

## **Механические свойства виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем и волокнистой добавкой**

*М.Г. Холодняк, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань,  
М.П. Нажуев, А.В. Яновская, С.А. Осадченко*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Статья посвящена изучению вопроса определения механических свойств виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем и волокнистой добавкой, в качестве которой использовалась базальтовая фибра. Экспериментально получены данные об оптимальных расходах дисперсного волокна. Графически представлена зависимость прочностных свойств бетона с комбинированным заполнителем от количества вводимой волокнистой добавки. Также графически показан рост скорости прохождения ультразвуковой волны в теле бетона при определении призмочной прочности. Выявлено, что наличие в составе бетонной смеси пористых частиц способствует направленному распределению минеральных волокон по сечению бетонного кольца. Это, в свою очередь, приводит к повышению трещиностойкости материала. Сделан вывод о том, что совместное введение в состав бетонной смеси пористых и волокнистых добавок предопределяет получение (при тех же расходах цемента) высокопрочных бетонов с повышенным ресурсом трещиностойкости, о чем свидетельствуют данные по смещению границ микротрещинообразования в сторону их увеличения.

**Ключевые слова:** конструкции и изделия кольцевого сечения, центрифугированный бетон, виброцентрифугирование, механические свойства виброцентрифугированных бетонов, комбинированный заполнитель, волокнистая добавка, базальтовая фибра, призмочная прочность.

В сделанных ранее теоретических [1] и практических [2] выводах ясно, что наибольший эффект наблюдается при направленном формировании структуры виброцентрифугированного бетона, поэтому при изготовлении виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем был принят вариант замены плотного кварцевого песка керамзитовым смеси фракций 0,16...5 мм. При этом в бетонную смесь вводятся волокна небольшой длины (базальтовой фибры) [3], которые адсорбируются на поверхности пористого зерна, и поэтому при центробежном уплотнении бетона пористые частицы обеспечивают равномерное распределение волокон в его объеме, повышая тем самым эффект дисперсного армирования.

В данной статье сделана попытка указать эти особенности и их влияние на структурообразование бетонов вариатропной структуры.

Проверка этого положения была осуществлена при исследовании виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем при различном содержании в них волокон базальтовой фибры.

Основные результаты проведенных испытаний представлены на рис. 1. Эксперименты показали, что нагружение призм до разрушения приводит к различным деформациям в бетоне, зависящим от процесса микротрещинообразования в структуре бетона. По данным экспериментов с введением фибр предел прочности бетона при сжатии возрастает с 52 до 70-72 МПа, что является свидетельством несомненного повышения трещиностойкости.

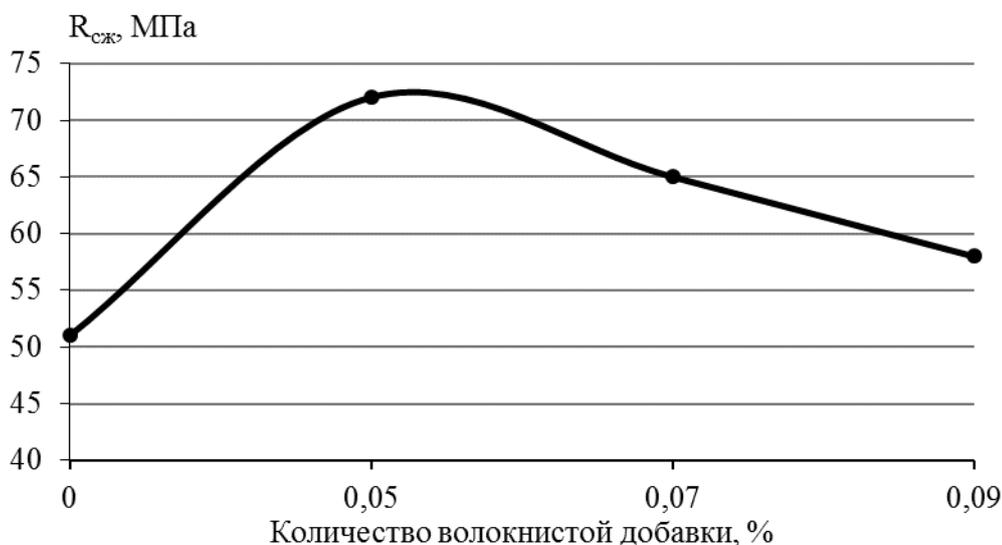


Рис. 1. – Зависимость прочностных свойств бетона с комбинированным заполнителем от количества вводимой волокнистой добавки

Определение прочности виброцентрифугированного бетона проводилось на образцах-призмах до разрушения (рис. 2).

