

Харківський державний технічний університет
будівництва та архітектури

ПШНЬКО Олександр Миколайович

УДК 693.54:69.059.25:725.3(26.03)

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВОДНОГО БЕТОНУВАННЯ
ПРИ РЕМОНТІ ШТУЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД**

05.23.08 – Технологія промислового та цивільного будівництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор Чернявський Вячеслав Леонідович, завідувач кафедри фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів і виробів, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти та науки України;

– доктор технічних наук, професор Олійник Павло Павлович, директор Центрального науково-дослідного інституту організації, механізації та технічної допомоги будівництву (ЦНИИОМТП) м. Москва, Госстрой РФ;

– доктор технічних наук, професор Павлов Іван Дмитрович, завідувач кафедри технології промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія Міністерства освіти та науки України.

Провідна установа – Придніпровська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти та науки України.

Захист відбудеться 30 січня 2002 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 при Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Автореферат розісланий 28 грудня 2001 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01
к. т. н., професор
Е.М. Кутовий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Міністерством транспорту України розпочато здійснення програми відновлення та ремонту різноманітних штучних споруд, що забезпечують перехід транспортних магістралей через водні перешкоди. Виконання цієї програми повинне забезпечити безперервний рух транспортних потоків, незважаючи на вік і технічний стан транспортних споруд. При вирішенні даної проблеми основна увага повинна бути приділена найменш вивченим об'єктам дослідження, яким є підводне бетонування і підводний ремонт штучних споруд. Якщо надводний ремонт і відновлення різних конструкцій являє собою відпрацьований виробничий процес, то через складність і особливу відповідальність підводного ремонту його виконання неможливе без розробки спеціальних проектів проведення підводних ремонтних робіт (ПВП РР).

Підготовка такої складної технічної документації і її техніко-економічна оцінка потребують розробки наукових методів оцінки технологічних, матеріалознавчих і організаційних параметрів підводного бетонування. Тільки таке сполучення різнобічних

задач повинне привести до створення робочого проекту, що передбачає виконання ремонтних робіт у заданих умовах виробництва з необхідною якістю відновлення транспортних споруд і оптимальною техніко-економічною оцінкою проектних рішень.

Актуальність теми. Ремонтні роботи надводних частин штучних споруд відносно прості, а накопичений досвід у більшості випадків дозволяє виконувати їх без проекту виконання робіт. Підводний же ремонт таких споруд є більш складним заходом з точки зору технологій, матеріалознавства та організації. Тому без складання спеціального проекту виробництва підводних ремонтних робіт досягти високої техніко-економічної ефективності бетонних робіт практично неможливо. Окремі спроби спонтанного проведення підводного бетонування виявилися не тільки неефективними, але найчастіше аварійними. Аналіз відомих проектних рішень з підводного бетонування і ремонту транспортних споруд показав необхідність розробки особливих організаційно-технологічних рішень. Таким чином, розробка методології організаційно-технологічних заходів підводного бетонування і ремонту є дуже актуальною проблемою.

Розробка проекту виробництва підводних ремонтних робіт припускає керування процесом з наступною оптимізацією технологічних факторів з комплексу заданих критеріїв: економічності, мінімальних термінів зупинки руху по споруді, що ремонтується, забезпечення заданого рівня несучої здатності відновлюваної споруди для пропуску великовантажного рухомого складу та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася у відповідності з: Концепцією реструктуризації на залізничному транспорті України (схваленої Радою Укрзалізниці, протокол №5 від 24.04.1997 р., затвердженою рішенням Колегії Міністерства транспорту України, протокол №14 від 18.06.1997 р., схваленою Міжвідомчою комісією з питань демонополізації економіки, протокол №15 від 18.02.1998 р.); Програмою реструктуризації на залізничному транспорті України (схваленої Радою Укрзалізниці, протокол №10 від 26.05.1998 р., затвердженою рішенням Колегії Міністерства транспорту України, протокол №30 від 18.08.1998 р.); Концепцією реформування транспортного сектора України; галузевою Програмою підвищення безпеки руху на залізницях у 2002 р., затвердженою наказом Укрзалізниці №547-ц від 15.10.2001 р., а також госпдоговірною тематикою Укрзалізниці за темами: № 0199U001436 "Розробка складу бетонів, технології ремонту та закріплення підводних бетонних штучних споруд" (1999-2001 р.), № 0100U001375 "Розробка складів бетону, технології ремонту та відновлення підводних бетонних штучних споруд" (1999-2000 р.), № 0101U00047 "Розробка складів гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині" (2000-2001 р.). Автор є керівником перерахованих робіт.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є розробка наукових основ технології підводного бетонування при ремонті і відновленні штучних транспортних споруд, що забезпечується за рахунок комплексного вирішення технологічних, матеріалознавчих та організаційних проблем підводного ремонту.

