**Аль Дулайми Салман Давуд Салман Самовосстанавливающиеся бетоны, модифицированные микробиологической добавкой**

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

кандидат наук Аль Дулайми Салман Давуд Салман

ВВЕДЕНИЕ

1 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СОСТАВЫ И СВОЙСТВА БЕТОНОВ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И

ПОВРЕЖДЕНИЯ железобетонных конструкций, способы ИХ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Структурообразование бетонов и других цементных композитов

1.2 Составы и физико-механические свойства бетонов

1.3 Долговечность бетонных и железобетонных конструкций

1.4 Восстановление и усиление железобетонных конструкций, повышение надежности зданий и сооружений

1.4.1 Улучшение эксплуатационных свойств железобетонных конструкций путем обработки их поверхности активными средами и пропитки инъекционными составами

1.4.2 Усиление железобетонных конструкций методом укладки или приклеивания дополнительных слоев из раствора и бетона, композитных или металлических материалов

1.4.3 Интеллектуальные композиты и их использование для получения самовосстанавливающихся бетонов

1.4.4 Получение самовосстанавливающихся бетонов путем внесения микробиологической добавки в минеральные вяжущие

1.4.4.1 Обработка с целью устранения трещин

1.4.4.2 Повышение прочности бетона на сжатие и улучшение других механических характеристик

1.4.4.3 Снижение проницаемости бетона

1.4.4.4 Уменьшение водопоглощения бетона

1.4.4.5 Уменьшение коррозионного разрушения армированного бетона

1.4.4.6 Классификация материалов в зависимости от их поведения в процессе самовосстановления

1.5 Заключение по обзорной главе и перспективы изучения самовосстанавливающегося бетона

1.6 Выводы по главе

2 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Цель исследований

2.2 Применяемые материалы для исследований

2.2.1 Параметры цементной смеси

2.2.1.1 Цемент

2.2.1.2 Зола-унос

2.2.1.3 Мелкий заполнитель

2.2.1.4 Добавки

2.2.1.5 Волокно из поливинилового спирта

2.2.2 Используемые для формирования бетонов бактерии, материалы и вещества

2.2.2.1 Бактерии

2.2.2.2 Материалы-носители

2.2.2.3 Минеральная питательная среда

2.2.2.4 Другие химические реактивы

2.3 Этапы исследований

2.3.1 Первый этап. Культивирование бактерий и тестирование на выживание

2.3.1.1 Культивирование бактерий

2.3.1.2 Устойчивость бактерий к высокой температуре и щелочности среды

2.3.1.3 Способность бактерий вырабатывать минеральное вещество

2.3.2 Второй этап. Испытание уреолитической активности бактерий

2.3.2.1 Построение калибровочной кривой

2.3.2.2 Условия роста и бактерии

2.3.2.3 Активность иммобилизованных бактерий в среде с нейтральным и высоким рН

2.3.2.4 Анализ NH4-N методом Несслера

2.3.3 Третий этап. Исследование влияния добавок восстанавливающего средства на процесс самовосстановления. Измерение прочности 78 на сжатие кубиков из цементного раствора

2.3.3.1 Приготовление восстанавливающего средства на основе 78 бактерий

2.3.3.2 Подготовка образцов цементного раствора

2.3.3.3 Влияние процесса самовосстановления на прочность при сжатии

2.3.4 Четвертый этап. Исследование процесса самовосстановления бетонов

2.3.4.1 Испытания на изгиб и измерения скорости ультразвукового импульса

2.4.4.2 Исследование влияния процесса самовосстановления на регенерацию прочности по результатам испытания на изгиб с приложением сосредоточенной нагрузки в четырех точках

2.3.4.3 Влияние процесса самовосстановления на измерения скорости ультразвукового импульса

2.3.4.4 Влияние процесса самовосстановления на проницаемость

2.3.4.5 Определение сорбционной активности образца

2.3.4.6 Экспресс-испытание проницаемости хлорид-ионов

2.3.4.7 Исследования методами сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа

2.3.5 Пятый этап. Исследование самовосстановления модифицированных цементных композитов

2.3.5.1 Приготовление восстанавливающего средства на основе бактерий

2.3.5.2 Подбор состава модифицированных цементных композитов

2.3.5.3 Процедура смешивания и приготовления образцов

2.4 Методы исследований

2.4.1 Испытание на сжатеи и изгиб

2.4.2 Методы создания трещин в бетоне

2.4.3 Методы испытания и визуального отображения процесса самовосстановления

2.4.4 Планирование и анализ экспериментов

2.4.5 Численное моделирование механизма самовосстановления

2.5 Выводы по главе

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БЕТОНОВ

3. 1 Характеристика и условия самовосстановления

3.2 Биологические аспекты процесса устранения трещин с помощью бактерий

3.2.1 Биологические процессы, протекающие при осаждении выработанного микроорганизмами кальцита

3.2.2 Бактерии для самовосстанавливающихся бетонов

3.2.3 Материалы-носители

3.3 Химические аспекты процесса устранения трещин с помощью бактерий

3.4 Выводы по главе

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Введение

4.2 Культивирование бактерий и тестирование их выживаемости (первый этап)

