

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №4, Том 10 / 2018, No 4, Vol 10 <https://esj.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf>

Статья поступила в редакцию 20.06.2018; опубликована 08.08.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2018 №4, <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Nazhueva M.P. (2018). Recommendations on accounting variatropy the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(10). Available at: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Маилян Левон Рафаэлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Профессор кафедры «Строительства уникальных зданий и сооружений»
Доктор технических наук
E-mail: mailyan@sroufo.ru

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Холодняк Михаил Геннадиевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Инженер
E-mail: xolodniak@yandex.ru

Халюшев Александр Каюмович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: khaljushev@mail.ru

Щербань Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
Кандидат технических наук
E-mail: au-geen@mail.ru

Нажуев Мухума Пахрудинович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: nazhueva17@mail.ru

Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона

Аннотация. В статье даны рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона. Рассмотрено явление вариатропии структуры кольцевого сечения таких конструкций. Отмечено, что вариатропия плотности бетона выражается не только неоднородностью структуры цементного камня, но и характером распределения зерен заполнителя по толщине стенки изделия, так как центробежная сила пропорциональна массе вращающегося твердого тела. Показано, что центрифугированный бетон отличается от вибрированного неоднородным распределением зерен заполнителя по высоте изделия. В соответствии с этим изменяется и распределение цементного теста по сечению стенки изделия. Такая неоднородность может снижать прочность центрифугированного бетона по сравнению с той, какая должна быть при равномерном распределении зерен заполнителя по всему сечению элемента. Для ответа на этот вопрос проведены исследования вариатропности структуры центрифугированного бетона на плотном заполнителе разной фракции методом ультразвукового поверхностного прозвучивания. Для формования образцов центрифугированных конструкций применена лабораторная установка – центрифуга ЦСРЛ-1, оборудованная электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания, что обеспечивает плавное переключение скорости путем изменения частоты вращения вала электродвигателя. Поверхностное прозвучивание образцов центрифугированного бетона осуществлено с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2.2», предназначенного для оценки свойств и дефектоскопии строительных материалов по времени и скорости распространения, и форме принимаемых ультразвуковых импульсов. По результатам поверхностного прозвучивания образцов центрифугированных конструкций сделаны следующие выводы.

При исследовании в составе бетона разных фракций щебня наиболее плотный и прочный каркас заполнителя получается на фракции 5-10 мм. Это объясняется более однородной структурой бетонной смеси, зерна в которой распределены более равномерно и хорошо связаны между собой. Подтверждается это и разницей в прочности между внешним и внутренним слоем, составляющей для фракции 5-10 мм 8,2 %, а для фракции 10-20 мм – до 15 %.

Ключевые слова: вариатропия; структура; расчет строительных конструкций; проектирование строительных конструкций; изготовление строительных конструкций; центрифугированные конструкции; тяжелый бетон; центрифуга; кольцевое сечение; ультразвуковой контроль прочности бетона

Вариатропия плотности бетона выражается не только неоднородностью структуры цементного камня, но и характером расположения зерен заполнителя по сечению изделия или конструкции, так как центробежная сила пропорциональна массе вращающегося твердого тела [1-3].

Так, если $r_{к.з.}$ – радиус зерен крупного заполнителя, м (таблица 1), а $\rho_з$ – истинная плотность заполнителя, кг/м³, то центробежная сила может быть выражена зависимостью:

$$F_{ц.с.} = \frac{4}{3 \times g} \pi \cdot r_{к.з.}^3 \times \rho_{к.з.} \cdot l \cdot \omega^2 \quad (1)$$

где: l – расстояние от центра вращения до центра зерна, м.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (2)$$

где: ω – угловая скорость вращения при $n_{\text{упл}} = 2179$ об/мин для \varnothing образца 165 мм, рад/с.

