKH, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-5504>, sergej.stelmax@mail.ru

EVGENII SHCHERBAN', Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

(Corresponding Author), ResercherID: AAG-6070-2020,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5376-247X>, ScopusID: 57197730793, au-geen@mail.ruMUKHUMA NAZHUEV, Assistant, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1614-4677>,nazhnev17@mail.ruPAVEL TKACH, MS-Student, paveltkach98@mail.ruEVGENII BONDARENKO, MS-Student, bondar.es@gmail.comSAIKHAN DZHAMAALDINOV, MS-Student, s.djamaldinov@mail.ru*Don State Technical University*

Rostov-on-Don, Russia

Control of the physical and mechanical characteristics of concrete by varying the height and pitch of technological protrusions of the clamps of vibrocentrifuging devices

Abstract: To regulate the variotropic structure of centrifuged products, the authors of this article combined the process of centrifugation with vibration. During the experiment, vibrations of the mold were provided with clamps set on the shafts of the installation. The author's experimental setup for creating vibrocentrifuged samples of annular cross-section with a variotropic structure, as well as a method for their manufacture is presented. The technological parameters of vibration, which had the most significant effect on the characteristics of vibrocentrifuged concrete, structures and products made of it, were identified. In the experiments, the height of the technological protrusions of the clamps and the pitch between them were varied. The influence of these factors on the physical and mechanical characteristics of concrete was investigated: density; cube compressive strength; prismatic compressive strength; bending tensile strength; axial tensile strength. Analysis of the results of experimental studies is given and the following physical and mechanical characteristics of vibrocentrifuged concretes made using clamps have been obtained: the best ones with a height of technological protrusions of 5 mm and a step between them of 30 mm, the lowest indicator is, respectively, 2.5 mm at any step.

Keywords: vibrocentrifuged concrete, physical and mechanical characteristics, compressive strength, density, concrete mix, centrifugation, flexural strength

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. Bazhenov Yu.M. Modern concrete Technology. Concrete Technologies. 2005(1):6–8.
3. 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.
4. Korolev E.V., Bazhenov Yu.M., Smirnov V.A. Construction materials of a variatropic-frame structure: monograph. M., Moscow State Univ. of Civil Engineering, 2011, 316 p.
5. Leonovich S.N., Zaitsev Yu.V., Dorkin V.V., Litvinovsky D.A. Strength, crack resistance and durability of structural concrete under temperature and humidity influences. M., INFRA-M, 2018, 258 p.
6. 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.
7. 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 of annular cross-section at the stage of compaction. Engineering Bulletin of the Don. 2018(3). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y-2018/5123> – 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. 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. Bulletin of Eurasian Science. 2018(3). URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> – 02.11.2020.
10. Ovsyankin V.I. Reinforced concrete pipes for pressure water lines. M., Stroyizdat, 1971, 320 p.
11. 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.
12. 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.
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(103):233–241.
14. 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. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>
15. Geiker M.R., Michel A., Stang H., Lepech M.D. Limit states for sustainable reinforced concrete structures, Cement and Concrete Research, 2019(122):189–195.
16. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes. Cement and Concrete Research. 2019(124):105811. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105811>.
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 j. of Building Construction and Architecture. 2020(1):6–14. DOI 10.25987/-VSTU.2020.45.1.001
18. Tasevski D., Ruiz M.F., Muttoni A. Compressive strength and deformation capacity of concrete under sustained loading and low stress rates. J. of Advanced Concrete Technology. 2018(16):396–415.
19. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams. J. of Concrete Research. 2019(71):184–194.