
МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 666.972.16

В. О. МОМОТ*

* Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (050) 500 89 75, ел. пошта arnik2004@mail.ru

ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Мета. Структура бетонної суміші, починаючи з процесу її перемішування, знаходиться у постійному розвитку. Головними умовами управління процесом змішування є максимально можлива дезагломерація часток, зниження в'язкості суміші й підвищення її однорідності. **Методика.** Виконані експериментальні дослідження структури цементно-піщаного розчину підвищеної рухливості для трубопровідного транспорту. **Результати.** Досліджено особливості структуроутворення цементного каменю з мікронаповнювачем і пластифікуючими добавками в умовах підводного твердіння. На основі аналізу проведених досліджень встановлено, що отримання гідротехнічного бетону із заданими властивостями можливо в результаті застосування спеціальної технології бетонування з використанням високорухливого цементно-піщаного розчину, наповненого активним мікронаповнювачем в комплексі з модифікованим для умов підводного застосування пластифікатором. **Наукова новизна.** Експериментально підтверджена ефективність використання високо рухливого цементно-піщаного розчину для ін'єктування міжзернових просторів крупного заповнювача при підводному бетонуванні. **Практична значимість.** Проведені дослідження структури підводного бетону й обґрунтована технологія ін'єкційного методу підводного бетонування.

Ключові слова: хімічні добавки; суперпластифікатори; високорухливі суміші; міцність; підводні бетони; модифікатор; наповнювач; ін'єктування

Вступ

Основним завданням в області будівництва є створення і впровадження прогресивних технологій. При цьому повинно бути значно поліпшені якість робіт, підвищена продуктивність праці, понижені витрати цементу.

Мета

Забезпечити високу якість гідротехнічних бетонних конструкцій і споруд можливо в результаті комплексу заходів: призначення оптимального складу бетонної суміші з метою досягнення необхідних її технологічних властивостей і фізико-механічних характеристик затверділого бетону, належної організації виробництва робіт і використання обґрунтованих технологічних прийомів приготування, транспортування, укладання бетонної суміші і догляду за гідротехнічним бетоном. В даний час ці питання залишаються відкритими і потрібне рішення даної проблеми при зведенні підводних споруд.

Методика

Методи визначення складу гідротехнічного бетону базуються на фундаментальних дослідженнях зв'язків між характеристиками і співвідношеннями складових його матеріалів, з одного боку, і властивостями бетонної суміші і затверділого гідротехнічного бетону – з іншою [1].

Проектування складу бетону для підводних робіт починається з вибору оптимального складу цементно-піщаного розчину, призначеного для трубопровідного транспорту до місця формування підводної конструкції. Залежно від дальності транспортування, діаметру подаючої труби і типу перекачувального пристрою рухливість розчину повинна знаходитися в межах 12...16 см (по зануренню конуса БУДЦНДЛ).

Основною технологічною характеристикою бетонної суміші при трубопровідному транспортуванні є її консистенція. Для такого способу транспортування звичайно застосовують високорухливі бетонні суміші. Консистенція бетонної суміші повинна забезпечувати надійність

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

транспортування і можливість укладання її в опалубку підводної конструкції. Тому консистентцію слід призначати з урахуванням умов бетонування і форми конструкції [2-6].

Управління технологічними властивостями бетонних сумішей для підводних робіт в основному здійснюється застосуванням різних хімічних добавок і їх комплексів і композицій.

Для отримання бетонів із заданими технологічними властивостями необхідне встановлення закономірностей в регулюванні параметрів цементних систем на стадії взаємодії цементу з водою. Хімічні процеси, визначальні ці властивості, обумовлені, в основному, молекулярними силами, що діють на межі розділу фаз. Вказані взаємодії формують такі властивості дисперсних систем, як в'язкість, пептизація, гранична змащувальна дія, коагуляція, структуроутворення та інші.

Характерними явищами в дисперсних системах є створення і розвиток просторових структур. У основі їх лежить термодинамічна нестійкість мікрогетерогенних дисперсних систем як наслідок надмірної вільної енергії розвинених міжфазних поверхонь розділу. Взаємодія мікрооб'єктів в значній мірі визначає протікання процесів пептизації, коагуляції, структуроутворення. Можливість управління цими процесами лежить в основі направленої зміни в'язкості цементно-водних систем, регулювання таких важливих технологічних властивостей гідротехнічних бетонів, як розрідження і збереження рухливості в часі, розшарування і водовідділення.