Таблица 1

Радиус зерен крупного заполнителя

| Радиус зерен крупного заполнителя, мм | Расстояние от центра вращения до центра зерна, м | Центробежная сила действующая на зерно крупного заполнителя, Н |
|---------------------------------------|--|--|
| 2,5 | 0,08 | 0,075 |
| 5,0 | 0,0775 | 0,58 |
| 10,0 | 0,0725 | 4,35 |
| 15,0 | 0,0675 | 13,7 |
| 20,0 | 0,0625 | 30,0 |

Составлено авторами

Из выражения (1) очевидно, что действие центробежной силы тем значительнее, чем больше радиус и удельный вес зерна (рисунок 1).

В связи с этим зерна более крупных размеров становятся прижатыми к внешней поверхности изделия или конструкции, а более мелкие распределяются более близко к внутренней поверхности изделия (рисунок 2).

По этой причине центрифугированный бетон отличается от полученного вибрированием тем, что неоднородно распределены зерна заполнителя по высоте изделия. При надлежаще подобранном составе такого бетона на поверхности стенки внутри элемента располагается слой шлама, имеющего толщину от 0,5 до 2,0 мм, затем следует цементный камень, потом – мелкозернистый бетон с обычной текстурой. Изменяется, в соответствии с этим, также распределение цементного теста по сечению изделия или конструкции. Эта неоднородность [4-9] может снижать прочностные свойства центрифугированных бетонов в сравнении с теми, какие должны были бы быть, если бы зерна заполнителя распределялись равномерно.

Для ответа на этот вопрос нами были проведены исследования вариатропности структуры центрифугированного бетона на плотном заполнителе разной фракции методом ультразвукового поверхностного прозвучивания.

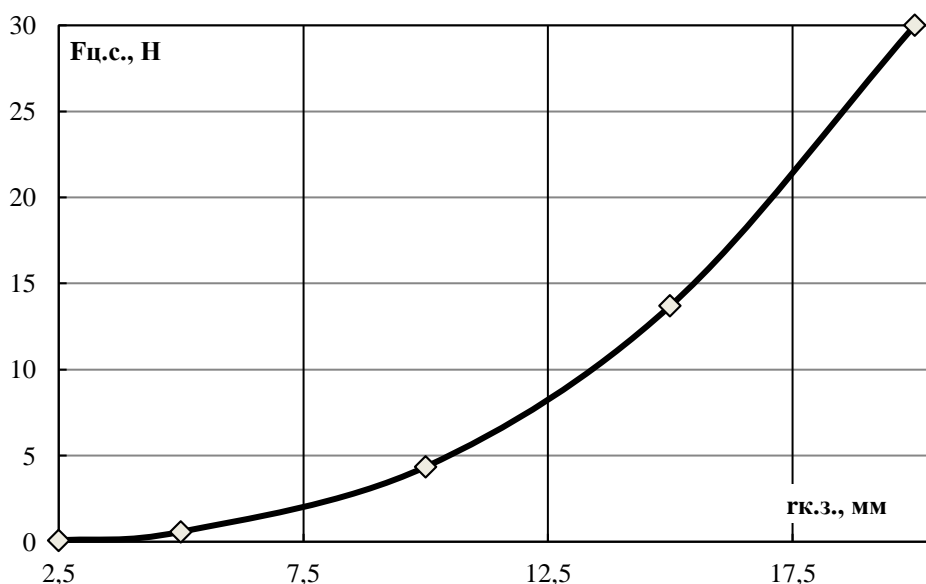


Рисунок 1. Изменение центробежной силы ($F_{ц.с.}$) в зависимости от радиуса крупного заполнителя ($r_{к.з.}$) (составлено авторами)

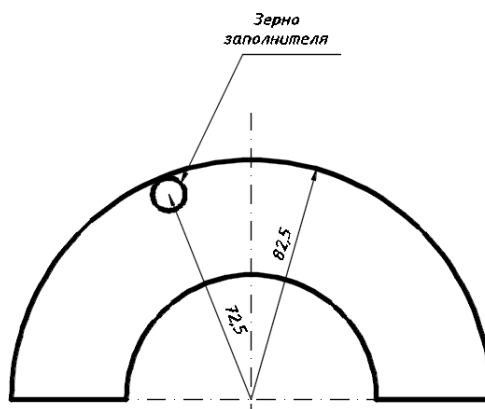


Рисунок 2. Схема определения расстояния от центра вращения до центра зерна ($d = 20$) при наружном диаметре центрифугированного изделия $D = 165$ мм (составлено авторами)

Составы бетонной смеси представленные в таблице 2 для центрифугированных изделий, были рассчитаны по методике, предложенной в работе [6].

