**Володин Владимир Владимирович. Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны с модификаторами на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»], 2023**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский**

**государственный университет им. Н.П. Огарёва»**

**ВОЛОДИН ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ**

**САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ**

**С МОДИФИКАТОРАМИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКТИВИРОВАННЫХ**

**ГЛИНИСТЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД**

**2.1.5. Строительные материалы и изделия**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Низина Татьяна Анатольевна**

**Саранск 2023**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 6**

**ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МО-ДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ 15**

**1.1 Процессы гидратации, структурообразования и твердения цемент¬ных систем 15**

**1.2 Виды модификаторов цементных бетонов. Классификация и функ¬циональное назначение 18**

**1.3 Опыт и перспективы применения термоактивированных глин в це¬ментных композитах и бетонах на их основе 22**

**1.4 Анализ минерально-сырьевой базы Республики Мордовия 28**

**1.5 Выводы по главе 1 30**

**ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 33**

**2.1 Применяемые материалы и их свойства 33**

**2.2 Методы исследований и применяемое оборудование 39**

**2.3 Планирование эксперимента и статистический анализ результатов 46**

**ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПО¬ЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОБАВКАМИ ТЕРМОАКТИ¬ВИРОВАННЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД . . 49**

**3.1 Анализ химического и минерального состава полиминеральных**

**глин Республики Мордовия 49**

**3.2 Влияние технологических параметров на показатели минеральных**

**добавок, получаемых на основе термоактивированных полиминеральных глинистых пород Никитского и Старошайговского месторождений 55**

**3.2.1 Влияние длительности помола на величину удельной поверхно¬сти порошков глин 55**

**3.2.2 Исследование физико-химических процессов, протекающих при**

**термообработке глин 56**

**3.2.3 Анализ гранулометрического состава порошков термоактивиро¬ванных глин 58**

**3.2.4 Водопотребность и водоудерживающая способность цементного теста с добавками термоактивированных глин 60**

**3.3 Оценка изменения пуццолановых свойств глинистых пород Старо-**

**шайговского месторождения в зависимости от режима термической ак¬тивации 62**

**3.3.1 Исследование физико-механических свойств модифицирован¬**

**ного цементного камня с минеральными добавками на основе термоакти¬вированной Старошайговской глины 62**

**3.3.2 Оптимизация режимов термообработки глинистых пород Старо-**

**шайговского месторождения для получения смешанных цементных вя¬жущих с комплексом улучшенных свойств 78**

**3.4 Исследование активности смешанного цементного вяжущего с до¬**

**бавками глин Никитского и Старошайговского месторождений после термической обработки 92**

**3.5 Индекс активности минеральных добавок на основе полиминераль¬ных глин Республики Мордовия после термической обработки 95**

**3.6 Выводы по главе 3 98**

**ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК КАРБОНАТ¬НЫХ ПОРОД, ТЕРМОАКТИВИРОВАННЫХ ГЛИН И ТЕРМОАК-ТИВИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ ГЛИН И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД**

**НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ 101**

**4.1 Влияние технологических параметров получения минеральных до¬бавок на основе карбонатных пород 101**

**4.1.1 Анализ химического и минерального состава карбонатных пород**

**Республики Мордовия 102**

**4.1.2 Влияние длительности помола на величину удельной поверхно¬сти порошков карбонатных пород 104**

**4.1.3 Водопотребность и водоотделение цементного теста с минераль¬ными добавками на основе карбонатных пород 105**

**4.1.4 Анализ гранулометрического состава порошков карбонатных по¬род с учетом принятой длительности помола 106**

**4.1.5 Исследование физико-химических процессов, протекающих при**

**термообработке карбонатных пород 108**

**4.1.6 Активность цементного вяжущего с минеральными добавками на основе карбонатных пород 109**

**4.2 Анализ технологических параметров получения активных мине¬ральных добавок на основе термоактивированных смесей глинистых и карбонатных пород 110**