В даний час робота в області фізико-хімічних поверхневих явищ і теорії контактних взаємодій направлена на дослідження особливості структуроутворення цементного каменя з мікронаповнювачем і пластифікуючими добавками в умовах підводного твердіння.

Для прийнятих високорухливих бетонних сумішей необхідне застосування комплексних поліфункціональних добавок. Найважливішими з них є:

- високий пластифікуючий ефект;
- надійна здатність до стабілізації.

Перший пункт забезпечує збільшення рухливості суміші, другий – надає властивості нерозшарувальності.

У якості поліфункціональної добавки прийняті суперпластифікатор С-3 (Росія) + мікронаповнювач, суміш пластифікатора ПФМ-БС, модифікування якого проведене д.т.н. М.Ш. Файнером (Україна) і мікронаповнювача, а також суміш комплексної добавки ПК з мікронаповнювачем.

У якості мікронаповнювачів композицій в дослідженнях використовувалися: андезитова мука, мелений кварцовий пісок і пил газоочищення виробництва феросиліцію.

Основні характеристики модифікованого пластифікатора ПФМ-БС приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика модифікованого пластифікатора ПФМ-БС

Компонент	Вміст, %
Суха речовина	37,6
Зола сірчанокисла	48,4
Азот загальний	2,6
Бетаїн	3,9
Гліцерин	0,42
Карбонові кислоти	1,31
Нафталін формальдегідний олігомер	4,41
Щільність робочого розчину 10 % концентрації	1,05 г/см ³

Суперпластифікатор С-3 – продукт, що одержується при багатостадійному синтезі. Основу суперпластифікатора С-3 складають натрієві солі продукту конденсації нафталінсульфо кислоти і формальдегіду. Екологічно нешкідливий, відноситься до 3 класу небезпеки. Випускається у вигляді порошку світло-коричневого кольору, повністю розчинного у воді, не змінює своїх властивостей в сухому вигляді при температурі від +85 °С до –40 °С з подальшим повним відтаванням, пожежо- і вибухобезпечний.

Основні технічні характеристики суперпластифікатора С-3 приведені в табл. 2.

Модифікована добавка ПК є побічним продуктом виробництва смол карбомідформальдегідів, які достатньо широко випускаються хімічними заводами України. Має пластифікуючі властивості.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 2

Технічні характеристики суперпластифікатора С-3

Найменування параметра	Показник (норма)
Зовнішній вигляд	Порошок світло-коричневого кольору
Масова частка активної речовини в перерахунку на сухий продукт, % не менше	69
Масова частка води, % не більше	10
Масова частка золи в перерахунку на сухий продукт, % не більше	38
Показник активності водневих іонів (РН) водного розчину з масовою часткою речовини 2,5 %	7...9

Основні характеристики пластифікатора ПК приведені табл. 3.

Таблиця 3

Основні характеристики пластифікатора ПК

Показник	Величина
Щільність, г/см ³	1,230
Масова доля, %: Сухого залишку, не менше	67,04
Вільного формальдегіду, не більше	0,112
В'язкість, мПа·с	49
Концентрація водневих іонів, рН	7,7
Час желатинізації при 100 °С, с	48

При поєднанні прийнятого пластифікатора з мікронаповнювачем утворюється гелеподібна суспензія, що має поліфункціональні властивості, підвищену пластифікуючу здатність при одночасному запобіганні розшарування бетонної суміші, а також бере активну участь в структуроутворенні бетону підводного твердіння.

Призначення складу бетону заданого класу при роздільному способі підводного бетону-

вання характерно рядом особливостей. До них відносяться: роздільне призначення складу цементно-піщаної суміші, призначеної для трубопровідного транспорту, а також призначення кінцевого складу бетону із заданими властивостями (табл. 4).

Таблиця 4

Оптимальні склади бетону для підводних робіт

Витрати складових на 1 м ³ бетону, кг				Клас бетону
Цемент	Пісок	Щебінь	Вода	
330	708	1183	126	B20
324	775	1214	123	B20
302	772	1129	121	B15
286	620	1168	118	B15
267	598	1223	109	B10

На підставі проведених комплексних лабораторних випробувань розроблені і запропоновані граничні значення складових і властивостей розчинів з пластифікатором ПК (табл. 5).

Таблиця 5

Оптимальні склади бетону для підводних робіт

Найменування показника	Показники
Кількість цементу, кг/м ³	470...566
Кількість пластифікатора, кг/м ³	7...15
Кількість наповнювача (пил газоочищення), кг/м ³	35...75
Кількість води, кг/м ³	290...370
Рухливість, см	12...19
Міцність при стисненні у віці 28 діб при твердінні у воді, МПа	28...39
Морозостійкість, циклів	150...200
Адгезійна міцність, МПа	1,6...2,1

На властивості високорухливих бетонних сумішей для підводних робіт, окрім виду і властивостей матеріалів, великий вплив мають методи проектування складу бетону, технологічні

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

прийоми виготовлення, транспортування та його укладання.