Для формирования образцов центрифугированных конструкций применяли лабораторную установку – центрифугу ЦСРЛ-1, оборудованную электродвигателем на постоянном токе, имеющим тиристорные блоки питания, что предусматривает возможность плавного переключения скоростей изменением частоты вращения вала такого электродвигателя. На рисунке 3 приведена принципиальная схема описанной экспериментально-лабораторной центрифуги ЦСРЛ-1 с прилагающейся формой.

Таблица 2

Составы бетонной смеси для центрифугированных изделий

| № Состав | Фракция крупного заполнителя, мм | Расход материалов на 1 м ³ | | | | Осадка конуса, см | Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³ |
|----------|----------------------------------|---------------------------------------|-------|--------|------|-------------------|---|
| | | Щебень | Песок | Цемент | Вода | | |
| 1 | Смесь 5,0-20,0 | 1203 | 696 | 416 | 181 | 3,8 | 2496 |
| 2 | 10,0-20,0 | 1173 | 717 | 426 | 185 | 4,0 | 2501 |
| 3 | 5,0-10,0 | 1274 | 658 | 398 | 175 | 3,5 | 2505 |
| 4 | 2,5-5,0 (отсев дробления) | 1332 | 615 | 371 | 165 | 3,1 | 2483 |

Составлено авторами

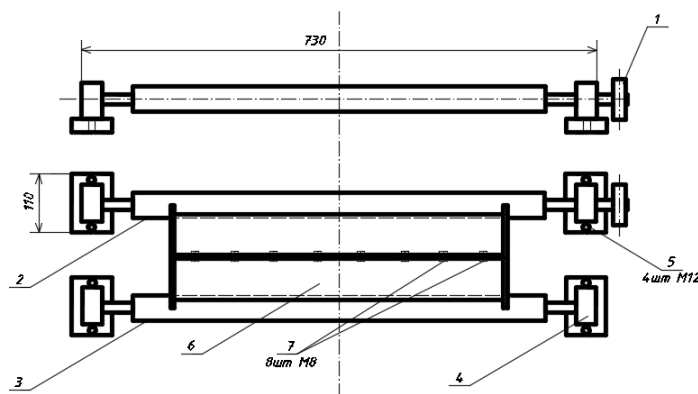


Рисунок 3. Принципиальная схема экспериментально-лабораторной центрифуги «ЦСРЛ-1», с формой: 1 – шкив привода центрифуги; 2 – ведущий опорный каток; 3 – ведомый опорный каток; 4 – упор вала опорной муфты с шарикоподшипником; 5 – крепеж упора к станине (с помощью болта M12); 6 – форма; 7 – соединение половинок формы (с помощью болта M12) (составлено авторами)

В процессе уплотнения скорость вращения формы регулируют изменением в широких диапазонах путем повышения количества оборотов от 825 об/мин до 4400 об/мин в зависимости от вязкости смеси и величины прессующего давления.

Создавая различное давление прессования на лабораторной установке нами была установлена оптимальная его величина $1,45 \text{ кг/см}^2$ [10-18].

Усовершенствованная нами методика поверхностного прозвучивания состояла в следующем: из цилиндрического элемента трубчатого сечения (рисунок 3) выделялся некоторый объем $ABCD$ с толщиной стенки h_c и определялся разброс средней плотности его бетонной смеси по толщине и длине изделия. При этом, согласно литературным данным, толщину стенки принимали 1/10 от диаметра трубы, то есть для нашей формы с внутренним диаметром 165 мм толщина стенки изделия была равна 16,5 мм.

