

УДК 691.328.5

## **ВНЕДРЕНИЕ УГЛЕРОДИСТОГО БЕТОНА В СОВРЕМЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

Журавлев Т.И., студент группы 28103, 1 курс

Научный руководитель: Шафикова А.И., старший преподаватель кафедры  
ЕНГД

Лениногорский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Казанский  
национальный исследовательский технический университет им. А.Н.  
Туполева-КАИ»  
г. Лениногорск

### **Введение**

Железобетон, будучи одним из самых популярных строительных материалов, играет ключевую роль в современном строительстве благодаря своей прочности и долговечности. Однако, несмотря на свои многочисленные преимущества, он сталкивается с рядом серьезных проблем, которые могут негативно сказаться на его эксплуатационных характеристиках и долговечности конструкций.

Одной из основных проблем является коррозия арматуры, которая происходит из-за воздействия влаги и агрессивных химических веществ. Это приводит к снижению прочности и долговечности железобетонных конструкций, что, в свою очередь, может вызвать необходимость в дорогостоящем ремонте или даже замене. Кроме того, трещинообразование, которое возникает из-за усадки, температурных изменений или механических нагрузок, также представляет собой значительную угрозу для целостности железобетонных элементов.

### **Объект исследования**

Углеродистый бетон — это инновационный строительный материал, который сочетает в себе традиционные компоненты бетона с углеродными волокнами. Он обладает уникальными свойствами, которые делают его особенно привлекательным для использования в строительстве. Он представляет собой карбоновую или графитовую арматуру внутри бетонных блоков, которые из-за свойств углерода, прочнее, легче и занимают меньше места.

Одной из наиболее перспективных областей применения углеродистого бетона является строительство мостов. Мосты подвергаются значительным нагрузкам и воздействию внешней среды, что требует от строительных материалов высокой прочности и долговечности. Углеродистый бетон может обеспечить необходимую прочность при меньшем весе, что снижает нагрузку

на опоры и фундамент. Это не только уменьшает затраты на материалы, но и упрощает процесс укладки.

В условиях городской застройки углеродистый бетон позволяет строить более тонкие и легкие конструкции, что способствует экономии пространства и снижению затрат на фундаменты. Высотные здания, построенные с использованием углеродистого бетона, могут иметь меньшую массу и, следовательно, меньшую нагрузку на землю.

При строительстве стадионов и спортивных комплексов углеродистый бетон может использоваться для создания прочных и долговечных конструкций, которые выдерживают большие нагрузки и воздействие внешней среды. Его устойчивость к коррозии делает его идеальным для таких объектов, где требуется высокая прочность и долговечность.

В агрессивных условиях, таких как химические заводы или морские сооружения, углеродистый бетон может предложить устойчивость к коррозии и трещинообразованию, что делает его идеальным выбором для таких объектов.

Углеродистый бетон может быть использован в строительстве ветряных и солнечных электростанций, где легкость и прочность материалов играют ключевую роль.

Достоинства углеродистого бетона над железобетоном

Углеродные волокна значительно увеличивают прочность на растяжение и сжатие по сравнению с традиционным железобетоном. Согласно исследованиям, прочность углеродистого бетона может достигать 150-200 МПа, тогда как прочность обычного железобетона составляет около 25-40 МПа. Углеродистый бетон, благодаря добавлению углеродных волокон, значительно снижает риск трещинообразования, что увеличивает срок службы конструкций. У железобетона риск трещин может достигать 30% в условиях высокой влажности и температурных колебаний. Углеродистый бетон может быть легче железобетона, что позволяет снизить нагрузку на фундамент. Это не только уменьшает затраты на материалы, но и упрощает процесс укладки. Например, плотность углеродистого бетона составляет около 2200 кг/м<sup>3</sup>, в то время как плотность железобетона — около 2400 кг/м<sup>3</sup>.

Производство углеродистого бетона может иметь меньший углеродный след по сравнению с железобетоном. Использование углеродных волокон может снизить потребление ресурсов и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Углеродистый бетон лучше справляется с воздействием химических веществ и влаги, что делает его более долговечным в условиях, где железобетон может быстро разрушаться.