Для досягнення мети були поставлені і вирішені такі задачі:

- дослідження основних властивостей матеріалів для підводного бетонування, їх вибір і визначення вимог до матеріалів;
- розробка основних технологічних заходів щодо проведення підводних бетонних робіт, які забезпечують оптимізацію керування процесами ремонту і відновлення транспортних штучних споруд;
- розробка методу комплексної адаптації моделі організаційно-технологічної оцінки

проведення ремонтних робіт до різних умов підводного ремонту і відновлення транспортних споруд;

- розробка методу техніко-економічного обґрунтування проектних рішень проведення підводних ремонтних робіт на транспортних спорудах;
- підвищення ступеня зчеплення ремонтних складів із бетонною поверхнею конструкцій штучних транспортних споруд, які ремонтуються;
- розробка методу призначення й оптимізації складів бетону для підводних робіт на транспортних штучних спорудах;
- розробка основ забезпечення безпеки проведення підводних бетонних робіт при ремонті і відновленні транспортних штучних споруд.

Об'єкт дослідження – технологія підводних бетонних робіт для ремонту і відновлення штучних транспортних споруд за рахунок комплексного удосконалення техніко-економічних показників проекту виробництва підводних ремонтних робіт.

Предмет дослідження – сукупність технологічних, матеріалознавчих і організаційних факторів підводного ремонту штучних транспортних споруд.

Методи дослідження. Складають сукупність технологічних, матеріалознавчих і організаційних досліджень підводного бетонування з використанням системного аналізу, математичного моделювання, а також сучасних тензометричних ймовірно-статистичних і кореляційно-регресивних методів аналізу проблем удосконалення підводного ремонту транспортних споруд.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- сформульовано наукові положення та визначено параметри, необхідні для розробки проектів виробництва підводних ремонтних робіт на основі комплексного аналізу умов експлуатації і стану транспортної споруди, яка підлягає відновленню, а також умов організації бетонних робіт;
- проведено систематизацію організаційно-технологічних параметрів відновлюваних об'єктів, що дозволяє структурно класифікувати фактори, які визначають умови підводного ремонту транспортних споруд;
- створено концепцію техніко-економічної оцінки проектів виробництва підводних ремонтних робіт для оперативного прийняття рішень по відновленню властивостей конструкцій транспортних споруд, що полягає у використанні функціонала, який співвідносить між собою корисний ефект і витрати на його одержання;
- встановлено, що забезпечення необхідного зчеплення нового бетону з поверхнею відновлюваних транспортних споруд у підводному стані з урахуванням особливостей структуроутворення підводного бетону можливо шляхом застосування бетонної суміші на активованій в'язучій речовині, що забезпечує необхідну рухливість для трубопровідного транспорту та нерозшаровуваність суміші у водному середовищі з надійною кольматацією порового простору старого бетону;
- отримано систему рівнянь, яка визначає сукупність еквівалентних складів бетонної суміші для підводного ремонту, що оптимізуються за будь-яким технологічним чи економічним критерієм, в залежності від умов проведення бетонних робіт;
- вперше доведено, що контактна зона цементного каменю з мікронаповнювачем у активованому підводному бетоні являє собою дифузійний шар, що характеризується безперервним переходом від цементних часток до мінеральної складової органо-мінерального комплексу, що свідчить про хімічний характер взаємодії новоутворень цементу з поверхнею часток мікронаповнювача;
- визначено критерії та запропоновано математичний апарат для техніко-економічної оцінки й оптимізації проектних рішень проведення підводних ремонтних робіт на

транспортних штучних спорудах з визначеною кількістю обмежень за умовами проведення ремонту, виду і стану споруди;

- доведено, що при оцінці ефективності максимум цільової функції $W(X, Y_0)$ збігається з максимумом функції Лагранжа при обмеженні виробничих витрат для конкретних умов підводного ремонту, що допускає використання системи диференційних рівнянь у частинних похідних.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці комплексу організаційно-технологічних заходів проведення ремонтно-відновлюваних робіт на штучних транспортних спорудах у складних умовах підводного бетонування; у розробці методології техніко-економічної оцінки проектів виробництва підводних ремонтних робіт за багатокритеріальними параметрами ефективності в залежності від умов виробництва; у можливості використання результатів дослідження для вибору технології, матеріалів і організаційних заходів, що забезпечують відновлення несучої здатності транспортних споруд, що ремонтуються.

