

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/09SAVN319.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кадров А.А., Ефименко Е.А., Чернильник А.А., Доценко Н.А., Бунтов В.В., Коржаева Е.Э. Аналитический обзор влияния типов структуры цементных бетонов на их свойства // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/09SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Kadrov A.A., Efimenko E.A., Chernil'nik A.A., Dotsenko N.A., Buntov V.V., Korzhaeva E.E. (2019). Analytical review of the influence of types of structure of cement concretes on their properties. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/09SAVN319.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Кадров Антон Анатольевич**

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

**Ефименко Екатерина Андреевна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Ассистент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»  
E-mail: ovekaterina90@yandex.ru

**Чернильник Андрей Александрович**

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

**Доценко Наталья Александровна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Студент  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Бунтов Виктор Валерьевич**

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

**Коржаева Екатерина Эдуардовна**

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

**Аналитический обзор влияния типов  
структуры цементных бетонов на их свойства**

**Аннотация.** Повышающиеся требования к качеству и безопасности современных строительных материалов диктуют необходимость рационального выбора не только компонентов материала, но также и его структуры. Одним из основных правил строительного материаловедения является принцип «состав – структура – свойства – область применения». Такой принцип позволяет, помимо объединения основополагающих положений

материаловедения, использовать научный подход применительно к рассмотрению всего комплекса вопросов, связанных с изучением материала как основного элемента строительного производства, его поведения в эксплуатационных условиях. В статье проведен аналитический обзор влияния типов структуры цементных бетонов на их свойства. Рассмотрены такие типы структур бетона, как слитная, каркасная, вариатропная. Авторами отмечено влияние компонентного состава каждой из таких структур на свойства соответствующих бетонов.

Авторами после проведения аналитического обзора научно-технической литературы, посвященной исследованию влияния различий типов структуры на свойства бетонов, представлен вывод о том, что создание, с учетом повышающихся технологических возможностей, новых (а также модернизация существующих) способов изменения типов структуры цементных бетонов является актуальным направлением строительной науки и ведет к повышению качества и безопасности современных строительных материалов, изделий и конструкций.

#### **Вклад авторов.**

Кадров Антон Анатольевич – собрал, проанализировал и интерпретировал основные тезисы.

Ефименко Екатерина Андреевна – автор осуществил написание статьи.

Чернильник Андрей Александрович – одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Доценко Наталья Александровна – автор осуществил написание статьи.

Бунтов Виктор Валерьевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Коржаева Екатерина Эдуардовна – автор оказывал участие при оформлении статьи.

**Ключевые слова:** цементные бетоны; слитная структура; вариатропная структура; микроструктура; макроструктура; плотность; пористость

Повышающиеся требования к качеству и безопасности современных строительных материалов диктуют необходимость рационального выбора не только компонентов материала, но также и его структуры [1].

Одним из основных правил строительного материаловедения является принцип «состав-структура-свойства-область применения». Такой принцип позволяет, помимо объединения основополагающих положений материаловедения, использовать научный подход применительно к рассмотрению всего комплекса вопросов, связанных с изучением материала как основного элемента строительного производства, его поведения в эксплуатационных условиях.

Фазовый состав цементных бетонов представлен твердым веществом, образующим стенки пор (каркас материала), а также порами, заполненными водой и воздухом. Это оказывает влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. Также на его свойства оказывают влияние макро- и микроструктура и внутреннее строение составляющих его веществ на молекулярном уровне.

Макроструктура материала – строение, различимое для невооруженного глаза или при незначительном увеличении, микроструктура – строение, различимое под микроскопом.

Для макроструктуры цементных бетонов характерно зернистое конгломератное строение – зерна, прочно соединенные между собой [2].

Согласно [3] различают несколько уровней структуры бетона:

- макроструктура, на уровне которой бетон рассматривается как система «матрица (растворная составляющая) – контактная зона – крупный заполнитель». В матрице рассматриваются поры – пространства различного происхождения, не заполненные твердым веществом;
- мезоструктура, на уровне которой рассматривается система «матрица (цементный камень) – контактная зона – мелкий заполнитель»;
- микроструктура, на уровне которой рассматривается строение цементного камня. В цементном камне выделяют кристаллический сросток (каркас), цементный гель («цементный клей») и поры.

Структура бетона определяется его составом, то есть соотношением между компонентами, условиями уплотнения и твердения, продолжительностью твердения, агрессивностью среды.

Формирование структуры бетона происходит в течение длительного времени в результате физических, физико-химических и химических процессов. На макроуровне различают структуру с контактным и «плавающим» расположением заполнителя, которая определяется концентрацией заполнителя в единице объема.