Метод исследования

Сравнительный анализ характеристик углеродистого и железобетона

Для наглядного сравнения характеристик углеродистого бетона и железобетона, представлены следующие параметры (таблица 1): прочность на сжатие, прочность на растяжение, модуль упругости и плотность.

Таблица 1. Сравнительные характеристики бетонов

Параметр	Углеродистый бетон	Железобетон
Прочность на сжатие (МПа)	150-200	25-40
Прочность на растяжение (МПа)	10-15	2-5
Плотность (кг/м³)	2200	2400

Примечания к таблице

1. Прочность на сжатие: углеродистый бетон значительно превосходит железобетон по прочности на сжатие, что делает его более подходящим для конструкций, испытывающих большие нагрузки.

2. Прочность на растяжение: прочность на растяжение углеродистого бетона также значительно выше, что снижает риск разрушения конструкций при изгибе.

3. Модуль упругости: углеродистый бетон имеет более высокий модуль упругости, что означает, что он менее подвержен деформациям при нагрузках, что особенно важно для мостов и высоких зданий.

4. Плотность: углеродистый бетон немного легче, это позволяет уменьшить нагрузку на фундамент, что является важным фактором в строительстве.

Сравнение углеродистого бетона и железобетона в контексте проектирования моста с пролётом 20 метров

1. Сила сжатия (Н):

$$F = \sigma \cdot A \quad (1)$$

где  $F$  — сила (Н),  $\sigma$  — прочность на сжатие (МПа),  $A$  — площадь поперечного сечения (м²).

2. Сила растяжения (Н):

$$F = \sigma \cdot A \quad (2)$$

где  $\sigma$  — прочность на растяжение (МПа).

3. Модуль упругости (ГПа):

$$E = \Delta\sigma / \Delta\epsilon \quad (3)$$

где  $E$  — модуль упругости (ГПа),  $\Delta\sigma$  — изменение напряжения (МПа),  $\Delta\epsilon$  — относительное удлинение (безразмерная величина).

4. Объемная масса:

$$V = m / \rho \quad (4)$$

где  $V$  — объем (м³),  $m$  — масса (кг),  $\rho$  — плотность (кг/м³).

5. Формула для расчета прочности на разрыв

$$\sigma = F / A \quad (5)$$

где  $\sigma$  — прочность на разрыв (Па),  $F$  — сила растяжения (Н),  $A$  — площадь поперечного сечения (м²).

Пример расчета

1. Сила сжатия для моста

Площадь поперечного сечения моста составляет 10 м².

Углеродистый бетон:

$$F_{сж}=200 \text{ МПа} \cdot 10 \text{ м}^2=2000 \text{ МН}=2000000 \text{ Н.}$$

Железобетон:

$$F_{сж}=40 \text{ МПа} \cdot 10 \text{ м}^2=400 \text{ МН}=400000 \text{ Н.}$$

2. Сила растяжения для моста

Используя ту же площадь поперечного сечения ( $10 \text{ м}^2$ )

Углеродистый бетон:

$$F_{раст}=15 \text{ МПа} \cdot 10 \text{ м}^2=150 \text{ МН}=150000 \text{ Н.}$$

Железобетон:

$$F_{раст}=5 \text{ МПа} \cdot 10 \text{ м}^2=50 \text{ МН}=50000 \text{ Н.}$$

3. Модуль упругости

Для моста, предполагая, что изменение напряжения составляет  $10 \text{ МПа}$ ,

и относительное удлинение  $0.001$  ( $0.1\%$ ):

Углеродистый бетон:

$$E_{угл}=10 \text{ МПа}/0.001=10000 \text{ МПа}=10 \text{ ГПа.}$$

Железобетон:

$$E_{жел}=10 \text{ МПа}/0.001=10000 \text{ МПа}=10 \text{ ГПа.}$$

4. Масса моста

Объем моста составляет  $20 \text{ м}^3$ .