Физико-механические свойства отформованных образцов центрифугированных конструкций представлены в таблице 3, а габаритные размеры соответствовали представленным на рисунке 4.

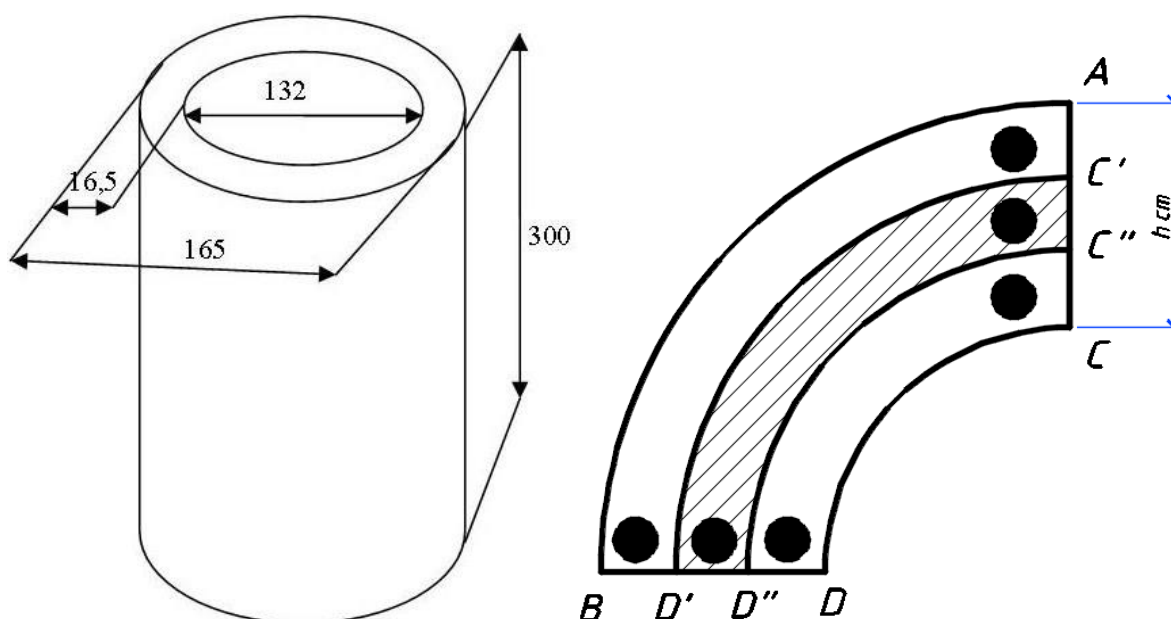


Рисунок 4. Габаритные размеры образца центрифугированной конструкции и схема точек для поверхностного прозвучивания (составлено авторами)

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов центрифугированного бетона

| № Состав | Масса образца, г | Объем образца, см ³ | Средняя плотность образца, кг/м ³ | Расчетный предел прочности при сжатии, МПа | |
|----------|------------------|--------------------------------|--|--|----------------------------|
| | | | | вибрированного бетона | центрифугированного бетона |
| 1 | 5837,3 | 2308,13 | 2528 | 29,1 | 39,8 |
| 2 | 5870,8 | | 2543 | 29,2 | 40,0 |
| 3 | 5903,1 | | 2557 | 30,0 | 41,0 |
| 4 | 5789,5 | | 2508 | 28,1 | 38,4 |

Составлено авторами

Для оценки прочности центрифугированных конструкций обычно принимают коэффициент перехода от вибрированного к центрифугированному бетону:

$$Z = \frac{R_H}{R_0} \quad (3)$$

Согласно экспериментальным и производственным данным для портландцементов различных заводов и оптимальном прессующем давлении Z для однослойного центрифугированного бетона принимается равным 1,37.

Поверхностное прозвучивание образцов центрифугированного бетона осуществляли с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2.2», предназначенного для оценки свойств и дефектоскопии строительных материалов по скорости и времени распространения, а также по форме ультразвуковых импульсов, принимаемых им. Данный прибор способствует выявлению дефектов, определению прочности, плотности и модуля упругости материалов.