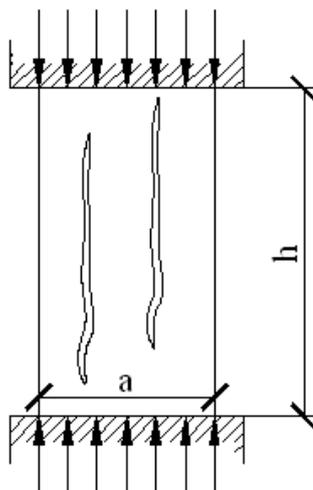


Рис. 2. – Схема испытания образцов-призм виброцентрифугированного бетона

Образцы-призмы размером 6х6х30 см выпиливались из цилиндров диаметром 40 см, при толщине стенки 6 см. Отбор призм осуществлялся в соответствии с ГОСТ 24452-80 и ГОСТ 10180-2012.

Полученные результаты свидетельствуют о росте призмной прочности бетона при введении в его состав пористых и минеральных добавок в оптимальных количествах (рис. 1).

Для цементных бетонов уровень начала интенсивного трещинообразования определялся согласно О.Я. Бергу по формуле (1) [4,5].

$$\frac{R_T^v}{R_{пр}} = 0,351 \lg R_{пр} - 0,175 \quad (1)$$

Результаты определений, представленные в таблице №1, показывают, что введение пористых добавок и добавок в виде волокон базальтовой фибры в оптимальных количествах способствует повышению нижнего и верхнего уровней границ микротрещинообразования. В свою очередь это может явиться предпосылкой для производства изделий, идентичных по своим свойствам изделиям, изготавливаемым из высокопрочного бетона с повышенной трещиностойкостью.

Исходя из полученных данных (рис. 1), подтвердились данные о влиянии вида волокна на изменение прочностных показателей центрифугированного бетона.

Анализируя таблицу №1, авторы отмечают, что при всех равных условиях наибольшими прочностными показателями обладают образцы, содержащие в своем составе 0,05% базальтовой фибры. Следовательно, лучший «армирующий» эффект обеспечивается при использовании в качестве дисперсно-армирующей добавки волокон базальтовой фибры.

Таблица №1

Влияние вводимых добавок на прочностные свойства  
виброцентрифугированного бетона

№ п/п	Состав	Расход вводимых компонентов и механические свойства центрифугированного бетона								
		Цемент	Щебень	Песок	Керам- зитовый песок	Базальтовая фибра	Вода	В/Ц	Рсж, МПа	Верхний уровень $R_F^V/R_{пр}$
1	К-1	420	1220	619	69	-	174	0,24	51	0,422
2	С-2	420	1220	619	69	0,05	174	0,24	72	0,475
3	С-3	420	1220	619	69	0,07	174	0,24	65	0,459
4	С-4	420	1220	619	69	0,09	174	0,24	58	0,442

Кроме определения призмочной прочности виброцентрифугированного бетона каждого образца авторы фиксировали скорость прохождения ультразвуковой волны в теле бетона прибором Пульсар 2.2 (рис. 3). Испытание проходило с помощью прессы ИП-1000. Сжимающая нагрузка прикладывалась ступенчато, измерение скорости прохождения ультразвука проводилось с двух противоположных сторон. Скорость прохождения ультразвука фиксировалась в каждый момент остановки прессы.



Рис. 3. – Лабораторные исследования с применением прибора Пульсар 2.2

При испытании экспериментальных образцов на прессе ИП-1000 были получены следующие результаты, отмеченные в графическом виде на рис. 4.

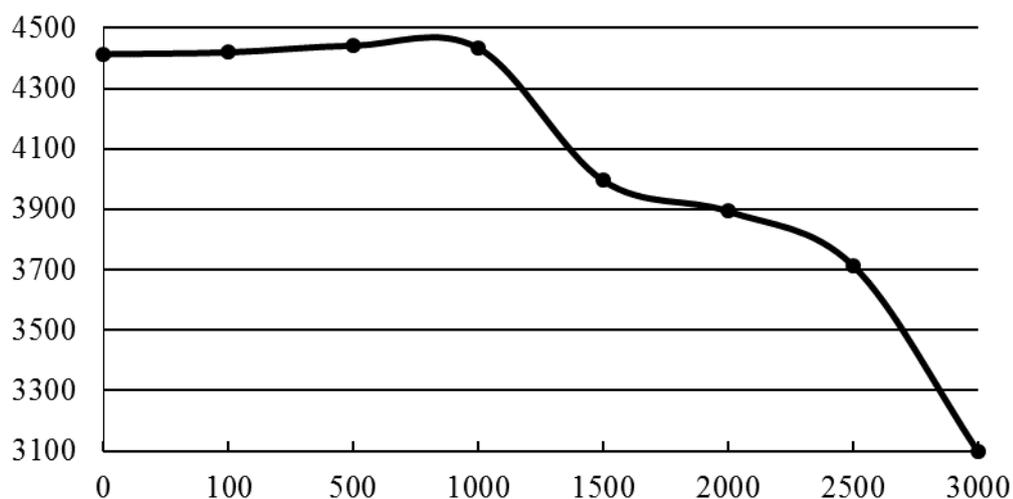


Рис. 4. – Рост скорости прохождения ультразвуковой волны в теле бетона при определении призмочной прочности