Впровадження результатів досліджень полягає в апробації об'єднанням "Концерн "Гідромонтажспецбуд" на стадії розробки проекту виробництва підводних ремонтних робіт з відновлення опор мостів через р. Дніпро з економічним ефектом більш 376 тис. грн (у цінах 1999 р.), а також при бетонуванні підводних частин багатопротітних автодорожніх та залізничних шляхопроводів із застосуванням трубопроводного транспорту у містах Мелітополі та Новій Каховці. Об'єм підводної кладки склав понад 1300 м^3 із зниженням витрат цементу в середньому на 28 кг/м^3 бетону за рахунок використання активованої цементної суспензії. Основні положення дисертаційної роботи використані при розробці "Технологічних правил підводного ремонту бетонних і залізобетонних штучних споруд" (наказ Міністерства транспорту України №137 Ц від 11.04.2000р.), "Технологічних рекомендацій по визначенню складів бетонів для підводного бетонування та ремонту підводних споруд" та "Інструкції з розробки складів гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині для ремонту штучних споруд" (наказ Міністерства транспорту України № 488 Ц від 04.09.2001 р.). Ряд теоретичних положень роботи, викладених у дисертації, використовуються в навчально-методичній роботі Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту при викладанні курсу "Технологія будівельного виробництва", які викладені у двох навчальних посібниках.

Особистий внесок здобувача полягає:

- у створенні наукових принципів та обґрунтуванні технологічних параметрів необхідних для розробки проекту проведення підводних ремонтних робіт на основі комплексного аналізу умов експлуатації і стану транспортної споруди, що підлягає відновленню, а також умов організації бетонних робіт;
- у запропонованні принципу об'єднання організаційно-технологічних факторів в інформативну систему, що визначає техніко-економічну ефективність підводного ремонту, яка базується на конгруентності обраної технології, матеріалів і організаційних факторів виробництва заданим умовам підводного ремонту і відновлення транспортних споруд;
- у створенні наукових основ і визначенні аналітичних залежностей призначення складів бетонів, адаптованих до умов підводного ремонту транспортних споруд.

Всі положення і результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві здобувачеві належать:

- створені та визначені фізико-хімічні основи структуроутворення підводного бетону

- в різноманітних умовах проведення робіт [2, 22];
- визначено ступінь впливу температурного фактору на технологію та структурування бетону [3, 4];
- визначені технологічні передумови одержання щільного бетону виробів [8];
- визначено фактор часу закриття транспортних споруд при їх ремонті [9];
- досліджено вплив активованої бетонної суміші на міцність зчеплення нового і старого бетону при ремонті підводних елементів штучних споруд [10];
- розроблено технологію нанесення ремонтного шару на відновлювальні елементи транспортних споруд. Визначені фактори, які впливають на міцність зчеплення нового бетону із старою кладкою [11];
- розроблено комплекс організаційно-технологічних заходів із підводного ремонту та відновлення штучних транспортних споруд [12];
- встановлені параметри підводної бетонної суміші для трубопровідного транспорту [13];
- встановлені фактори, що визначають підвищення міцності ремонтного шару бетону з мікронаповнювачем [14];
- досліджено організаційно-технологічні умови підводного ремонту, встановлено закономірності структурування підводного бетону [21];
- розроблені наукові основи та підвищення міцності зчеплення нового бетону із старим [23, 24];
- зроблено аналіз сучасних добавок до бетонних сумішей [25];
- вибір аналогу винаходу [26];
- виконано аналіз аналогів та прототипів установки для активації в'язучих речовин [27];
- розроблені теоретичні положення ущільнення бетонних сумішей [28];
- розроблені способи ударного ущільнення сумішей [29].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідалися на республіканській конференції "Технологія та організація реконструкції промислових підприємств", Дніпропетровськ, 1985 р.; міжнародних конференціях: "Проблеми сучасного матеріалознавства", Дніпропетровськ, Дніпропетровський інженерно-будівельний інститут, 1992, 1994, 1995 рр.; "Матеріали для конструкцій ХХІ століття", Дніпропетровськ, Дніпропетровський інженерно-будівельний інститут, 1992 р.; VIII medzynarodna konferencja Wysokorychlostne trate, 1997; міжнародній нараді експертів Організації співдружності залізниць Східної Європи та Азії, Львів, 1998 р.; "Проблеми взаємодії колеса і рейки" асоціації великовантажного руху, Москва, 1999 р.; International conference on Railway bogies and running gears, Budapest, Hungary, 1998, 2001; International Conference on Engineering Education, Praga, Czech Republic, 1999; X міжнародній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту. Динаміка, надійність і безпека рухомого складу", Дніпропетровськ, 2000 р.; II науково-практичній конференції "Безпека руху поїздів", Москва, 2000 р.; XIV Konferencija Naukowa "Pojazdy szynowe na przelomie wiekow", Krakow, Poland, 2000; Науково-технічній раді Головного управління колійного господарства Укрзалізниці, 2000, 2001; International Scientific Conference "The transport of 21st century", Warszawa, Poland, 2001.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 3 монографіях, 8 статтях у наукових журналах, 35 – збірниках наукових праць, 6 – матеріалах конференцій, 10 патентах України та авторських свідоцтвах, у т.ч. 30 – наукових фахових виданнях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація викладена на 379 сторінках основної

