

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

2018, №5, Том 10 / 2018, No 5, Vol 10 <https://esj.today/issue-5-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/51SAVN518.pdf>

Статья поступила в редакцию 15.10.2018; опубликована 04.12.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодник М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки, 2018 №5, <https://esj.today/PDF/51SAVN518.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhueva M.P., Rymova E.M., Liev R.A. (2018). Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concrete. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/51SAVN518.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Щербань Евгений Михайлович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Доцент кафедры «Инженерной геологии, оснований и фундаментов»  
Кандидат технических наук  
E-mail: au-geen@mail.ru

**Стельмах Сергей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Доцент кафедры «Инженерной геологии, оснований и фундаментов»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

**Холодник Михаил Геннадиевич**

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

**Нажуев Мухума Пахрудинович**

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

**Рымова Екатерина Маратовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: rymova999@yandex.ru

**Лиев Руслан Анатольевич**

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

**Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования  
на деформативность виброцентрифугированных бетонов**

**Аннотация.** В статье отмечена актуальность и перспективность в современном строительстве фибрового армирования бетонных конструкций различными видами дисперсных волокон. Определен научный интерес, который представляет фибровое армирование строительных конструкций кольцевого сечения, исследование перспективности комбинированного армирования бетонов фиброй различных сочетаний и комбинированного заполнителя в таких бетонах. Приведены теоретические сведения о диаграмме «напряжения – деформации» бетона, связь между напряжениями и деформациями бетона, основные термины и понятия. Описан ход экспериментальных исследований авторов. Определены модуль упругости, коэффициент Пуассона, предельная сжимаемость на виброцентрифугированных призмах, выпиленных из кольцевых образцов бетона и фибробетона, внешним диаметром 400 мм и внутренним диаметром 150 мм. Образцы изготовлены из различных составов. Даны характеристики заполнителей. По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований построены диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » и исследовано влияние для вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов.

По результатам анализа полученных диаграмм деформирования из проработанных составов были выбраны рациональные составы для дальнейших исследований. Экспериментально подтвердилось, что увеличивается предельная сжимаемость фибробетона в сравнении с бетоном. Модуль упругости фибробетонных образцов увеличился по сравнению с бетонными образцами. Характер разрушения при этом переходит из хрупкого в вязко-пластичный, что оказывает положительное влияние на несущую способность элемента конструкции кольцевого сечения.

**Ключевые слова:** фибробетон; дисперсное армирование; напряжения; деформации; модуль упругости; виброцентрифугирование; коэффициент Пуассона

Фибровое армирование бетонных конструкций различными видами дисперсных волокон является актуальным и перспективным направлением в современном строительстве. Также, научный интерес представляет фибровое армирование строительных конструкций кольцевого сечения, исследование перспективности комбинированного армирования бетонов фиброй различных сочетаний и комбинированного заполнителя в таких бетонах [1-17].

Поскольку бетон не является упругим материалом, диаграмма «напряжения – деформации» бетона криволинейна [18]. Одним из аналитических выражений, которые устанавливают связь между напряжениями и деформациями бетона является формула Саржина

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{k\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_R}\right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_R}\right)}{1 + (k-2)\frac{\epsilon}{\epsilon_R}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – текущее значение напряжения, МПа;

$R$  – предел кратковременной прочности бетона, МПа;

$\epsilon$ ,  $\epsilon_R$  – текущее значение относительной деформации и значение относительной деформации, соответствующие пределу кратковременной прочности  $R$ ;

$k$  – характеризующий «кривизну» диаграммы коэффициент,  $k = 1/\lambda_R$ .

Модуль деформации (секущий) – отношение величины напряжения к величине деформации в любой точке диаграммы:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}. \quad (2)$$

С ростом величины действующего напряжения модуль деформаций уменьшается. В любой точке диаграммы модуль деформаций численно равен тангенсу угла наклона секущей, проходящей через начало координат и эту точку.