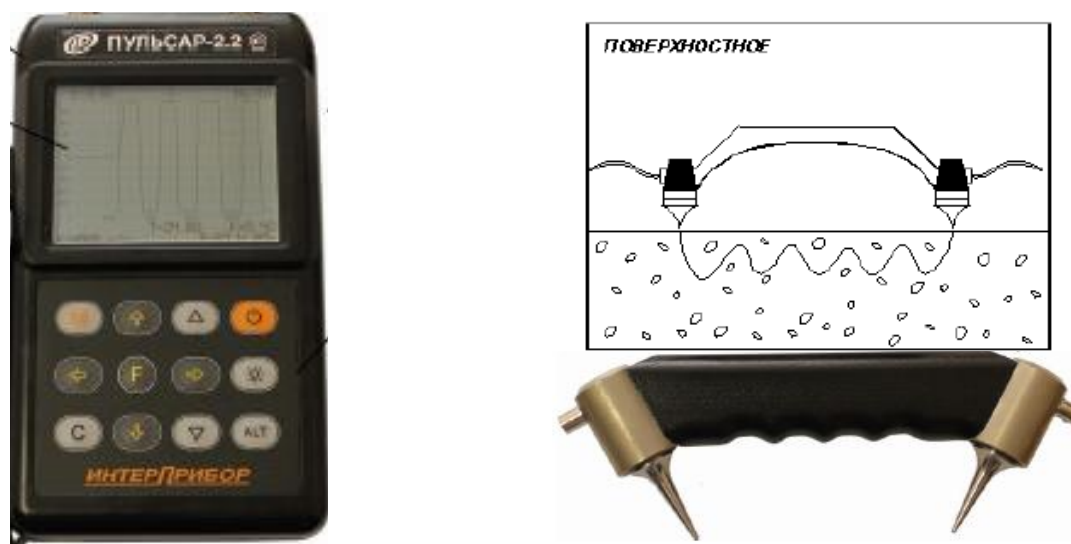


Рисунок 5. Вид прибора и его расположение при поверхностном прозвучивании (составлено авторами)

Таблица 4

Технические характеристики прибора «Пульсар 2.2»

| № | Наименование показателя | Ед. изм. | Показатель |
|---|--|----------|------------|
| 1 | Диапазон измерения скоростей распространения ультразвука | м/с | 1000-10000 |
| 2 | Диапазон измерения времени распространения ультразвука | мкс | 10-100 |
| 3 | База измерений при поверхностном прозвучивании | мм | 120±1 |
| 4 | Потребляемая мощность, не более | Вт | 0,7 |
| 5 | Масса прибора с полной комплектацией, не более | кг | 1,5 |
| 6 | Габаритные размеры (длина×ширина×высота): | мм | |
| | - электронного блока | | 205×115×35 |
| | - датчика поверхностного прозвучивания | | 250×50×100 |
| | - датчика сквозного прозвучивания | | Ø36×62 |

Составлено авторами

Результаты поверхностного прозвучивания представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты поверхностного прозвучивания

| № состава | Показатели поверхностного прозвучивания по слоям | | | Предел прочности при сжатии, МПа | | |
|-----------|--|---------|------------|----------------------------------|---------|------------|
| | внешний | средний | внутренний | внешний | средний | внутренний |
| 1 | 4940 | 4891 | 4741 | 44,2 | 39,4 | 42,9 |
| 2 | 5110 | 4921 | 4632 | 44,4 | 37,8 | 43,2 |
| 3 | 5120 | 4938 | 4852 | 45,2 | 41,5 | 44,1 |
| 4 | 4890 | 4861 | 4684 | 43,0 | 38,3 | 42,1 |

Составлено авторами

Плотность образца центрифугированной конструкции изменяется следующим образом – чем ближе к наружной поверхности, тем более плотность бетона, а также его прочностные характеристики, как показано на рисунке 6.

