

Федеральное государственное бюджетное образовательное
Учреждение высшего образования «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»

ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРОШКОВО- АКТИВИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

ПИКСАЙКИН НИКИТА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Ерофеев Владимир Трофимович



Цель и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является проведение комплексных исследований химического сопротивления и стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред в лабораторных и натуральных условиях. Для ее достижения были поставлены следующие задачи.

- 1. Составить обзор отечественной и зарубежной литературы по долговечности бетона и железобетона в условиях воздействия химических и биологических агрессивных сред, морской воды и различных климатических факторов и выделить направления обеспечения долговечности цементных композитов и изделий на их основе за счет внедрения бетонов с повышенными показателями плотности.
- 2. Обосновать для проведения исследований составы цементных матриц бетонов нового поколения.
- 3. Исследовать влияние комплексных добавок на процессы структурообразования и формирование структуры твердой фазы на различных стадиях гидратации портландцемента и произвести подбор химических, тонкодисперсных и мелкозернистых минеральных компонентов, способствующих увеличению подвижности смеси плотности и прочности порошково-активированного бетона.
- 4. Получить количественные зависимости, определяющие показатели стойкости порошково-активированных бетонов в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред от рецептурных факторов.
- 5. Выполнить анализ влияния рецептурных факторов на структуру и свойства цементных композитов. Установить возможности улучшения физико-механических свойств и долговечности композитов за счет раздельного и совместного введения ультра- и нанодисперсных добавок, супер- и гиперпластификаторов, биоцидных препаратов и ингибирующее действие последних на микромицеты, участвующие в биодеградации.
- 6. Дать предложения по практическому использованию порошково-активированных бетонов нового поколения в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред.

Научная новизна работы

- Исследованы матрицы бетонов нового поколения, включающих в рецептуры: цемент, молотый наполнитель, пластификатор, воду и биоцидную добавку (матрица первого рода); цемент, молотый наполнитель, пластификатор, воду, биоцидную добавку, тонкий наполнитель фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм (матрица второго рода); матрицу первого или второго рода, включающую мелкий наполнитель фракции 1,0–5,0 мм или 0,63–5,0 мм (матрица третьего рода).
- Установлено влияние химических добавок на структуры и количественные зависимости ее изменения, физико-механических свойств и долговечности цементных композитов различного рода в зависимости от рецептурных и агрессивных факторов.
- Выявлен механизм действия супер- и гиперпластификаторов, ультра- и нанодисперсных систем, химических добавок в сочетании с минеральными наполнителями и заполнителями на изменение структуры и состава, а также на свойства цементного камня и бетонов.
- Доказано, что введение в состав бетона пластифицирующих, химических и нанодобавок приводит к увеличению сопротивления химико-биологических и климатических средах.

Положения, выносимые на защиты

- Новые данные и закономерности влияния комплексных добавок на модификацию структуры в различных условиях твердения и после воздействия химико-биологических и климатических сред.
- Результаты исследований эффективности модифицирующих добавок, включающих супер- и гиперпластификаторы, ультра- и нанодисперсные системы, химические добавки и минеральные наполнители и заполнители, их оптимального содержания в цементных композитах.
- Рациональные рецептуры цементных композитов с улучшенными показателями физико-механических свойств, химико-биологической и климатической стойкости.

Теоретические аспекты проблемы

- Согласно литературным данным примерно 75 % строительных конструкций в мире подвержено разрушающему воздействию агрессивных сред, а продление срока эксплуатации конструкций на 5 лет дает возможность экономии порядка 20 млрд. руб. ежегодно.
- Долговечность бетонных и железобетонных конструкций определяется
- Во-первых, условиями внешней среды, т.е. климатом, составом воздуха, воды и грунта, а также особенностями контакта между внешней средой и наружными поверхностями конструкции.
- Во-вторых, в процессе эксплуатации строительные материалы и изделия в зданиях и сооружениях могут подвергаться негативному воздействию различных технологических факторов.
- Одной из агрессивных сред, вызывающих коррозию материалов, является химико-биологическая, которая усиливается при определенных климатических условиях.

