

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

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/20SAVN319.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Нажуев М.П., Холодняк М.Г., Курбанов Н.С., Евлахова Е.Ю., Халюшев А.К. Влияние технологических факторов на конструктивные характеристики бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/20SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Nazhueva M.P., Kholodnyak M.G., Kurbanov N.S., Evlakhova E.Yu., Khalyushev A.K. (2019). Influence of technological factors on the design characteristics of concrete prototypes of centrifuged reinforced concrete columns of annular section. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/20SAVN319.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Нажуев Мухума Пахрудинович

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

Холодняк Михаил Геннадиевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Инженер кафедры «Технология вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»
E-mail: xolodnyak@yandex.ru

Курбанов Надир Сейфудинович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент
E-mail: kurbanov_n98@mail.ru

Евлахова Елена Юрьевна

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

Халюшев Александр Каюмович

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

**Влияние технологических факторов
на конструктивные характеристики бетона опытных
образцов центрифугированных железобетонных
колонн кольцевого сечения**

Аннотация. Формирование структуры бетона при центрифугировании по сравнению с другими способами уплотнения имеет свои особенности. К ним относятся: изменение водоцементного отношения в процессе центрифугирования; некоторая сепарация материалов по высоте стенки трубы; существенная зависимость физико-механических показателей от

режима центрифугирования; невозможность изготовления стандартных образцов, отождествляющих укладку смеси в условиях центрифугирования. Физико-механические показатели рассматриваемого бетона являются функцией многих факторов, которые можно разделить на две группы. Одну из них составляют факторы, зависящие от вида и активности цемента, его расхода и других факторов. Ко второй группе факторов относят условия укладки и уплотнения смеси. Наибольшее прессующее давление действует на наружный слой стенки изделия, расположенный на расстоянии R_2 от центра вращения формы. По мере приближения к внутренней поверхности изделия прессующее давление убывает и на расстоянии R_1 от центра вращения формы снижается до минимума. При исследовании в составе бетона разных соотношений фракций щебня наиболее плотный и прочный каркас заполнителя получается при соотношении фракций $5 - 10 / 10 - 20 = 40 / 60$. Это объясняется более однородной структурой бетонной смеси, зерна в которой распределены более равномерно и хорошо связаны между собой. Это подтверждается также снижением разброса в показателях предела прочности при сжатии между внешним и внутренним слоями образцов центрифугированного бетона двухстадийного формования. Полученные результаты физико-механических испытаний центрифугированных бетонов показывают, что при двухстадийном способе формования все конструктивные характеристики оказались выше в сравнении с одностадийным способом формования. Другим преимуществом двухстадийного способа формования является уменьшение различия в физико-механических свойствах внешнего и внутреннего слоев по сравнению с одностадийным способом формования.

Вклад авторов.

Нажуев Мухума Пахрудинович – собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Холодняк Михаил Геннадиевич – автор осуществил написание статьи.

Курбанов Надир Сейфудинович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Евлахова Елена Юрьевна – автор осуществил написание статьи.

Халюшев Александр Каюмович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Ключевые слова: структура бетона; центрифугирование; физико-механические свойства; конструктивные характеристики; прочность бетона; модуль упругости; ультразвуковое прозвучивание

Формирование структуры бетона при центрифугировании по сравнению с другими способами уплотнения имеет свои особенности. К ним относятся: изменение водоцементного отношения (В/Ц) в процессе центрифугирования; некоторая сепарация материалов по высоте стенки трубы; существенная зависимость физико-механических показателей от режима центрифугирования; невозможность изготовления стандартных образцов, отождествляющих укладку смеси в условиях центрифугирования [1–4].

Зависимость прочности бетона на сжатие от В/Ц отношения бетонной смеси устанавливали многие исследователи. По результатам одних прочность бетона не зависит от В/Ц отношения смеси, поскольку в процессе центрифугирования происходит отжатие воды. Данные других исследователей подтверждают влияние В/Ц отношения смеси на прочность бетона. При оценке этого влияния нужно считаться не только с фактом отжатия из смеси того или иного количества воды, но и с порядком ее удаления, то есть с режимом центрифугирования и в первую очередь с величиной силы уплотнения. При одних и тех же условиях повышение силы уплотнения приводит к большему отжатию воды и получению более

плотного и, следовательно, прочного бетона [5–6]. Из результатов их экспериментов можно сделать общий вывод о том, что В/Ц отношение влияет на прочность центрифугированного бетона, хотя и в меньшей степени, чем на прочность бетона, уплотненного другими способами.