4.2.1 Анализ роста бактерий и спорообразующей способности

4.2.2 Определение количества спор, устойчивых к воздействию высоких температур и рН

4.2.3 Образование бактериями кристаллов

4.3 Исследование уреолитической активности бактерий (второй этап)

4.4 Изучение влияния восстанавливающих средств на процесс самовосстановления на основе испытания прочности на сжатие кубиков из цементного раствора (третий этап)

4.4.1 Влияние добавок питательных веществ на прочность на сжа-

тие кубиков из цементного раствора

4.4.2 Влияние различной концентрации бактерий на прочность при сжатии кубиков цементного раствора

4.4.3 Влияние бактерий на прочность при сжатии фиброармиро-ванного цементного раствора

4.5 Исследование процесса самовосстановления бетона (четвертый этап)

4.5.1 Влияние инициированного бактериями процесса самовосстановления бетона на его сорбционные свойства и водопоглощение

4.5.2 Влияние инициированной бактериями способности к самовосстановлению на быструю проникающую способность хлоридов

4.5.3 Количественная оценка самовосстановления, основанная на изменении прочности на изгиб образца из фиброармированного цементного раствора

4.5.4 Количественная оценка самовосстановления, основанная на скорости ультразвукового импульса

4.5.5 Фотоснимки, наглядно изображающие процесс самовосстановления

4.5.6 Характеристика процесса самовосстановления, основанная на результатах исследования методами растровой электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии

4.5.6.1 Исследование поверхности трещин методами растровой электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии

4.5.6.2 Анализ внутренней области трещины методом растровой электронной микроскопии

4.5.6.3 Свойства микроструктуры матрицы обычного цементного раствора с содержанием бактерий и без них

4.5.7 Исследование образцов цементного раствора методом рентге-ноструктурного анализа

4.6 Исследование эффективности самовосстановления бетонов, модифицированных микробиологической добавкой (пятый этап)

4.6.1 Процесс самовосстановления с точки зрения возобновления прочности на сжатие кубиков из ЕСС-смесей

4.6.2 Процесс самовосстановления с точки зрения возобновления прочности на изгиб ЕСС-смеси

4.6.3 Количественная оценка процесса самовосстановления модифицированного цементного композита на основании измерения скорости ультразвукового импульса

4.6.4 Наглядное представление заживления трещин в ЕСС-материалах

4.6.5 Результаты исследований, выполненных методами растровой электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии

4.6.6 Рентгеноструктурный анализ

4.7 Выводы по главе

5 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СА-МОВОСТАНОВЛЕНИЯ

5.1 Введение

5.2 Моделирование прочности на сжатие образца из обычного цементного раствора с разной концентрацией бактерий

5.2.1 Значимые термины и их определения

5.2.2 Прочность на сжатие, основанная на полнофакторном планировании эксперимента

5.2.3 Регрессионная модель прочности на сжатие

5.2.4 Оценка качества предлагаемой статистической модели

5.2.4.1 Проверка предлагаемой модели с использованием существующих данных

5.2.4.2 Проверка модели с использованием численного примера

5.3 Моделирование процесса самовосстановления образца из фибро-армированного цементного раствора в присутствии инкорпорированных бактерий

5.3.1 Полнофакторное планирование эксперимента

5.3.2 Результаты статистического анализа в случае, когда откликом является значение проникающе способности хлоридов

5.3.2.1 Регрессионная модель средних значений проникающей способности хлоридов

5.3.3 Результаты статистического анализа в случае, когда откликом являются средние значения первичной сорбционной способности

5.3.3.1 Регрессионная модель средней сорбционной способности

5.3.3.2 Результаты статистического анализа в случае, когда откликом является среднее значением скорости ультразвукового импульса

5.3.3.3 Регрессионная модель среднего значения скорости ультразвукового импульса

5.3.4 Результаты статистического анализа в случае, когда отклик представляет среднюю прочность на сжатие

5.3.4.1 Регрессионная модель средней прочности на сжатие

5.3.5 Валидация предлагаемой модели

5.3.5.1 Верификация предлагаемой модели с использованием существующих данных

5.3.5.2 Иллюстрация моделей на числовых примерах

5.4 Выводы по главе

6 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВНЕДРЕНИЯ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

6.1 Рекомендуемые составы самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой для производственного внедрения

6.2 Технологическая схема получения самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой

6.3 Технология приготовления восстанавливающего средства на основе бактерий

6.4 Технология изготовления самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой

6.5 Сведения о внедрении результатов диссертационного исследования

6.6 Технико-экономическая эффективность результатов исследований

6.6.1 Определение суммы затрат на производство самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой

6.6.2 Снижение стоимости самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой за счет использования золы-уноса теплоэлектростанций

6.6.3 Расчет экономического эффекта за счет повышения долговечности железобетонных конструкций из самовосстанавливающихся бетонов, модифицированных микробиологической добавкой

6.7 Выводы по главе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Приложение А

Приложение Б

Приложение В

Приложение Г