Составы для испытаний

| Компоненты | Содержание массовых частей в составах | | | | | | |
|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Портландцемент (ульяновский) | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Гиперпластификатор Melflux | - | - | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 0,009 | - |
| Каменная мука (микрокварц) | - | - | - | 1,100 | 0,750 | - | - |
| Микрокремнезем | - | - | - | - | 0,120 | - | - |
| Кварцевый наполнитель фракции 0-0,63 мм | - | - | - | 2,753 | 1,775 | 2,065 | - |
| Кварцевый наполнитель фракции 0,630,25 мм | - | - | - | 2,347 | 1,875 | 1,760 | - |
| Биоцидная добавка (Тефлекс) | - | - | - | - | - | - | 0,150 |
| Вода | 0,267 | 0,350 | 0,171 | 0,600 | 0,475 | 0,525 | 0,267 |

Физико-технические свойства цементных композитов по результатам испытаний

| Свойства | | Показатели для составов | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | T17 | T18 | T19 |
| Плотность ρ , кг/м ³ | | 2090 | 1885 | 2276 | 2300 | 2270 | 2100 | 2028 | 1835 | 2337 |
| Прочность при сжатии R_b , МПа | | 56,4 | 52,6 | 133,0 | 67,1 | 110,0 | 32,5 | 59,5 | 58,3 | 131,0 |
| Прочность при раскалывании R_{pp} , МПа | | 2,72 | 3,17 | 5,83 | 4,68 | 6,42 | 2,42 | 5,39 | 3,3 | – |
| Прочность при изгибе R_{bt} , МПа | | 8,7 | 4,0 | 11,2 | 9,87 | 12,75 | 6,02 | 13,1 | 16,5 | 32,5 |
| Пористость P , % | | 16,71 | 19,18 | 12,52 | 11,23 | 8,99 | 9,79 | 10,8 | 12,28 | 20,42 |
| Демпфирующие свойства (логарифмический декремент колебаний) δ | | 0,181 | 0,178 | 0,072 | 0,119 | 0,172 | 0,082 | 0,232 | 0,148 | 0,175 |
| Ударная прочность | Максимальная контактная сила F , Н | 2073 | 1866 | 1672 | 3808 | 4530 | 2724 | – | 1735 | – |
| | Продолжительность контакта t , мс | 0,17 | 0,11 | 0,08 | 0,21 | 0,25 | 0,24 | – | 0,38 | – |
| | Импульс силы S , Н·м | 81,1 | 57,2 | 38,1 | 200,1 | 177,9 | 56,8 | – | 165,7 | – |
| Трещино стойкость | Удельные энергозатраты G_F , Дж/м ² | 558,3 | 46,3 | 150,6 | 127,0 | 149,4 | 60,1 | 146,0 | 66,5 | – |
| | Джей-интеграл J_i , Дж | 34,2 | 3,76 | 42,19 | 25,8 | 45,5 | 7,9 | 17,4 | 11,3 | – |
| | Интенсивность напряжения K_i , МПа·м ^{0,5} | 1,60 | 1,12 | 1,15 | 0,63 | 1,27 | 0,49 | 0,77 | 0,69 | – |

Результаты испытаний

- Введение тонкодисперсного кварца в состав песчаного бетона привело к повышению таких его прочностных показателей, как прочность на сжатие, при изгибе и на растяжение при раскалывании от 1,62 до 2,55 раз, что объясняется повышением плотности упаковки кварцевого заполнителя и подтверждается увеличением плотности таких образцов на 9,5 %.
- Отмечается положительный вклад в рост прочности микрокремнезема, имеющего более активную поверхность, чем у микрокварца.
- Использование тонкодисперсного кварца повлияло и на характер деформирования образцов – повысилась их упругость от 1,3 до 1,7 раз, но при этом на 20 % снизилась величина предельных деформаций.
- Добавление в состав микрокварца и особенно микрокварца с микрокремнеземом приводит к существенному увеличению демпфирующих свойств цементных композитов.
- Высокие показатели максимальной контактной силы, продолжительности контакта и величины импульса показали пластифицированные высоконаполненные составы нового поколения.
- Незначительное снижение ударной прочности цементного камня произошло с различными химическими препаратами: Тефлекс «Дезинфекант», Тефлекс «Универсальный», «Ультрадез-Био», Тефлекс «Антиплесень».