Влияние гранулометрии заполнителей в бетонной смеси на свойства бетона неоднократно определяли при изготовлении труб в сплошных формах при различных уплотняющих давлениях. Для исследований брали смеси, в которых соотношение между песком и щебнем было равным (в % по весу): 100:0; 70:30; 40:60 и 20:80. Количество цемента во всех смесях составляло 420 кг/м^3 бетона. Консистенция бетонной смеси, определяемая осадкой конуса, для всех смесей была равна 6 см. Количество воды в смеси было различным и равнялось соответственно 225, 210, 190 и 165 л. Проведенными опытами установлено, что для получения труб хорошего качества при использовании мелкозернистых смесей необходимо значительно увеличить (на 30–50 %) период уплотнения. При этом прочность бетона несколько уменьшается по мере роста содержания в смеси песка. В бетонах с большим количеством песка наблюдается тенденция к повышенному сопротивлению фильтрации воды. На заводах обычно применяют смеси, в которых соотношение между количеством песка и щебня находится в пределах 0,5–1, а при производстве труб малых диаметров (до 300–400 мм) долю песка увеличивают [5–6].

Влияние расхода цемента на прочность бетона при одних и тех же начальной подвижности смеси и условиях центрифугирования довольно значительно. При изменении состава бетонной смеси от 1:3 до 1:6 (цемент: заполнители) прочность бетона в трубах диаметром 600 мм (со стенкой толщиной 60 мм), изготовленных по способу осадительного центрифугирования, составляла при составе 1:3 – 100 %; 1:4 – 90 %; 1:5 – 75 %; 1:6 – 65 %. В этой серии опытов гранулометрия заполнителей оставалась в каждой отдельной группе составов неизменной. Замечено, что при увеличении доли крупного заполнителя от 1:3 до 1:4 можно получить одинаковую прочность бетонов. Практически расход цемента при производстве труб назначают в пределах $420\text{--}500 \text{ кг/м}^3$ из условия получения наиболее плотного бетона. Смеси с большим содержанием цемента центрифугируются медленнее. В этом случае необходимо увеличить скорость вращения форм или в крайнем случае продолжительность периода уплотнения.

Величина уплотняющего давления является весьма существенным фактором уплотнения центрифугируемой бетонной смеси. С увеличением этого давления до определенного предела повышается прочность бетона как на сжатие, так и на чистое растяжение и растяжение при изгибе. Особенно влияние величины уплотняющего давления заметно при малых его значениях ($0,4\text{--}0,5 \text{ кгс/см}^2$). Повышение величины уплотняющего давления позволяет сократить период центрифугирования на максимальных скоростях вращения формы. Так, при повышении величины уплотняющего давления в 2–2,5 раза период центрифугирования может уменьшиться в 1,3–1,5 раза [5–6].

Таким образом, физико-механические показатели рассматриваемого бетона являются функцией многих факторов, которые можно разделить на две группы. Одну из них составляют факторы, зависящие от вида и активности цемента, его расхода и других факторов. Ко второй группе факторов относят условия укладки и уплотнения смеси (конструкция форм, порядок загрузки смеси, скорость и продолжительность вращения форм и другое).

Поскольку изготовление контрольных кубиков или восьмерок невозможно в тождественных условиях, в которых происходит уплотнение бетонной смеси в изделии, то по вопросу методики изготовления и испытания контрольных образцов при определении прочности центрифугируемого бетона имеется ряд предложений. По одному из них кубические образцы изготавливают внутри ротора-формы, устанавливая в нее формочку, состоящую из двух колец, разделенных радиальными клиновидными перегородками; по другому при

установке в форму кольцевых разделителей получают цилиндры заданной высоты и одинакового сечения с трубой. Вошло в практику изготовление контрольных образцов в кубиковых формах, которые устанавливаются в ротор-форму. В некоторых случаях кубиковые формы прикрепляют к торцам или наружной поверхности роторов. Иногда контрольные образцы в виде кубиков, цилиндров, арочек выпиливают из тела трубы.

Установка в ротор-форму перегородок или других устройств для получения контрольных образцов затрудняет условия центрифугирования бетонной смеси и свободное перемещение ее по внутренней поверхности формы, что в результате приводит к получению в контрольных образцах качественно другого бетона, чем тот, который составляет тело трубы. Поэтому на прочностные показатели изготовленных таким образом образцов приходится смотреть только как на относительные величины, позволяющие судить о фактической прочности центрифугированного бетона.