Полная деформация бетона в любой точке диаграммы состоит из двух частей упругой и неупругой, то есть:

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{el} + \dot{\epsilon}_{pl}. \quad (3)$$

Коэффициент упругости – отношение упругой деформации к полной в любой точке диаграммы:

$$\lambda_{el} = \frac{\dot{\epsilon}_{el}}{\dot{\epsilon}}. \quad (4)$$

Коэффициент пластичности – отношение упругой деформации к полной в любой точке диаграммы:

$$\lambda_{pl} = \frac{\dot{\epsilon}_{pl}}{\dot{\epsilon}}. \quad (5)$$

В любой точке диаграммы  $\lambda_{el} + \lambda_{pl} = 1$ .

Начальным модулем упругости бетона  $E_0$  (статическим модулем упругости) условно называется модуль деформаций, соответствующий величине действующего напряжения 30 % предела кратковременной прочности:

$$E_0 = \frac{0,3R}{\dot{\epsilon}_{0,3}}. \quad (6)$$

Динамическим модулем упругости бетона  $E_D$  называется величина, устанавливающая связь между скоростью распространения продольных волн  $V$ , коэффициентом Пуассона  $\mu$  и средней плотностью бетона  $\rho$ :

$$V = \sqrt{\frac{E_D}{\rho} \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} = \sqrt{\frac{b \cdot E_D}{\rho}}. \quad (7)$$

В экспериментальных исследованиях авторов модуль упругости, коэффициент Пуассона, предельная сжимаемость изучались на виброцентрифугированных призмах, выпиленных из кольцевых образцов бетона и фибробетона, внешним диаметром 400 мм и внутренним диаметром 150 мм. Образцы изготавливались из различных составов.

Применялся гранит месторождения ОАО «Павловск Неруд» (Воронежская область) и керамзит производства ООО «АКЗ» Алексинский керамзитовый завод (Тульская область).

Характеристики заполнителей, примененных в исследованиях приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1**

**Характеристики гранита**

Наименование материала	Фракция	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная (средняя) плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пустотность, %	Общее водопоглощение
Щебень гранитный	20-2,5	4,2	1460	2700 (2690)	0,457	0,41
	20-10	2,7	1430		0,468	0,40
	10-5,0	5,4	1510		0,438	0,42
	5,0-2,5	9,4	1590		0,408	0,45

Составлено авторами

Таблица 2

Характеристики керамзита

№	Характеристика	Величина
1	Размер фракции	5-10 мм
2	Насыпная плотность	400 кг/м <sup>3</sup>
3	Морозостойкость 20 циклов, потеря массы гравия	1,1 %
4	Процент раздавленных частиц	9 %
5	Теплопроводность	0,0910 Вт/м*К
6	Водопоглощение	260 мл

Составлено авторами

Из полученных элементов кольцевого сечения были выпилены образцы-призмы размером 10x10x100 см, которые в дальнейшем распиливались на стандартные образцы-призмы размером 10x10x40 см и образцы-кубы с размером 10x10x10 см (рисунок 1).

Призмы испытывались по методике, описанной в ГОСТ 24452 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

Сущность метода основана на измерении деформаций при возрастающей величине приложенного осевого сжимающего напряжения.

В процессе испытаний нагружением на гидравлическом прессе с помощью силоизмерителя прессы и индикаторов часового типа измеряют величину осевых сжимающих напряжений и соответствующих им величин деформаций. Перед испытанием образец центрируется таким образом, чтобы деформации по всем граням отличались незначительно. Нагружение образца в процессе определения модуля упругости бетона до уровня нагрузки (40±5 %)  $P_p$  производят ступенями, составляющими 10 % ожидаемой разрушающей нагрузки. Скорость нагружения в пределах каждой ступени составляет (0,6±0,2) МПа/с (рисунок 2).