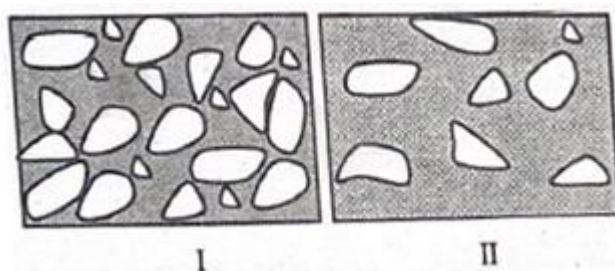
Согласно [2] тяжелым называется бетон плотной (слитной) структуры, приготовленный на цементном вяжущем, плотных мелком и крупном заполнителях. Это – сложный по структуре искусственный строительный материал конгломератного строения, состоящий из зерен заполнителя различных размеров, сцементированных в монолит цементным камнем.

Под структурой материала понимают пространственное расположение взаимосвязанных между собой частиц различной дисперсности. В бетоне различают макро- и микроструктуру.

Бетоны слитного строения могут различаться по относительному содержанию перечисленных структурных элементов в единице объема бетона.

В случае высокой концентрации зерен заполнителя зерна заполнителя скреплены в местах контакта тонкой прослойкой цементного камня, а пустоты между ними заполнены цементным раствором, (рисунок 1 (I)). Такая структура обеспечивает повышенную прочность бетона при сжатии, снижает опасность трещинообразования.

С увеличением расхода цемента, что характерно для подвижных и пластичных смесей, относительно содержание цементирующего вещества увеличивается, концентрация заполнителей снижается. В результате создается структура с «плавающим» расположением зерен заполнителя, то есть зерна находятся на значительном удалении друг от друга (рисунок 1 (II)). В этом случае применение высокопрочного заполнителя не приводит к повышению прочности бетона. Его прочность определяется только прочностью растворной составляющей.



**Рисунок 1.** Типы структур бетона: I – смесь с контактным расположением зерен; II – смесь с «плавающим» заполнителем (составлено авторами)

Микроструктура цементного камня представляет собой неоднородную систему, которая состоит из новообразований, не прореагировавших с водой зерен вяжущего и микропор различных размеров и строения. Новообразования представлены кристаллическими сростками и гелеобразными массами. Капиллярные поры можно представить, как сообщающиеся между собой каналы переменного сечения и различной степени извилистости.

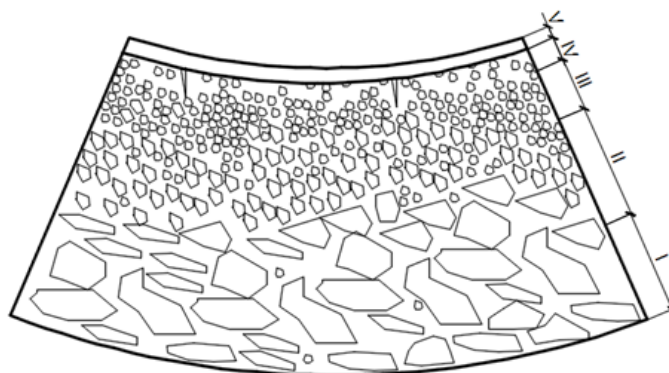
Физическое состояние строительных материалов, в том числе бетонов достаточно полно характеризуется средней и истинной плотностью, а также пористостью. Средняя плотность бетона является важнейшей характеристикой при расчете и проектировании изготавливаемых из него конструкций. По ее величине можно судить и о других физико-механических свойствах бетона [2].

По каркасной технологии, описанной в [4], зерна заполнителя предварительно обрабатывают наполненным или ненаполненным вяжущим и укладывают в форму. Каркасная технология особенно эффективна для производства штучных изделий и монолитных покрытий из легких композиционных строительных материалов с пористыми и полыми заполнителями. В результате твердения формируется каркас крупнопористого бетона, соответствующий очертаниям изделия. В качестве вяжущих для склеивания зерен заполнителя могут быть использованы терморезактивные смолы, полимербитумные материалы, латексы, минеральные вяжущие. Снижается расход связующего на 10–15 %, обеспечиваются повышенные конструкционные и эксплуатационные свойства изделий [5].

Авторами [6–7] исследовались бетоны каркасной структуры, получаемые с помощью раздельной технологии за счет нагнетания маловязкой растворной составляющей в пустоты наброски крупного заполнителя, зафиксированной в объеме, либо посредством погружения в маловязкую растворную составляющую крупного заполнителя.

Одним из способов получения принципиально иного типа структуры бетона является такая технология, как центрифугирование [8–10].

Под действием центробежных сил во время центрифугирования бетонной смеси зерна заполнителей перемещаются в сторону наружной поверхности сечения стенки сердечника, образуя жесткий каркас, склеенный цементным тестом. На внутреннюю поверхность сечения в процессе центрифугирования отжимаются излишки цементного теста, в результате чего здесь образуется слой раствора с очень большим содержанием цемента. Для получения прочного и плотного водонепроницаемого бетона в сердечнике трубы должны были быть изучены условия формирования его структуры: подвижность бетонной смеси, усилия уплотнения при центрифугировании и условия, при которых происходит вызревание бетона [11–13].