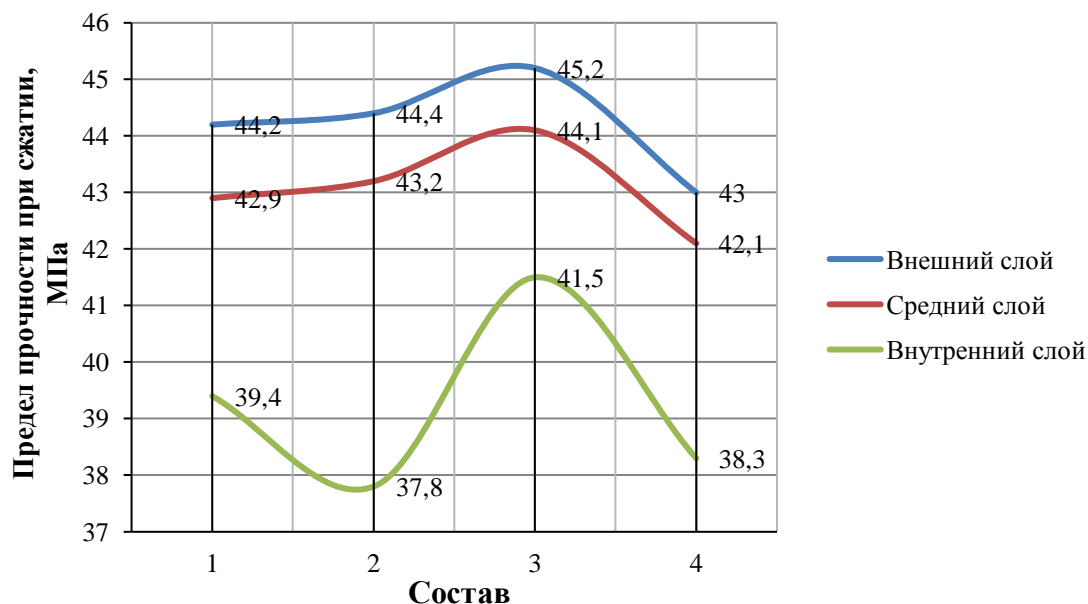


Рисунок 6. График распределения прочности бетона в центрифугированной конструкции в зависимости от слоя (составлено авторами)

По результатам поверхностного прозвучивания образцов центрифугированных конструкций сделаем следующие выводы.

При исследовании в составе бетона разных фракций щебня наиболее плотный и прочный каркас заполнителя получается на фракции от 5 до 10 мм.

Это объясняется более однородной структурой бетонной смеси, зерна в которой распределены более равномерно и хорошо связаны между собой.

Подтверждается это и разницей в прочности между внешним и внутренним слоем, составляющей для фракции от 5 до 10 мм – 8,2 %, а для фракции от 10 до 20 мм – до 15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси. – Республиканское научно-техническое совещание: Технология формования железобетонных изделий, 1979. С. 3-12.
2. Ахвердов И.Н. Высокопрочный бетон. М., Госстройиздат, 1961.
3. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М., 1967, Стройиздат. 165 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
5. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор состава центрифугированного бетона на тяжелых заполнителях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №10. – С. 52-57. – № 127 в перечне рецензируемых научных изданий от 20.10.2017 г.
6. Овсянкин В.И. Железобетонные трубы для напорных водоводов (3-е издание). – М.: Стройиздат, 1971 г.

