**Филимонова Юлия Сергеевна. Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным модификатором для гидромелиоративного строительства;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»], 2023**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**На правах рукописи**

**Филимонова Юлия Сергеевна**

**ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО С**

**КОМПЛЕКСНЫМ МОДИФИКАТОРОМ ДЛЯ**

**ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**2.1.5. Строительные материалы и изделия**

**Диссертация**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Ткач Евгения Владимировна**

**Москва - 2023**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 5**

**ГЛАВА 1 Состояние вопроса и задачи исследования 12**

**1.1 Анализ производства и применения бетонов для гидротехнического**

**строительства 12**

**1.2 Управление внутренней структурой вяжущих материалов как системы**

**топологического беспорядка 17**

**1.3 Использование модификаторов для повышения качества структуры и**

**свойств тяжелого бетона 25**

**1.3.1 Добавки, регулирующие свойства бетонных смесей и их применение в**

**цементных системах 27**

**1.3.2 Опыт применения добавок-полимеров в цементные бетоны 41**

**1.3.3 Предпосылки использования микрокремнезема для улучшения**

**коррозионной стойкости цементных материалов 43**

**Выводы по главе 1 47**

**ГЛАВА 2 Характеристика исходных материалов и методы исследования .... 49**

**2.1 Методы исследований 49**

**2.1.1 Получение тонкодисперсных фракций клинкерного компонента 51**

**2.1.2 Моделирование упаковок зернистых систем и расчет оптимальной**

**гранулометрии 53**

**2.1.3 Рентгенофазовый анализ 54**

**2.1.4 Исследование физико-механических характеристик бетонных образцов54**

**2.1.5 Определение морозостойкости бетона 59**

**2.1.6 Определение водопоглощения, водонепроницаемости и пористости**

**бетона 60**

**2.1.7 Определение коррозионной стойкости бетонных образцов 62**

**2.2 Характеристики исходных материалов 64**

**2.2.1 Гидравлическое вяжущее вещество 64**

**2.2.2 Крупный и мелкий заполнитель 67**

**2.2.3 Вода затворения 68**

**2.2.4 Суперпластифицирующая добавка «Melflux 5581 F» 68**

**2.2.5 Полимерная добавка «Полидон-А» 69**

**2.2.6 Микрокремнезем МКУ-95 69**

**2.2.7 Микроармирующий компонент в виде базальтового волокна 72**

**ГЛАВА 3 Теоретические основы и предпосылки для разработки предварительного состава модифицированного тяжелого бетона на основе**

**полидисперсного вяжущего с полимерно-минеральным модификатором 73**

**3.1 Предпосылки модифицирования тяжелого бетона 73**

**3.2 Разработка предварительного состава модифицированного тяжелого бетона**

**на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором 76**

**3.3 Определение оптимального состава цементного вяжущего различной**

**дисперсности с применением программно-расчетного комплекса на основе метода «Drop and Roll» 80**

**3.4 Построение ортогонального центрального планирования второго порядка с целью подбора оптимального состава модифицированного тяжелого бетона .. 87**

**Выводы по главе 3 91**

**ГЛАВА 4 Исследования влияния комплексного модификатора на свойства модифицированного тяжелого бетона 93**

**4.1 Рентгенофазовый и микроструктурный анализы продуктов гидратации**

**цементного камня в присутствии суперпластификатора, полимера и микрокремнезема 93**

**4.2 Исследуемые составы модифицированного тяжелого бетона с учетом**

**расхода и подбора сырьевых материалов 101**

**4.3 Технологические свойства разработанных бетонных смесей 102**

**4.4 Физико-механические свойства разработанного модифицированного**

**тяжелого бетона 104**

**4.4.1 Прочность на сжатие 104**

**4.4.2 Прочность бетона на растяжение при изгибе 106**

**4.4.3 Трещиностойкость 108**

**4.5 Гидрофизические показатели модифицированного тяжелого бетона 113**

**4.6 Коррозионная стойкость 117**

**Выводы по главе 4 120**

**ГЛАВА 5 Опытно-производственные работы по внедрению тяжелого модифицированного бетона в технологию железобетонных лотков оросительных систем 123**

**5.1 Техническая эффективность и эксплуатационные свойства тяжелого**

**модифицировнного бетона на основе полидисперсного вяжущего с комплексным модификатором 123**

**5.2 Экономическая эффективность применения разработанного состава**

**тяжелого бетона, модифицированного комплексной добавкой 127**

**5.3 Опытное апробирование эффективного модифицированного тяжелого**

**бетона для производства железобетонных лотков оросительных систем 131**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 135**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 138**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТУ 236112-016-80769602-2023 «Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным модификатором для производства**

**железобетонных лотков оросительных систем» 157**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Свидетельство о государственной регистрации базы**

**данных 167**

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акт о внедрении результатов исследований 168**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Итоги выполненного исследования:**

1. Обосновано и экспериментально доказано создание структуры тяжелого

бетона высокой плотности, рационально сочетающего необходимые технологические и эксплуатационные характеристики, путем оптимизации состава цементного вяжущего различной дисперсности с комплексным модификатором (суперпластификатор+полимер+микрокремнезем)+базальтовое волокно. Полученный модифицированный бетон обладает следующими показателями: предел прочности на сжатие - 77,3 МПа; предел прочности на растяжение при изгибе - 8,62 МПа; условный коэффициент интенсивности напряжений - 0,074169 МПа^м0,5, водопоглощение - 1,9%; марка по

водонепроницаемости - W14; морозостойкость F1=600, повышенная стойкость к агрессивным средам.