**4.2.1 Влияние температуры обжига смесей глинистых и карбонатных**

**пород на активность смешанного цементного вяжущего 110**

**4.2.2 Исследование физико-химических процессов, протекающих при**

**совместной термообработке смесей глинистых и карбонатных пород . . . 112**

**4.2.3 Активность смесей полиминеральных глин и известняка Атемар-**

**ского месторождения Республики Мордовия после термической обра¬ботки 115**

**4.3 Исследование физико-химической и реотехнологической эффек¬**

**тивности цементных систем с минеральными добавками на основе гли¬нистых и карбонатных пород 116**

**4.3.1 Отбор пластифицирующих добавок для разработки самоуплотня¬ющихся мелкозернистых бетонных смесей 116**

**4.3.2 Исследование кинетики ранних стадий твердения цементных си¬**

**стем с минеральными добавками на основе термоактивированных глини¬стых и карбонатных пород 118**

**4.3.3 Влияние водотвердого отношения и дозировок суперпластифика¬**

**тора на подвижность цементного теста с минеральными добавками на ос¬нове глинистых и карбонатных пород 121**

**4.3.4 Влияние дозировок минеральных добавок на основе глинистых и**

**карбонатных пород на подвижность цементного теста и физико-механи¬ческие свойства цементного камня 126**

**4.3.5 Фазовый состав цементного камня с минеральными добавками на**

**основе глинистых и карбонатных пород 133**

**4.4 Исследование сульфатостойкости цементных бетонов, модифици-рованных минеральными добавками на основе глинистых и карбонатных пород 141**

**4.5 Определение оптимального содержания добавок на основе термо¬**

**активированных глин и термоактивированных смесей глин и карбонат¬ных пород в составе смешанного цементного вяжущего 153**

**4.6 Выводы по главе 4 154**

**ГЛАВА 5. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САМОУПЛОТ-НЯЮЩИХСЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ, МО-ДИФИЦИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОС¬НОВЕ ГЛИНИСТЫХ И КАРБОНАТНЫХ ПОРОД 157**

**5.1 Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетонные смеси, модифици¬**

**рованных минеральными добавками ТГН и ТС(ГН+ИА), и бетоны на их основе 157**

**5.2 Исследование характеристик трещиностойкости (вязкости разру¬**

**шения) мелкозернистых бетонов, модифицированных минеральными до¬бавками ТГН и ТС(ГН+ИА) 170**

**5.3 Водонепроницаемость мелкозернистых бетонов, модифицирован¬ных минеральными добавками ТГН и ТС(ГН+ИА) 179**

**5.4 Технологическая схема производства минеральных добавок на ос¬**

**нове глинистых и карбонатных пород и самоуплотняющихся мелкозер¬нистых бетонных смесей на их основе 181**

**5.5 Технико-экономическая эффективность внедрения минеральных**

**добавок ТГН и ТС(ГН+ИА) 183**

**5.6 Выводы по главе 5 186**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 188**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 191**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акты опытно-производственного апробирования . . 219**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Справка о внедрении результатов диссертационной**

**работы в учебный процессе 221**

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Полные равновесные диаграммы деформирования**

**мелкозернистых цементных бетонов 223**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Патент РФ на изобретение 228**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

* Разработано научно обоснованное технологическое решение, обеспечи­вающее получение самоуплотняющихся бетонных смесей, модифицированных минеральными добавками на основе термоактивированных полиминеральных глин, а также комплексов глинистых и карбонатных пород, позволяющее полу­чать мелкозернистые цементные бетоны класса по прочности не ниже В50 при использовании мелких природных песков.
* Проведён анализ минерально-сырьевой базы Республики Мордовия. Установлено, что глинистые породы Республики Мордовия являются полими­неральными - фазовый состав представлен преимущественно минералами ил- литовой (гидрослюды) и каолинитовой групп, модификациями кварца, поле­выми шпатами. Минералогический состав карбонатной породы Атемарского месторождения представлен преимущественно кальцитом с незначительными включениями кварца. Карбонатная порода Ельниковского месторождения явля­ется доломитом известковым, состоящим из минералов доломита и кальцита практически в равной пропорции.
* Исследовано влияние минералогического состава, режимов помола и термоактивации отобранных пород на особенности гидратации, структурообра­зования и формирования свойств цементных композитов. Установлено, что ми­неральные добавки на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород способствуют снижению в фазовом составе цементного камня высокоос­новных гидросиликатов кальция и портландита (на 6^41 и 25^27 % соответ­ственно), при этом повышая содержание низкоосновных гидросиликатов каль­ция в 2,4^2,6 раза.
* Установлены механизмы влияния индивидуальных и комплексных до­бавок на основе термоактивированных полиминеральных глин и карбонатных пород на кинетику ранних стадий твердения пластифицированных и непласти­фицированных цементных систем, реотехнологические характеристики це­ментного теста, фазовый состав и физико-механические свойства цементного