График можно разделить на несколько зон. На первом участке кривой скорость распространения ультразвука выше начальной. Это можно объяснить уплотнением и закрытием пор образца. Данная зона при указанных условиях простирается до границы, когда напряжения составляют 0,3 от предела прочности бетона.

На следующем участке скорость распространения изменяется, но незначительно, появляются и развиваются под нагрузкой микротрещины, пока изолированные, местные, в основном на поверхности заполнителя. Эта зона простирается приблизительно до напряжений, составляющих около 0,6 от временного сопротивления.

Следующая зона характеризуется резким снижением скорости распространения ультразвука. Такой зоне соответствует дальнейшее развитие микротрещин в части образца с минимальной прочностью по поверхности крупного заполнителя. Эта зона простирается до напряжений, составляющих около 0,95 от временного сопротивления [6].

Последняя зона является зоной разрушения, в ней происходит быстрое падение скорости распространения. Эта зона опасна для измерений вследствие быстрого развития процесса разрушения. В этой зоне предполагается, что система ранее образовавшихся микротрещин заполнила собой все поперечное сечение.

Характер кривой отвечает представлениям об изменении структуры бетона с ростом нагрузки.

Предложенная физическая модель характеризует особенности распределения компонентов бетонной смеси при центрифугировании в зависимости от их размера и соотношения плотностей заполнителя и цементного теста. Теоретические предпосылки подтверждены экспериментально.

В качестве армирующих компонентов наиболее целесообразно вводить в состав бетонной смеси волокна базальтовой фибры длиной 3...7 мм в количествах 0,05...0,07% от массы цемента.

Пористые добавки, вводимые в состав бетонной смеси, способствуют повышению прочностных показателей бетона. При этом на рост прочности при сжатии наибольшее влияние оказывает пористый компонент.

Оптимальное содержание пористой добавки в бетоне составляет 15...18 % по объему от количества плотного мелкого заполнителя.

Наличие в составе бетонной смеси пористых частиц способствует направленному распределению минеральных волокон по сечению бетонного кольца. Это, в свою очередь, приводит к повышению трещиностойкости материала.

Совместное введение в состав бетонной смеси пористых и волокнистых добавок предопределяет получение (при тех же расходах цемента) высокопрочных бетонов с повышенным ресурсом трещиностойкости, о чем свидетельствуют данные по смещению границ микротрещинообразования в сторону их увеличения.

### Литература

1. 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.
2. 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.
3. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Наукoведение, 2017, Том 9, №4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).
4. Школьник И.Э. Диагностика качества бетона: новые аспекты. М., 1993. 328 с.

5. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1961. 56 с.

6. Мазитова А.А., Костюков С.К. Влияние предварительного обжатия бетона на результаты определения его прочности ультразвуковым методом // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды: сб. статей. Самара, 2014. С. 229-230.

7. 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.

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. Pooya Alaei, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements // Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

10. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

### References

1. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhnev M.P. Construction and Architecture (2017) Vol. 5. Issue 4 (17). pp. 229-233.

2. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K. Construction and Architecture (2017) Vol. 5. Issue 4 (17). pp. 224-228.
3. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Holodnyak M.G., Shcherban' E.M. «Naukovedenie», 2017, Vol. 9, №4. URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).
4. Shkol'nik I.E. Diagnostika kachestva betona: novye aspekty [Diagnostics of the quality of concrete: new aspects]. M., 1993. 328 p.
5. Berg O.Ya. Fizicheskie osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona [The physical basis of the theory of strength of concrete and reinforced concrete]. M.: Gosstroyizdat, 1961. 56 p.
6. Mazitova A.A., Kostyukov S.K. Issledovaniya v oblasti arhitektury, stroitel'stva i ohrany okruzhayushchey sredy: sb. statey (Research in the field of architecture, construction and environmental protection: a collection of articles). Samara, 2014, pp. 229-230.
7. Nazhuev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodniak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Stelmakh S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).
8. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832).
9. Pooya Alae, Bing Li. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.
10. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.