Значительно достовернее определяют прочность бетона трубы при испытании цилиндров, изготовленных вместе с трубой. В результате экспериментов, имевших целью определить предельную высоту кольца как эталона образцов для контроля прочности центробежного бетона, установлено, что высота кольца должна составлять не менее половины диаметра трубы. При этой высоте кольца показатели прочности образцов одной и той же серии различались незначительно. В кольцах же высотой менее половины диаметра трубы наблюдалось смятие поверхностей, соприкасающихся с плитами пресса. К недостаткам испытания колец следует отнести большой расход бетона, значительную громоздкость самих образцов, особенно при формовании труб большого диаметра, и необходимость тщательной притирки торцевых поверхностей колец. Из неразрушающих методов контроля прочности бетона можно указать на молоток системы Кашкарова [5].

В производственных условиях наиболее оправдан сопоставительно-сравнительный способ. По этому способу изготавливают контрольные образцы-кубики 10x10x10 см вибрированием бетонной смеси на лабораторной виброплощадке [6; 7].

Бетонную смесь для контрольных кубиков составляют из материалов, которые расходовались на выпуск определенной партии труб. Для половины образцов объем воды затворения назначают, исходя из заранее определенной величины остаточного водоцементного отношения, получающегося в бетоне труб. Другую часть образцов изготавливают с количеством воды, определенным подбором состава смеси. Сравнивая результаты испытания кубиков, изготовленных из смеси с исходным и остаточным В/Ц, получают переходный коэффициент от прочности обычных образцов к прочности центрифугированного бетона [5].

Наибольшее прессующее давление действует на наружный слой стенки изделия, расположенный на расстоянии R_2 от центра вращения формы. По мере приближения к внутренней поверхности изделия прессующее давление убывает, и на расстоянии R_1 от центра вращения формы снижается до минимума. Отсюда следует, что прессующее давление, как и гидростатическое, изменяется по толщине трубчатого изделия по закону треугольника.

При таком распределении прессующего давления по толщине изделия вода не может одновременно отжиматься из всей толщи бетона. Вначале более полно вода отождется из наружных слоев бетона, где действуют наибольшие прессующие давления; по мере приближения к внутренней поверхности элемента будет отжиматься все меньшее количество воды. Из внутреннего слоя элемента, где прессующее давление близко к нулю, вода вовсе не отделится. Таким образом, механизм отжатия воды из бетонной смеси может быть представлен как непрерывный гидродинамический процесс фильтрации воды из одного слоя бетона в другой, продолжающийся до тех пор, пока вся избыточная вода не вытеснится из толщи

изделия и не восстановится новое равновесие между внутренними и внешними силами. В результате этого различные слои будут содержать разное количество воды [8; 9].

В лаборатории ДГТУ была поставлена серия экспериментов, направленная на исследование влияния вида технологии на конструктивные характеристики получаемых бетонных изделий кольцевого сечения.

Составы, технология изготовления и оборудование выбирались в соответствии с [10–12].

Предел прочности центрифугированного бетона определяли на сегментах опытного образца центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения, полученных распиливанием изделия с наружным диаметром 205 мм и толщиной стенки 40 мм.

Результаты испытаний представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Скорость ультразвука в образцах, м/с

№ состава	Способ формования	Поверхностное прозвучивание		Сквозное прозвучивание	b/a
		Внешний слой, а	Внутренний слой, b		
1 (40/60)	двухстадийное	5120	4956	4963	0,968
2 (50/50)		5110	4632	4738	0,906
3 (60/40)		5082	4576	4746	0,900
4 (40/60)	одностадийное	4940	4560	4835	0,923
5 (50/50)		4890	4372	4776	0,894
6 (60/40)		4842	4101	4367	0,847

Составлено авторами



Рисунок 1. Соотношение скоростей прозвучивания внутреннего и внешнего слоев бетона (составлено авторами)

По результатам ультразвукового прозвучивания образцов центрифугированного бетона можно сделать следующие выводы.

При исследовании в составе бетона разных соотношений фракций щебня наиболее плотный и прочный каркас заполнителя получается при соотношении фракций 5 - 10 / 10 - 20 = 40 / 60. Это объясняется более однородной структурой бетонной смеси, зерна в которой распределены более равномерно и хорошо связаны между собой.

Это подтверждается также снижением разброса в показателях предела прочности при сжатии между внешним и внутренним слоями образцов центрифугированного бетона двухстадийного формирования.