Рисунок 1. Призмы, выпиленные из образца кольцевого сечения (составлено авторами)

Модуль упругости  $E_\sigma$  вычисляется для каждого образца, когда уровень нагрузки составляет 30 % от разрушающей, по формуле:

$$E_\sigma = \frac{\sigma_1}{\epsilon_{1\gamma}}, \quad (8)$$

где  $\sigma_1 = P_1/F$  – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей;

$P_1$  – соответствующее приращение внешней нагрузки;

$\epsilon'_{1\gamma}$  – приращение упруго-мгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки  $P_l = 0,3 \cdot P_p$  и замеренное в начале каждой ступени ее приложения. За условный ноль принимается величина напряжения не более 2 % предела прочности бетона.

Для фибробетонов с комбинированным армированием модуль упругости по модели Фойхта определяется по формуле:

$$E^V = \mu_1 E_1 + \mu_2 E_2 + \mu_3 E_3. \quad (9)$$

Указанная модель базируется на классических законах композиционных материалов. Приведенный закон не учитывает структурообразующей роли и своеобразия бетонной матрицы, процесса формирования контактной зоны вблизи поверхности раздела «волоконно-матрица». Состоянием контактной зоны определяются свойства фибробетона [19-21].

Существует модель прогнозирования значения модуля упругости фибробетона, армированного комбинированной фиброй, учитывающая коэффициент  $\varphi$ , отражающий вид волокон, а также степень взаимодействия их друг с другом и с матрицей.

$$E_{фб} = E_б \mu (\varphi_{баз.ф} n + \varphi_{ст.ф} (1 - n)), \quad (10)$$

где  $E_{фб}$ ,  $E_б$  – модуль упругости фибробетона и бетона;

$\mu$  – общая объемная доля волокон;

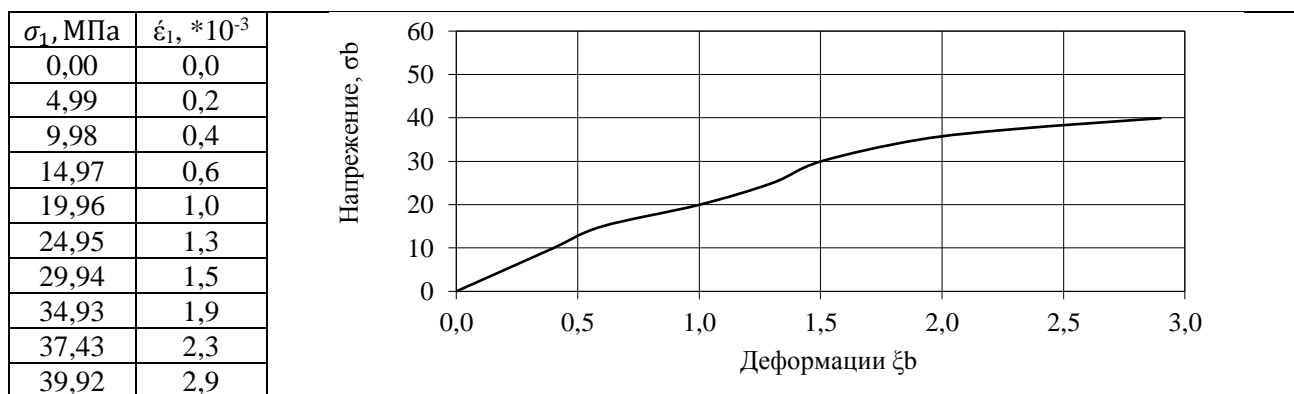
$n$  – доля в общем объеме армирования аморфнометаллической фибры;

$\varphi$  – экспериментальный комплексный коэффициент.