Итоги выполненного задания

Используя физический эксперимент и математическое моделирование, исследованы структура, прочность и долговечность бетонов нового поколения как со специальными реакционно- и реологически-активными нанометрическими добавками (каменная мука, микрокремнезем и др.), так и с малодефицитными карбонатно-кварцевыми наполнителями с микрометрическим и миллиметровым диапазоном дисперсности и зернистости

Результаты комплексной идентификации строения, физико-механических свойств и долговечности показали, что модифицированная плотная структура принципиально отличается от немодифицированной: объем пор сокращается на 25,8–36 %; в структуре преобладают гидросиликаты кальция типа CSH(I) преимущественно скрытокристаллической формы с размером глобуловидных частиц 100–300 нм; в зависимости от вида пластификатора, наполнителя, биоцидной и нанодобавки прочность материалов варьирует в среднем в пределах 50–130 МПа при сжатии, 8–30 МПа при изгибе, 2,5–6,3 МПа при раскалывании.

Итоги выполненного задания

Выявлено влияние рецептурных факторов на упруго-прочностные свойства композитов при статических и динамических нагрузках:

снижение В/Ц приводит к более упругому поведению материала под нагрузкой, значимому (в 4–5 раз) удлинению ниспадающей ветви полной равновесной диаграммы деформирования цементного камня и изменению механизма разрушения материала: при В/Ц 0,267 через формирование магистральной трещины на ранних стадиях нагружения и ее последующее развитие вплоть до расчленения образца, а при В/Ц 0,350 – через образование блочной структуры с последующим закрытием поперечных блочных трещин и слиянием продольных в магистральную трещину;

применение гиперпластификатора «Melflux 1641 F» значительно снизило водоцементное отношение (с 1,56 до 2,04) и способствовало повышению прочностных свойств: на сжатие – с 1,20 до 1,72 раза, на растяжение при раскалывании – с 1,66 до 2,13 раза и на изгиб – в 2,91 раза.

результаты исследования по структурообразованию доказывают улучшение физико-механических характеристик цементных композитов нового поколения относительно старого и переходного видов.

Итоги выполненного задания

С помощью физико-механических, математических и компьютерных технологий изучено поведение образцов цементных композитов в процессе экспонирования в лабораторных условиях при воздействии температурно-влажностных сред. В результате проведенных исследований получены количественные зависимости стойкости композитов от водоцементного отношения, вида и содержания гиперпластификаторов, фунгицидных препаратов, каменной муки, микрокремнезема, кварцевых наполнителей и мелких заполнителей. Сравнительные исследования показали высокие показатели стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения.

В результате проведенных исследований по оценке значений минимальной ингибирующей концентрации на примере препарата Teflex по отношению к ряду плесневых грибов активных биодеструкторов строительных материалов показали, что фунгицидный эффект данного соединения зависит от вида грибов. Так, например, гриб *Aspergillus niger* проявлял достаточно высокую устойчивость, что объясняется неодинаковыми физиолого-биохимическими особенностями грибов. Поэтому знание видового состава микроорганизмов-биодеструкторов позволит наиболее оптимально подобрать биоцидную добавку к строительным материалам, предотвращающую процесс их биоповреждений.

С использованием физико-химических методов, а также физико-механических испытаний (оценка упругопрочностных свойств при статическом и динамическом нагружении), химико-биологических исследований, оценки в лабораторных условиях грибостойкости и фунгицидности, изменения стойкости материалов в химических и биологических средах, математических методов оптимизации (реализация плана Шеффе) разработаны бетоны и другие цементные композиты нового поколения, обладающие высокими показателями прочности, плотности, стойкие в температурно-влажностных и биологических средах.

Спасибо за внимание!