По скорости распространения ультразвука в бетоне исследуемой конструкции, динамический модуль упругости бетона (E_d) можно вычислить по формуле:

$$E_d = c \cdot \rho \cdot v^2, \quad (1)$$

где v – скорость распространения колебаний, км/с;

ρ – плотность бетона, кг/м³;

$$c = 0,745.$$

Динамический модуль упругости бетона (E_d) связан со статическими характеристиками модуля упругости (E_0) следующей эмпирической формулой:

$$E_0 = 0,831 \cdot E_d. \quad (2)$$

Начальный модуль упругости E_0 , Гпа, связан с пределом призмочной прочности на сжатие R_{pr} , МПа, зависимостью:

$$E = \frac{0,05 \cdot R_{pr} + 57}{\left(1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}\right)} \quad (3)$$

откуда

$$0,05 \cdot R_{pr}^2 + 57,19 \cdot R_{pr} = 30 \cdot E_0 + 216,6 \quad (4)$$

В таблице 2 представлены расчетные значения R_{pr} .

Таблица 2

Значения конструктивных характеристик бетона опытных образцов центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения

№ состава	Вид прозвучивания	Наименование характеристики					
		Двухстадийного формирования			Одностадийного формирования		
		Динамический модуль упругости E_d , Гпа	Начальный модуль упругости E , Гпа	Прочность бетона $R = R_{pr} / 0,8$, МПа/%	Динамический модуль упругости E_d , Гпа	Начальный модуль упругости E , Гпа	Прочность бетона $R = R_{pr} / 0,8$, МПа/%
1 (40/60)	Внешний слой	29,73	24,7	$\frac{22,3}{138,5^1}$	25,32	21,04	$\frac{16,1}{100^1}$
	Внутренний слой	22,59	18,77	$\frac{12,5}{113,6^2}$	20,91	17,38	$\frac{11,0}{100^2}$
	Сквозное прозвучивание	23,86	19,83	$\frac{14,4}{135,8^3}$	20,62	17,14	$\frac{10,6}{100^3}$

Составлено авторами

Полученные результаты физико-механических испытаний центрифугированных бетонов показывают, что при двухстадийном способе формирования все конструктивные характеристики оказались выше в сравнении с одностадийным способом формирования.

Другим преимуществом двухстадийного способа формования является уменьшение различия в физико-механических свойствах внешнего и внутреннего слоев по сравнению с одностадийным способом формования.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Овсянкин В.И. Железобетонные трубы для напорных водоводов (3-е издание). – М.: Стройиздат, 1971 г. 320 с,
6. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М., 1967, Стройиздат. 165 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Штайерман Ю.Я. Центрифугированный бетон. – Тифлис, 1933. 107 с.
12. Раджан Сувал Свойства центрифугированного бетона и совершенствование проектирования центрифугированных железобетонных стоек опор ЛЭП: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1997. 267 с.

Nazhuev Mukhuma Pakhrudinovich

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

Kholodnyak Mikhail Gennadievich

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

Kurbanov Nadir Seyfudinovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kurbanov_n98@mail.ru

Evlakhova Elena Yur'evna

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

Khalyushev Aleksandr Kayumovich

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

Influence of technological factors on the design characteristics of concrete prototypes of centrifuged reinforced concrete columns of annular section

Abstract. The formation of the concrete structure during centrifugation in comparison with other methods of compaction has its own characteristics. These include: change water / cement ratio during centrifugation; some separation of materials on the height of the pipe wall; significant dependence of physical and mechanical characteristics of the mode of the centrifuge process; the inability to manufacture standard samples that identify the laying of the mixture under centrifugation. The physical and mechanical properties of the concrete in question are a function of many factors that can be divided into two troupes. One of them is the factors that depend on the type and activity of cement, its consumption, etc. The second group of factors include the conditions of laying and compaction of the mixture. The greatest pressing pressure acts on the outer layer of the wall of the product, located at a distance R_2 from the center of rotation of the mold. As you approach the inner surface of the product, the pressing pressure decreases, and at a distance R_1 from the center of rotation of the mold is reduced to a minimum. In the study of different ratios of crushed stone fractions in the composition of concrete, the most dense and durable frame of the filler is obtained at a ratio of fractions $5 - 10 / 10 - 20 = 40 / 60$. This is due to the more homogeneous structure of the concrete mixture, in which the grains are distributed more evenly and are well connected with each other. This is also confirmed by a decrease in the spread in terms of the compressive strength between the outer and inner layers of samples of centrifuged concrete of two-stage molding. The results of physical and mechanical tests of centrifuged concrete show that the two-stage method of forming all the design characteristics were higher in comparison with the one-stage method of molding. Another advantage of the two-stage molding method is to reduce the difference in the physical and mechanical properties of the outer and inner layers compared to the one-stage molding method.

Keywords: concrete structure; centrifugation; physical and mechanical properties; structural characteristics; strength of concrete; modulus of elasticity; ultrasonic sounding