Углеродистый бетон:

$$m_{угл}=V \cdot \rho=20 \text{ м}^3 \cdot 2200 \text{ кг/м}^3=44000 \text{ кг.}$$

Железобетон:

$$m_{жел}=V \cdot \rho=20 \text{ м}^3 \cdot 2400 \text{ кг/м}^3=48000 \text{ кг.}$$

5. Расчет прочности на разрыв

Углеродистый бетон:

$$\sigma_{угл}=150000 \text{ Н}/0.01 \text{ м}^2=15000000 \text{ Па}=15 \text{ МПа.}$$

Железобетон:

$$\sigma_{жел}=50000 \text{ Н}/0.01 \text{ м}^2=5000000 \text{ Па}=5 \text{ МПа.}$$

Результат исследования

Сравнительный анализ

Таблица 2. Сравнительный анализ бетонов в контексте проектирования моста с пролётом  $20$  метров

Параметр	Углеродистый бетон	Железобетон
Сила сжатия (Н)	2000000	400000
Сила растяжения (Н)	150000	50000
Прочность на разрыв (МПа)	15	5
Модуль упругости (ГПа)	10	10
Масса (кг)	44000	48000

На основе проведенных расчетов видно, что углеродистый бетон значительно превосходит железобетон по прочности на сжатие и растяжение.

Это делает его более подходящим для проектирования моста, поскольку он может выдерживать большие нагрузки и меньше подвержен деформациям при эксплуатации.

Хотя углеродистый бетон обладает множеством преимуществ, есть определенные ситуации и области, где его использование может быть невыгодным или нецелесообразным.

Если проект не требует высокой прочности и устойчивости к трещинам, например, в случае простых конструкций (не несущих стен, небольших хозяйственных построек), использование углеродистого бетона может быть излишним и дорогостоящим.

В небольших проектах, где объемы бетона минимальны, стоимость углеродистого бетона может не оправдать себя. В таких случаях более экономично использовать традиционный бетон.

В некоторых случаях, например, при строительстве объектов, требующих высокой теплопроводности (например, в определенных типах зданий), традиционные бетонные смеси могут быть более подходящими.

Если проект не требует долговечности и устойчивости к агрессивным условиям, использование углеродистого бетона может быть неоправданным. Например, временные конструкции или объекты, которые будут демонтированы через короткий срок.

#### Вывод

Внедрение углеродистого бетона в строительные проекты открывает новые горизонты для создания прочных, легких и долговечных конструкций. Его уникальные свойства делают его идеальным выбором для множества современных строительных проектов, от мостов до спортивных сооружений.

Сравнительный анализ показал, что углеродистый бетон превосходит железобетон по многим ключевым характеристикам, что делает его более целесообразным выбором для строительства в условиях высоких нагрузок и агрессивной окружающей среды. Учитывая преимущества углеродистого бетона, его использование может стать важным шагом к более устойчивому и эффективному строительству в будущем.

#### Список литературы:

1. Урханова Л. А. Механические и электрические свойства бетона, модифицированного углеродными наночастицами / Л. А. Урханова, С. Л. Буянтуев, А. А. Урханова [и др.] // Инженерно-строительный журнал. — 2019. — № 8 (92). — С. 163–172. — DOI: 10.18720/MCE.92.1. — Текст: непосредственный.
2. Кабулов А. Т. Получение и исследование новых углеродных материалов из растительных отходов и их применение в очистке газоздушных смесей / А. Т. Кабулов, С. В. Нечипуренко, С. А. Ефремов // Труды Кольского научного центра РАН. — 2015. — № 5 (31). — С. 527–531. — Текст: непосредственный.
3. Ковтун Г. П. Наноматериалы: технологии и материаловедение: обзор / Г. П. Ковтун, А. А. Веревкин. — Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. — 73 с.

4. Ремпель А.А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов / А. А. Ремпель // Успехи химии. — 2007. — Т. 76, № 5. — С. 475–500. — Текст: непосредственный.