камня. Выявлено, что получение активных минеральных добавок (—Мд ^

100 %) на основе полиминеральных глинистых пород возможно при концен­трации каолинита в фазовом составе глин не менее 18 масс. %. Введение в со­став цементного вяжущего минеральных добавок ТГН и ТГС способствует сни­жению сроков схватывания на 25^30 (начало) и 15^20 (конец) минут, что объ­ясняется наличием реакционноспособных минералов в фазовом составе иссле­дуемых глин, способствующих интенсифицировать процессов гидратации на ранних стадиях твердения цементных систем. Введение МД, получаемых на ос­нове карбонатных пород (ДЕ и ИА), в состав цементных вяжущих также позво­ляет сократить сроки схватывания цементного теста, что обусловлено способ­ностью кальцита являться центром кристаллизации новообразований.

* Проведена оптимизация параметров обжига (температура, длитель­ность) полиминеральных глин, состава и параметров термоактивации смесей глин и карбонатных пород по влиянию добавок на их основе на активность сме­шанного цементного вяжущего, осуществлен отбор наиболее эффективных ми­неральных модификаторов. Выявлен наиболее оптимальный режим получения активных минеральных добавок на основе термоактивированных полимине­ральных глин, а также комплексов глинистых и карбонатных пород - 700 оС с экзотермической выдержкой в течение двух часов. Установлено, что для обес­печения прочностных показателей модифицированного камня не ниже бездо- бавочного состава дозировка разработанных активных минеральных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА) не должна превышать, соответственно, 18 и 11 % от массы вяжущего.
* Установлено, что смешанное цементное вяжущее с добавками ТГН и ТС(ГН+ИА), согласно классификации ГОСТ Р 56687-2015, является умеренно сульфатостойким.
* Разработаны составы самоуплотняющихся бетонных смесей, модифици­рованные минеральными добавками на основе термоактивированных глинистых и карбонатных пород (9,1^19,6 % ТГН; 10,7^16,3 % ТС(ГН+ИА) от массы сме­шанного вяжущего) и поликарбоксилатного пластификатора (1,0 % от массы вя­жущего), обеспечивающих получение мелкозернистых бетонов с классом по прочности не ниже В50 при использовании мелких природных песков (модуль крупности Мкр=1,8).
* Определены показатели трещиностойкости разработанных мелкозерни­стых бетонов, модифицированных минеральными добавками на основе термоак­тивированных глинистых и карбонатных пород. Установлено повышение на 20^38, 10^30 и 9^25 % энергетических характеристик трещиностойкости (соот­ветственно, удельных энергозатрат на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины, статического джей-интеграла и ста­тического критического коэффициента интенсивности напряжений) модифици­рованных мелкозернистых бетонов при увеличении расхода вяжущего за счет введения в состав минеральных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА).
* Результаты диссертационного исследования апробированы в ООО «Спец- СтройБетон» и ООО «СтройБетон» при устройстве бетонных монолитных по­крытий полов складских помещений. Определена экономическая эффективность разработанных добавок ТГН и ТС(ГН+ИА) в составе самоуплотняющихся бетон­ных смесей, составившая (при обеспечении равного расхода вяжущего и близкой прочности бетонов на их основе при сжатии (класс В50)), соответственно, 729 и 720 руб./м3.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие исследования целесообразно продолжить в направлении раз­работки составов высокопрочных бетонов (класс бетона по прочности выше В60), модифицированных добавками на основе термоактивированных глини­стых и карбонатных пород, при использовании мелких природных песков Рес­публики Мордовия и других регионов России.