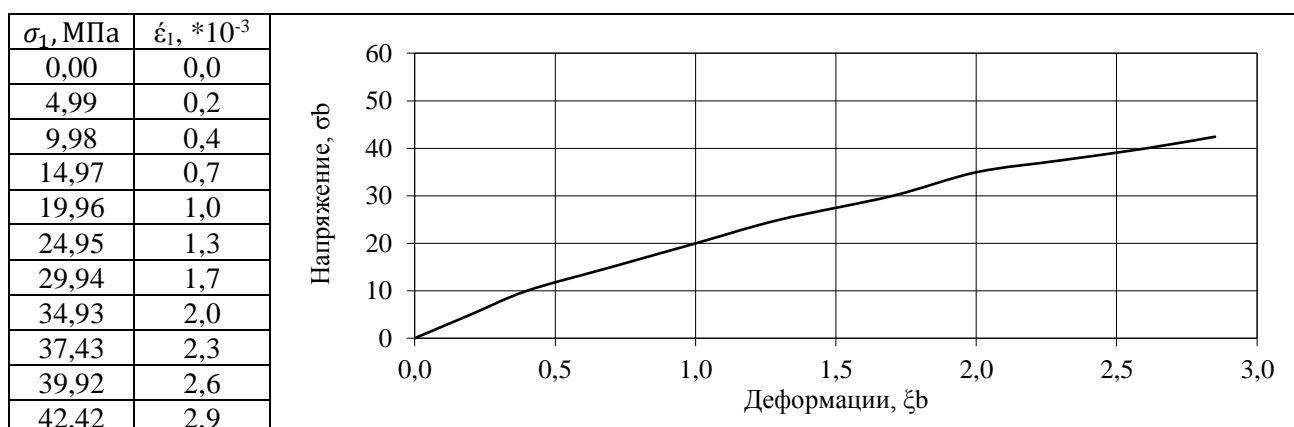


*Рисунок 2. Образец после испытания (составлено авторами)*

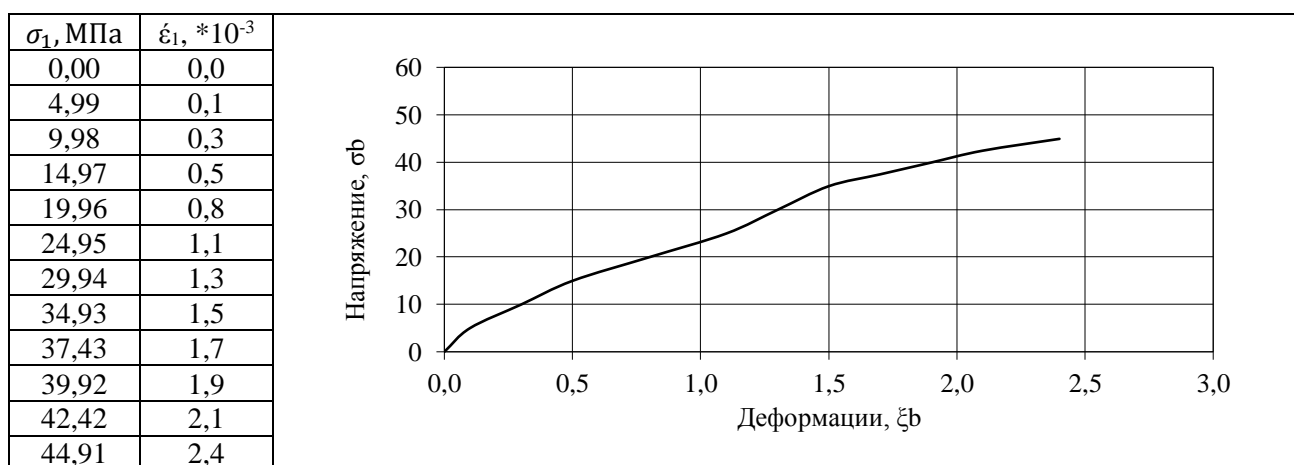
По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований построены диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » (рисунки 3-8) и исследовано влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов.