Виготовлення розчинної і бетонної суміші без добавок і з добавками проводилося на сухих заповнювачах механізованим способом, в змішувачі місткістю 15 л, час перемішування – 5 хв.

При проведенні досліджень виготовляли серії розчинних і бетонних зразків-кубів з розмірами сторін 7, 10 і 15 см. Призми того ж перетину мали співвідношення сторін 1:4. Для експериментів готувалися високо рухливі бетонні суміші. Зразки при випробуванні у віці до 180 діб витримувалися по двох режимах твердіння: у природних умовах підводного твердіння і в нормальних легко-вологих умовах.

Реологічні властивості цементного тіста і цементно-піщаних розчинів досліджували по зміні термінів схоплювання і нормальній густині цементного тіста, а також по зміні в'язкості розчинних і бетонних сумішей.

В'язкість цементного тіста вимірювалася за допомогою кулькового віскозиметра, робота якого заснована на фізичних закономірностях руху кулі у в'язкому середовищі, що описуються законом Стоксу. Віскозиметр є посудиною діаметром 10 см і заввишки 15 см, яка закріплюється на лабораторному вібростолі і наповнюється досліджуванним матеріалом. На дно посудини опускається сталевий куля діаметром 20 мм, сполучена через блоки ниткою із противагою. При включенні вібромайданчика розпочинається рух кулі, швидкість якої залежить від в'язкості досліджуваного матеріалу. Рух кулі обмежений кінцевим вимикачем, оснащеним реле часу, що спрощує відлік від початку руху кулі у в'язкому середовищі і вихід з нього.

Про кінетику структуроутворення цементних систем і цементного тіста звичайного приготування судили по величині пластичної міцності, визначуваної на консистометрі П.А. Ребіндера.

Для визначення величини зчеплення нового бетону із старою бетонною поверхнею використовували спеціально розроблену і апробовану методику кафедри «Будівлі і будівельні матеріали» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. При цьому випробувальний зразок складається з основ-кубів розміром $10,05 \times 10,05 \times 10,05$ см – старий бетон, прибетонуваними до них зразками-кубами досліджу-

ваного ремонтного матеріалу розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см – новий бетон. При формуванні основ по центру встановлювався арматурний стрижень діаметром 10...12 мм. Розпалубка зразків проводилася на другу добу, стрижень виймався, і гирло отвору закладалося гіпсовим розчином. Зразки четвертого типу приз-призначені для випробувань на чистий відрив.

У приведених способах прибетонування зразків бетону досліджуваного ремонтного складу проводилося в дві партії: перша характеризувалася прибетонуванням до основ зразків бетону на активованому в'язучому (основна), а в другій – контрольній – прибетонування велося бетоном звичайного приготування. Зразки витримувалися в умовах наближених до реальних умов експлуатації ремонтного шару в конструкції, у воді і на суші. Перед прибетонуванням основи також зберігалися у воді і в умовах лабораторії при температурі 20 °С.

Результати

Автором експериментально підтверджена ефективність використання високорухливого цементно-піщаного розчину для ін'єктування міжзернових просторів крупного заповнювача при підводному бетонуванні. Для отримання високорухливих сумішей розроблена модифікуюча добавка – полімер-карбамідний модифікатор (ПК).

Встановлено, що введення в цементно-піщаний розчин у якості мікронаповнювача ПГПФ спричиняє зміну кінетики гідратації в'язучого в підводному середовищі, вміст гідросилікатів кальцію збільшується на 13...18 % порівняно з матеріалом без наповнювача, що пояснюється збуджуючим ефектом ПГПФ.

Висновки

Комплекс технологічних заходів дозволив забезпечити отримання бетонів із заданими властивостями для підводних робіт класів В15...В25 при зниженні витрати цементу на 15...20 % порівняно з традиційною технологією.