**Рисунок 2.** Зоны центрифугированного изделия с вариатропным типом структуры: I – крупнозернистый конгломерат; II – обычный конгломерат; III – мелкозернистый пористый конгломерат; IV – цементный камень; V – цементный шлам (составлено авторами)

Как видно из рисунка 2, при уплотнении методом центрифугирования происходит разделение бетонной смеси на зоны по крупности зерен. Крупнозернистый конгломерат с большей массой перемещается к внешней поверхности изделия, а с меньшей массой соответственно ближе к внутренней. Скорость сепарации частиц происходит тем быстрее, чем плотнее и крупнее заполнитель и больше скорость вращения формы. Фактически крупный плотный заполнитель достигает внешней поверхности изделия за несколько полных оборотов формы (1–1,5 с), т. е. еще при распределении, мелкий же занимает это положение только через 200–205 с.

Именно эта разница в скорости дрейфа частиц различного размера обуславливает специфическое (вариатропное) строение свежетоформованного центрифугированного бетона, у которого внешний слой образован, в основном, крупным заполнителем с прослойкой цементного теста, а с приближением к внутренней поверхности постепенно возрастает содержание мелких частиц плотного заполнителя и цементного теста. В результате, поскольку вариатропия плотности бетона выражается не только неоднородностью структуры цементного камня, но и характером распределения зерен заполнителя по толщине стенки изделия, то центробежная сила действующая пропорциональна массе вращающегося твердого тела будет влиять на формирование слоев в процессе уплотнения при центрифугировании. В соответствии с этим изменяется и распределение свойств по сечению стенки изделия образуя многослойное кольцевое сечение с вариатропной структурой, и пропорциональным снижением физико-механических свойств от наружного слоя бетона к внутреннему [14–18].

Таким образом, после проведения аналитического обзора научно-технической литературы, посвященной исследованию влияния различий типов структуры на свойства бетонов, можно сделать вывод, что создание, с учетом повышающихся технологических возможностей, новых (а также модернизация существующих) способов изменения типов структуры цементных бетонов является актуальным направлением строительной науки и ведет к повышению качества и безопасности современных строительных материалов, изделий и конструкций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные материалы вариатропно-каркасной структуры: монография / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Смирнов; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т.» М.: МГСУ, 2011. 316 с.
2. Строительное материаловедение: учебное пособие / под общей ред. В.А. Невского. Изд. 2-е, доп. и перераб. Ростов н/Д: Феникс, 2009. 588 с.
3. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие / Г.В. Несветаев. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. 381 с.
4. Селяев В.П., Соломатов В.И., Ерофеев В.Т. Композиционные строительные материалы каркасной структуры. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1993. 167 с.
5. Каркасные строительные композиты / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев и др. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. 372 с.
6. Несветаев Г.В., Халезин С.В. О прочности бетона с каркасной структурой // Интернет-журнал «Наукоеведение», 2015, Том 7, №3 URL: [naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf) DOI: 10.15862/92TVN315.



7. Несветаев Г.В., Халезин С.В. Деформационные свойства бетонов с каркасной структурой // Интернет-журнал «Науковедение», 2015, Том 7, №4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/118TVN415.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/118TVN415.pdf) DOI: 10.15862/118TVN415.
8. 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.
9. 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.
10. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Науковедение, 2017, № 4 URL: [naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf).
11. 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).
12. 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).
13. 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).
14. 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.
15. 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).
16. 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).
17. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариативности при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2018, №4 URL: [esj.today/PDF/07SAVN418.pdf](http://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf).
18. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк 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 URL: [esj.today/PDF/51SAVN518.pdf](http://esj.today/PDF/51SAVN518.pdf).

**Kadrov Anton Anatol'evich**

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

**Efimenko Ekaterina Andreevna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: ovekaterina90@yandex.ru

**Chernil'nik Andrey Aleksandrovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: chernila\_a@mail.ru

**Dotsenko Natal'ya Aleksandrovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: natalya\_1998\_dotsenko@mail.ru

**Buntov Viktor Valer'yevich**

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

**Korzhaeva Ekaterina Eduardovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: e\_korzhaeva@mail.ru

## **Analytical review of the influence of types of structure of cement concretes on their properties**

**Abstract.** Increasing demands on the quality and safety of modern building materials dictate the need for a rational choice of not only the material components, but also its structure. One of the basic rules of building materials science is the principle “composition – structure – properties – scope”. This principle allows, in addition to combining the fundamental provisions of materials science, to use a scientific approach in relation to the consideration of the whole complex of issues related to the study of material as the main element of the construction industry, its behavior under operational conditions. The article provides an analytical review of the influence of the types of structure of cement concretes on their properties. The following types of concrete structures are considered: continuous, frame, variotropic. The authors noted the influence of the component composition of each of these structures on the properties of the respective concretes.

The authors, after conducting an analytical review of scientific and technical literature devoted to the study of the effect of differences in structure types on the properties of concrete, presented the conclusion that the creation, taking into account increasing technological capabilities, new (as well as modernization of existing) methods for changing types of structure of cement concrete is a relevant area construction science and leads to higher quality and safety of modern building materials, products and structures.

**Keywords:** cement concretes; continuous structure; variotropic structure; microstructure; macrostructure; density; porosity