1. С помощью программно-расчетного комплекса, основанного на использовании алгоритма «Drop and Roll», определен оптимальный состав цементного вяжущего различной дисперсности с высокой плотностью упаковки следующего состава: 15% частиц - со средним диаметром dср = 12 мкм и удельной поверхностью S^ =150 м2/кг; 75% - d^ = 6,6 мкм, Syд = 300м2/кг; 10% - d^= 4,9 мкм, S^ = 450 м2/кг.
2. При помощи методов математического планирования эксперимента и регрессионного анализа установлен оптимальный состав модифицированного тяжелого бетона. Определены оптимальные дозировки Полидон-А - 0,2% и базальтового волокна - 0,7% от массы вяжущего, при которых R^ = 77,3МПа, КС = 0,074МПахм05, Wm = 1,9%.
3. Рентгенофазовый анализ показал, что в составе ПВ+

(0,3%МеШих+0,2%Полидон-А+15%микрокремнезем) снизилось содержание

основных клинкерных минералов, количество Са(ОН)2 уменьшилось более чем на 26% за счет протекания пуццолановой реакции, а степень гидратации увеличилась до 62% в сравнении с контрольным. При испытании цементного камня в возрасте 6 месяцев наблюдалось увеличение степени гидратации до 82%.

1. С помощью микроструктурного анализа, исследован модифицированный цементный камень ПВ+(0,30/оМеШих+0,20/оПолидон-А+150/оМК). Установлена плотная упорядоченная структура с размерами кристаллов от 60 до 75 нм и скоплением игольчатых кристаллов эттрингита в зоне образования микропор от 0,1 до 0,6 мкм.
2. Установлено увеличение прочностных показателей: на сжатие в составе

ПВ+(0,30/оМеШих+0,20/оПолидон-А+150/оМК) на 47,9% относительно

контрольного (ПЦ+0,3о/оМеШих) и на 19,5/ относительно состава

(ПВ+0,3%МеШих), что составляет в абсолютном выражении на 24 и 12,1 МПа соответственно. Показатель Rtb повысился у состава бетона с базальтовым волокном на 49,1/ в сравнении с контрольным и на 11,5/ в сравнении с составом (без фибры). Повысились показатели максимальной нагрузки на 40,92/ и условного коэффициента интенсивности напряжений на 40,60/, напряжение при изгибе на 35,1/ в сравнении с контрольным.

1. Установлено улучшение гидрофизических свойств модифицированного

бетона: показатель водопоглощения снизился на - 57,8/; марка по

водонепроницаемости повысилась на 4 ступени нагружения в сравнении с контрольным составом. При 600 циклов испытания на морозостойкость потеря массы составила 1,5-1,8/ и снижение прочности на 9,1/ -10,2%.

1. При выдерживании образцов модифицированного бетона в 3/ растворе NaCl потеря массы Лтср составила - 0,090/, прочности на сжатие ЛRср - 0,146%, при изгибе ARtb~ 0,132/ соответственно. При выдерживании в растворе соляной кислоты 0,01% HCl наблюдалось уменьшение снижения потери средней массы Лтср - на 45,7/, предела прочности на сжатие ЛRср - на 56,3/; растяжение при изгибе ЛRtb - на 65,9/, в сравнении с контрольным составом. Исследования по коррозии выщелачивания показали следующие результаты изменений - уменьшение снижения: Лтср - на 21,2/, ЛRCp - на 47,5/; ЛRtb - на 48,4/, в сравнении с контрольным составом соответственно. При выдерживании в 5/ растворе (Na2SO4) наблюдалось увеличение прироста массы Лтср - на 66,6/, при этом повысились ARcp, - на 60,6% и ARtb - на 87,6% относительно контрольного состава.
2. Проведено опытно-производственное апробирование предлагаемых решений. Выпущена опытная партия водоотводных лотков серии GRENT MegaT 500 в количестве 220 штук и лотков оросительных систем ЛР-6 в количестве 200 штук. Экономический эффект от применения модифицированного бетона на 1 м3 составил « 394 руб.

**Перспективы и рекомендации дальнейшей разработки темы диссертации** заключаются в совершенствовании состава модифицированного тяжелого бетона основе полидисперсного вяжущего с комплексным модификатором путем поиска новых видов модификаторов и микроармирующих наполнителей с целью снижения себестоимости продукции и исследовании возможностей его применения в гидротехнических сооружениях зоны переменного уровня воды.