частини тексту і складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 322 найменувань, містить 28 таблиць і 75 рисунків та том додатків на 125 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведено аналітичний огляд сучасних технологій підводного бетонування різноманітних споруд, а також окремі результати досліджень з проблеми технології та організації підводного ремонту штучних транспортних споруд. Показано, що досвід підводного будівництва неможливо механічно переносити на ремонт та відновлення підводних конструкцій транспортних споруд. Організація ремонтних і відбудовних робіт на транспортних штучних спорудах, особливо в їх підводній частині, є найбільш складною, мало вивченою і нормативно не обґрунтованою проблемою. Питанням організації будівельно-монтажних робіт присвячений значний обсяг нормативної і технічної літератури. Капітальному ремонту штучних транспортних споруд приділено значно менше уваги і менша кількість нормативних актів використовується при розробці проектів організації ремонтних робіт. Особливо це відноситься до підводного бетонування і ремонту різноманітних споруд. Це пов'язано зі специфічним характером руйнування підводних частин споруд, їх різноманітною конструкційною формою й умовами виконання робіт при частковому обмеженні руху транспортних потоків. Таке ускладнення виконання підводного ремонту вимагає розробки проектів виробництва підводних ремонтних робіт (ПВП РР). Частково положення теорії та практики розробки проектів виробництва ремонтних робіт висвітлені у працях вітчизняних вчених С.С. Атаєва, В.С. Балицького, Е.Г. Годеса, В.М. Кірнос, П.П. Олійника, Б.В. Прикіна, В.І. Торкатюка, Р.Б. Тяна, а також закордонних вчених Дж. Брукса, Б.С. Джервіка, Б.Д. Нілі. Сучасний розвиток технології підводного ремонту і бетонування, а також проектування складів гідротехнічних бетонів базується на наукових основах, розроблених П.П. Будніковим, М.С. Болотським, Б.Е. Веденєєвим, Ц.Г. Гінзбургом, Д.Ф. Гончаренком, В.І. Дмитревським, І.Е. Картеєвим, С.М. Курочкіним, П.В. Кривенком, В.М. Москвіним, С.Д. О कोरोковим, І.А. Савримовичем, Б.Г. Скрамтаєвим, М.О. Смірновим, В.В. Стольниковим, В.Л. Чернявським, С.В. Шестоєровим, В.М. Юнгом та ін. Велике значення в розробці основ технології гідротехнічного бетону, зокрема, для підводних частин споруд, мають також капітальні праці П.І. Боженова, О.Г. Вандаловського, О.Е. Дьосова, С.О. Миронова, О.П. Мчедлова-Петросяна, М.О. Попова, О.Е. Шейкіна, В.І. Сорокера, О.В. Саталкіна та ін.