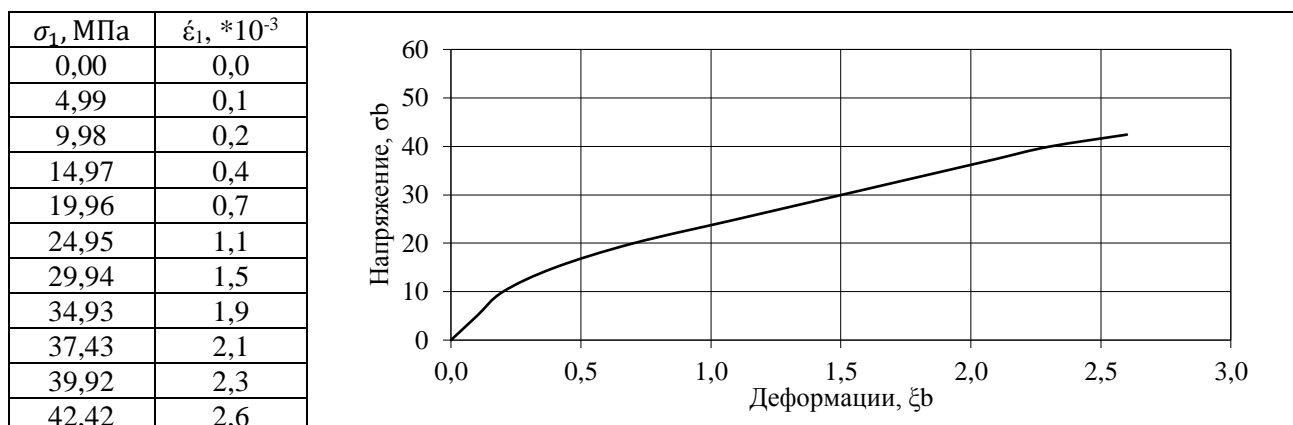
**Рисунок 3.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного тяжелого бетона с заполнителем гранит (составлено авторами)



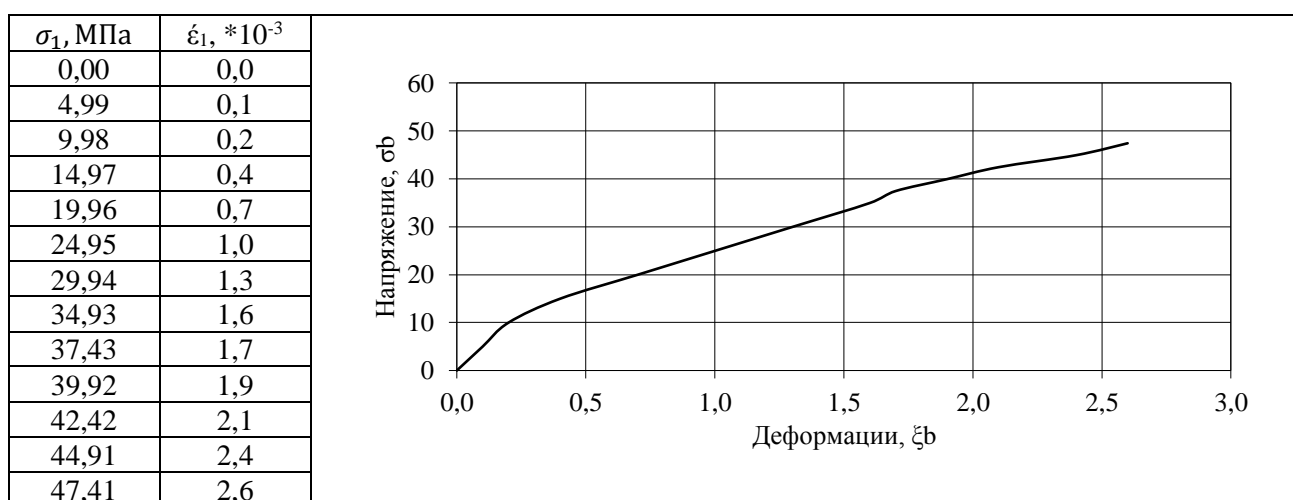
**Рисунок 4.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного облегченного бетона с заполнителем гранит+керамзит+базальтовая фибра (составлено авторами)



