

Садовская Е. А.  
Леонович С. Н.

**ПРОЧНОСТЬ, ДЕФОРМАТИВНОСТЬ  
И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНА С МАТРИЦЕЙ,  
МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ  
НАНОТРУБКАМИ**

*105-летнему юбилею Белорусского национального технического  
университета эту работу посвящают авторы*

Минск  
БНТУ  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Термины и определения.....	5
Перечень сокращений и определений .....	7
Введение.....	10
Глава 1. Аналитический обзор (состояние вопроса), анализ и постановка задач исследований .....	11
1.1. Трещиностойкость бетона и фибробетона: способы ее повышения.....	11
1.1.1. Дисперсное моноармирование (фибробетон).....	13
1.1.2. Наноармирование углеродными нанотрубками .....	20
1.1.3. Многоуровневое дисперсное армирование.....	25
1.2. Современные приемы введения и распределения фибры в бетонной смеси .....	29
1.3. Оценка качества фибробетонной смеси и фибробетона в конструкции .....	31
1.4. Выводы по главе.....	36
Глава 2. Методология, материалы и методы исследований.....	38
2.1. Общая методология исследований .....	38
2.2. Характеристика исходных компонентов.....	40
2.3. Испытываемые образцы. Методы испытаний .....	44
2.3.1. Методы определения характеристик бетонной смеси .....	48
2.3.2. Методы определения механических и физических характеристик бетона.....	48
2.3.3. Многопараметричная методика экспериментальных исследований фибробетона .....	53
2.4. Выводы по главе.....	58
Глава 3. Технология, свойства, методы и результаты испытаний бетона многоуровневого армирования .....	59
3.1. Бетон с углеродными нанотрубками – составы и свойства....	59

3.2. Оптимизация количества стальной фибры в составе фибробетона.....	63
3.3. Фибробетон многоуровневого армирования .....	66
3.3.1. Формуемость (удобоукладываемость) фибробетона, содержащего УНТ и стальную фибру .....	66
3.3.2. Прочность и упруго-деформативные характеристики фибробетона многоуровневого армирования .....	70
3.4. Свойства (параметры) фибробетона многоуровневого армирования.....	74
3.5. Эксплуатационные свойства фибробетона многоуровневого армирования.....	79
3.6. Контроль качества фибробетона.....	84
3.6.1. Оценка прочности и коэффициента интенсивности напряжений .....	85
3.6.2. Определение коэффициента интенсивности напряжений по энергетическим параметрам .....	95
3.6.3. Модуль упругости фибробетона .....	98
3.6.4. Интеграл Черепанова-Райса (J-интеграл).....	99
3.6.5. Коэффициент ползучести .....	100
3.6.6. Неразрушающие методы контроля .....	102
3.7. Выводы по главе .....	105
Глава 4. Технология и организация ведения бетонных работ.....	106
4.1. Технология приготовления фибробетона.....	106
4.1.1. Приготовление бетонной смеси-матрицы с углеродным наноматериалом .....	108
4.1.2. Приготовление фибробетона многоуровневого армирования.....	109
4.2. Особенности технологии устройства промышленных полов	111
4.2.1. Применение комплектов механизации работ с лазерными средствами контроля .....	113

4.2.2. Технология и организация производства работ по устройству полов с применением фибробетона .....	122
4.3. Выводы по главе .....	127
Глава 5. Контроль качества фибробетона многоуровневого армирования в лабораторных и производственных условиях .....	128
5.1. Основные положения многопараметрической оценки качества фибробетона .....	128
5.2. Поэтапная реализация методики испытаний .....	130
5.3. Производственная апробация методики контроля качества фибробетона в конструкции .....	137
5.3.1. Испытания механическими методами .....	137
5.3.2. Испытания физическими методами неразрушающего контроля .....	142
5.4. Оценка технико-экономического эффекта .....	147
5.5. Выводы по главе .....	153
Заключение .....	154
Список использованных источников .....	156