7. Петров В.П. Технология и свойства центрифугированного бетона с комбинированным заполнителем для стоек опор контактной сети: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. 175 с.
8. Руководство по проектированию, изготовлению и применению железобетонных центрифугированных конструкций кольцевого сечения (НИИЖБ). – М., 1979. С. 47-50, 64-71.
9. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длиномерных центрифугированных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
10. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Сердюков К.В., Пестриков М.М., Яновская А.В. Влияние некоторых характеристик применяемого крупного заполнителя на свойства тяжелого бетона, предназначенного для изготовления центрифугированных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017, № 10. С. 15-20.
11. Anatoliy Shuisky, Sergey Stelmakh, Evgeniy Shcherban and Elena Torlina. MATEC Web of Conferences. ICMTMTE. – 2017. – Vol. 129. URL: www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_05011.pdf.
12. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Халюшев А.К. Влияние технологии производства на структурообразование и свойства бетона виброцентрифугированных колонн // Строительство и архитектура (2017), Том 5, Выпуск 4 (17). С. 224-228. Режим доступа: <https://rguts.editorum.ru/ru/nauka/article/18651/view>.
13. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение характера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // Строительство и архитектура (2017), Том 5, Выпуск 4 (17). С. 229-233. Режим доступа: <https://riorpub.com/ru/nauka/article/18640/view>.
14. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Стельмах С.А. Изучение опыта регулирования свойств строительных изделий и конструкций путем направленного формирования их вариатропной структуры // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313.
15. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Совершенствование режимов формования центрифугированных бетонных изделий кольцеобразного сечения // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4832.
16. Несветаев Г.В., Нажуев М.П., Ву Ле Куен Изучение изменения состава бетонной смеси и кинетики прочности бетона при центрифугировании на примере опыта производства опор ЛЭП на предприятиях Социалистической Республики Вьетнам // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4861.
17. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // «Наукovedение» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf>.
18. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Исследование различных типов центрифуг и режимов уплотнения бетонных смесей для изготовления образцов кольцевого сечения // Вестник СевКавГТИ, 2017, Вып. №3 (30). С. 134-137.

Mailyan Levon Rafaelovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: mailyan@sroufo.ru

Stel'makh Sergey Anatol'evich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Kholodnyak Mikhail Gennadievich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: xolodniak@yandex.ru

Khalyushev Aleksandr Kayumovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: khaljushev@mail.ru

Shcherban' Evgeniy Mikhaylovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: au-geen@mail.ru

Nazhuev Mukhuma Pakhrudinovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: nazhuev17@mail.ru

Recommendations on accounting variatropy the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete

Abstract. The article gives recommendations on accounting for variatropy in the calculation, design and manufacture of centrifuged structures from heavy concrete. The phenomenon of the variatropy in the structure of the annular cross section of such structures is considered. It is noted that the variatropy of the density of concrete is expressed not only by the heterogeneity of the structure of the cement stone, but also by the nature of the distribution of the filler grains along the thickness of the product wall, since the centrifugal force is proportional to the mass of the rotating solid body. It is shown that the centrifuged concrete differs from the aggregate height vibrated by the heterogeneous distribution of filler grains. In accordance with this, the distribution of the cement test along the section of the product wall also changes. Such heterogeneity can reduce the strength of centrifuged concrete in comparison with what should be the case with a uniform distribution of aggregate grains throughout the cross section of the element. To answer this question, we studied the variability of the structure of centrifuged concrete on a dense aggregate of different fractions by ultrasonic surface sounding. For the formation of samples of centrifuged structures, a laboratory unit-centrifuge TsSRL-1 equipped with a DC electric motor with thyristor power supplies was used, which ensures smooth speed switching by changing the rotational speed of the motor shaft. Surface sounding of samples of centrifuged concrete was carried out with the help of a time meter and ultrasound velocity "Pulsar-2.2", designed to assess the properties and flaw detection of building materials by time and speed of propagation, and the shape of the received ultrasonic pulses. Based on the results of surface sounding of samples of centrifuged structures, the following conclusions are made.

When researching concrete in different fractions of crushed stone, the most dense and durable aggregate frame is obtained on a fraction of 5-10 mm. This is due to the more homogeneous structure of the concrete mix, the grain in which are distributed more evenly and are well interconnected. This

is also confirmed by the difference in strength between the outer and inner layers, which is 8.2 % for the fraction 5-10 mm, and for the fraction 10-20 mm – up to 15 %.

Keywords: varyatropy; structure; calculation of building structures; design of building structures; manufacturing of building structures; centrifuged structures; heavy concrete; centrifuge; ring section; ultrasonic testing of concrete strength