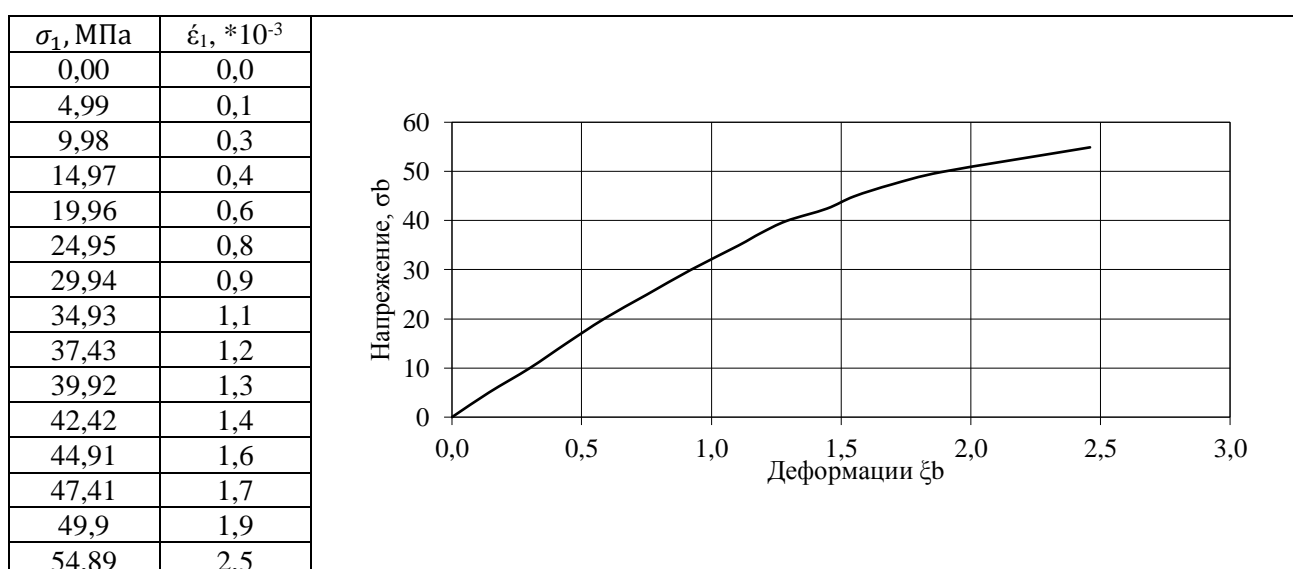
**Рисунок 5.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного облегченного бетона с заполнителем гранит+керамзит (составлено авторами)



**Рисунок 6.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного тяжелого бетона с заполнителем гранит+базальтовая фибра (составлено авторами)



**Рисунок 7.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного облегченного бетона с заполнителем гранит+керамзит+стальная фибра (составлено авторами)



**Рисунок 8.** Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для виброцентрифугированного облегченного бетона с заполнителем гранит+керамзит+стальная фибра+базальтовая фибра (составлено авторами)

По результатам анализа полученных диаграмм деформирования из проработанных составов были выбраны рациональные составы для дальнейших исследований.