Таким чином, отримання гідротехнічного бетону із заданими властивостями можливо в результаті застосування спеціальної технології бетонування з використанням високорухливого цементно-піщаного розчину, наповненого активним мікронаповнювачем в комплексі з модифікованим для умов підводного застосування пластифікатором.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст]: / В. Г. Батраков. – Москва : Технопроект, 1998. – 768 с.
2. Салия, М. Г. Физико-химические исследования цементного камня с химическими и минеральными добавками, повышающими трещиностойкость и водонепроницаемость [Текст] / М. Г. Салия, Т. А. Костюк, Ю. А. Спирин, А. А. Плугин // Збірник наук. праць УДАЗТ. – 2012. – № 130. – С. 49-56.
3. Нікіфорова, Н. А. Вплив комплексних модифікованих добавок на морозостійкість важких бетонів [Текст] / Н. А. Нікіфорова, В. О. Момот, О. О. Вергун // Збірник наук. праць ДНУЗТ. – 2012. – № 2. – С. 41-44.
4. Коваленко, В. В. Исследование структуры и свойств минеральных добавок для бетонов и строительных растворов [Текст] / В. В. Коваленко, С. В. Коваленко, А. И. Вовк, Ю. Л. Заяц // Збірник наук. праць ДНУЗТ. – 2012. – № 1. – С. 28-32.
5. Чуб, А. А. Исследование морозостойкости, прочностных и деформативных свойств бетона от технологических характеристик бетонных смесей [Текст] / А. А. Чуб // Збірник наук. праць ДНУЗТ. – 2012. – № 1. – С. 120-125.
6. Романенко, О. В. Фізико-хімічні дослідження цементного каменю з добавками суперпластифікатора та прискорювача твердіння [Текст] / О. В. Романенко // Збірник наук. праць УДАЗТ. – 2012. – № 130. – С. 40-49.
7. Приходько, А. П. Вибровакуумированные шлакозобетоны и зобетоны [Текст] / А. П. Приходько, Т. М. Павленко, А. Р. Аббасова // Вісн. ДНУЗТ. – 2011. – № 38. – С. 165-169.

В. А. МОМОТ*

* Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (050) 500 89 75, эл. почта arnik2004@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Цель. Структура бетонной смеси, начиная с процесса ее перемешивания, находится в постоянном развитии. Главными условиями управления процессом смешивания является максимально возможная дезагломерация частиц, снижение вязкости смеси и повышение ее однородности. Выполнены экспериментальные исследования структуры цементно-песчаного раствора повышенной подвижности для трубопроводного транспорта. **Результаты.** Исследованы особенности структурообразования цементного камня с микронаполнителем и пластифицирующими добавками в условиях подводного твердения. На основе анализа проведенных исследований установлено, что получение гидротехнического бетона с заданными свойствами возможно в результате применения специальной технологии бетонирования с использованием высокоподвижного цементно-песчаного раствора с активным микронаполнителем в комплексе с модифицированным для условий подводного применения пластификатором. **Научная новизна.** Экспериментально подтверждена эффективность использования высокоподвижного цементно-песчаного раствора для инъектирования межзерновых пространств крупного заполнителя при подводном бетонировании. **Практическая значимость.** Проведены исследования структуры подводного бетона и обоснована технология инъекционного метода подводного бетонирования.

Ключевые слова: химические добавки; суперпластификаторы; высокоподвижные смеси; прочность; подводные бетоны; модификатор; наполнитель; инъектирование

VITALIY MOMOT*

* Dept. of Building production and geodesy, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovs'k, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 500 89 75, e-mail ap-nik2004@mail.ru

PROBLEMS OF MANAGEMENT BY TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF HYDROTECHNICAL CONCRETE MIXTURES

Purpose. Structure of concrete mix starting with the process of its preparation is in constant development. Key conditions of displacement process control is the highest possible disagglomeration of particles, reduction of mix viscosity and increase of its homogeneity. **Methodology.** The structure of cement-sandy solution of enhanceable mobility is investigational experimentally for a pipeline transport. Findings. In work are explored particularities of structuring of cement stone with the filler and rolling additives in conditions of undersea repeating over and over again. It is set on the basis of analysis of the conducted researches, that the receipt of hydrotechnical concrete with the set properties is possible as a result of application of the special technology of concreting with the use of high-mobile cement-sandy solution with active one micro by filling in a complex with the plasticizer modified for the terms of submarine application. **Originality.** Experimental confirm efficiency of using highrolling cement-sandy dissolve for injecting intercom spaces large filling under undersea concreting. **Practical value.** Conduct structure studies of undersea concrete and is motivated technology injecting method of undersea concreting.

Keywords: chemical additions; super plasticizers; high rolling mixtures; toughness; undersea concretes; modifier; filler; injecting

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна), д.т.н., проф. А. А. Плугіним (Україна).

Надійшла до редколегії 20.06.2014.

Прийнята до друку 02.07.2014.