Экспериментально подтвердилось, что увеличивается предельная сжимаемость фибробетона в сравнении с бетоном. Модуль упругости фибробетонных образцов увеличился по сравнению с бетонными образцами. Характер разрушения при этом переходит из хрупкого в вязко-пластичный, что оказывает положительное влияние на несущую способность элемента конструкции кольцевого сечения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4313).
2. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Наукоедение, 2017, № 4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).
3. 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.
4. 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.
5. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4832).
6. 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: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5123](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5123).
7. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П., Яновская А.В., Осадченко С.А. Механические свойства виброцентрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем и волокнистой добавкой // Инженерный вестник Дона, 2018, № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5047](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5047).
8. 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: [esj.today/PDF/58SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf).
9. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Совершенствование расчетных рекомендаций по подбору состава бетона центрифугированных конструкций // Вестник Евразийской науки, 2018, №3 URL: [esj.today/PDF/63SAVN318.pdf](http://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf).
10. 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 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).
11. 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.
  12. 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.
  13. 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, Выпуск 1 (18). С. 247-252.
  14. Anatoliy Shuisky, Sergey Stelmakh, Evgeniy Shcherban and Elena Torlina Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete // MATEC Web of Conferences. ICMTMTE, 2017, Vol. 129 URL: [matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf\\_icmtmte2017\\_05011.pdf](https://matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_05011.pdf).
  15. Alexander Halyushev, Mikhail Holodnyak, and Muhuma Nazhuyev Effect of caustic soda on the intensity of gassing in the production of non-autoclaved aerated concrete // MATEC Web of Conferences. ICMTMTE, 2017, Vol. 129 URL: [matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf\\_icmtmte2017\\_05012.pdf](https://matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_05012.pdf).
  16. Романенко Е.Ю. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1989. 179 с.
  17. 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.
  18. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Халезин С.В., Горцевской А.А. Деформационные свойства и параметрические точки бетонов каркасной структуры // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4941](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4941).
  19. Пантелеев Д.А. Полиармированные фибробетоны с использованием аморфнометаллической фибры: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Санкт-Петербург, 2016. 155 с.
  20. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05. Санкт-Петербург, 2005. 315 с.
  21. Шпенёв А.Г. Влияние слабой границы раздела волокно/матрица на свойства волокнистого композита из хрупких компонентов: дис. ... канд. физ-мат наук: 01.02.04. Москва, 2008. 92 с.

**Shcherban' Evgeniy Mikhaylovich**

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

**Nazhnev Mukhuma Pakhrudinovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: nazhnev17@mail.ru

**Rymova Ekaterina Maratovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: rymova999@yandex.ru

**Liev Ruslan Anatol'evich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: ruslan.liev.rostov@mail.ru

## **Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concrete**

**Abstract.** The article notes the relevance and prospects in modern construction of fiber reinforcement of concrete structures by various types of dispersed fibers. The scientific interest, which is the fiber reinforcement of building structures of the annular cross section, is determined, the study of the prospects of the combined reinforcement of concrete with various fiber combinations and the combined aggregate in such concrete. Theoretical information about the "stress – strain" diagram of concrete, the relationship between stresses and deformations of concrete, basic terms and concepts are given. The course of the experimental studies of the authors is described. The modulus of elasticity, Poisson's ratio, the ultimate compressibility on vibrocentrifuged prisms cut from concrete and fiber concrete ring samples with an outer diameter of 400 mm and an inner diameter of 150 mm were determined. Samples are made of various compositions. Characteristics of the placeholders are given. According to the results of theoretical and experimental studies, the « $\sigma - \epsilon$ » diagrams were constructed and the effect for the type of aggregate and disperse reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concretes was investigated.

According to the results of the analysis of the obtained deformation diagrams, rational compositions for further research were selected from the developed compositions. It was experimentally confirmed that the limiting compressibility of fiber-reinforced concrete increases in comparison with concrete. The modulus of elasticity of fiber-reinforced concrete samples has increased compared with concrete samples. The nature of the fracture in this case goes from brittle to viscous-plastic, which has a positive effect on the carrying capacity of the element of the design of the annular cross section.

**Keywords:** fiber concrete; disperse reinforcement; stresses; deformations; modulus of elasticity; vibrocentrifugation; Poisson's ratio