Встановлено, що основним принципом виробництва підводних бетонних робіт при відновленні і ремонті транспортних споруд є таке введення бетонної суміші, цементного тіста або розчину під воду, при якому виключається істотна зміна їх складу, і після укладання відбувається твердіння у лаштунку чи без нього із забезпеченням комплексу заданих властивостей матеріалу. Реалізація цього принципу в підводних умовах значною мірою досягається належним проектуванням складу підводного бетону (вибором в'язучої речовини, добавок, співвідношення між складовими) і розчину з урахуванням специфічних вимог, що висуваються до них, а саме: підвищеної міцності, високої водонепроникності, однорідності, стійкості в агресивних середовищах, надійного зчеплення нового бетону зі старим, високої зв'язності бетонної суміші при підвищеній рухливості (пластичності), нерозшаровуваності, повільному тужавленні, але швидкому твердненні у воді. Основна вимога до технології підводного бетонування полягає в організації безперервного ведення ремонтно-відбудовних робіт зі

скороченням їх тривалості.

Положення розробленої теорії підводного бетонування дозволяють забезпечити задані властивості підводного бетону та відновлення несучої здатності окремих конструкційних елементів транспортних штучних споруд.

Аналіз відомих способів підводного бетонування показав необхідність докорінної зміни технології з урахуванням специфіки виконання ремонтних робіт на різноманітних об'єктах, ускладнених підводним розташуванням бетонної суміші. Це й обумовлює теоретичну та практичну зацікавленість в удосконаленні та розробці нових технологічних прийомів підводного ремонту. Наукові основи підводного бетонування розроблені з застосуванням комплексу технологічних, матеріалознавчих і організаційних досліджень транспортних споруд і базуються на положеннях розробленої методики оцінки проектних рішень виробництва підводних ремонтних робіт.

Проведені дослідження в галузі підводного бетонування штучних споруд показали, що в даний час основні питання технології й організації ремонтно-відбудовних робіт не вирішені в обсязі, достатньому для проведення ремонту підводних частин штучних транспортних споруд. Особливо не вирішені проблеми оптимізації процесів структуроутворення й одержання необхідних властивостей підводного бетону.

В другому розділі наведені основні характеристики матеріалів, які застосовували в дослідженнях. З метою з'ясування впливу різноманітних факторів на структуроутворення та властивості підводного бетону застосовували різні за мінералогічним складом портландцементи.

При дослідженні дії різних технологічних факторів, що визначають властивості підводного бетону, виникла необхідність розробки спеціальної методики визначення істотності розходження результатів експериментів, що викликано специфічністю та різноплановістю комплексних досліджень.

Дослідження фізико-механічних властивостей, стійкості в агресивному середовищі та довговічності підводного бетону на активованій в'язучій речовині здійснювали як стандартними, так і спеціальними методами. Використовували рентгенофазовий, диференційно-термічний, мікроскопічний та інфрачервоний спектроскопічний аналізи.

Третій розділ містить технологічну частину проектів виробництва підводних ремонтних робіт на штучних транспортних спорудах.

До транспортних споруд відносяться опори мостових переходів, транспортні тунелі, фундаменти мостових опор, поромні переправи, метрополітени та ін. Досвід свідчить, що майже всі елементи і споруди транспортного призначення тією чи іншою мірою експлуатуються у водному середовищі. Отже, основною ознакою при віднесенні бетону до якого-небудь різновиду гідротехнічного бетону є ступінь впливу на бетон водного середовища. Ремонт таких споруд зв'язаний з розробкою технології проведення робіт у залежності від розташування частин споруди стосовно рівня води. З цією метою бетон транспортних споруд поділяється на підводний, що постійно знаходиться у воді; на розташований у зоні змінного горизонту води (найбільш небезпечна ділянка руйнування споруд); на надводний, що піддається епізодичній дії води та морозу. Ремонт і бетонування здійснюються з урахуванням зонування частин транспортної споруди. Такий розподіл дозволяє зробити вибір оптимальної технології, а також вихідних матеріалів для бетонної суміші.

Серед способів підводного бетонування суттєва роль належить способам вертикально переміщеної труби (ВПТ), який застосовується при проведенні робіт на масивних спорудах, і висхідного розчину (ВР), що застосовується при бетонуванні немасивних

елементів на глибині до 50 м. Однак у кожному окремому випадку вибір способу підводного бетонування здійснюється з урахуванням особливостей споруди, характеру руйнування і призначення об'єкта.

Місце безпосереднього укладання підводного бетону під час проведення робіт відгороджується від хвилювань і течії, укладання бетонної суміші відбувається у стоячій воді. При ремонті і відновленні споруд за лаштунок служать стінки порожнин, що бетонуються, приміром, стінки зрубових балок або природних порожнин, що підлягають заповненню.

Вимірювання деформацій і тиску бетону на лаштунок при укладанні способом ВПТ здійснювалися електротензометричним методом; були проведені дві серії дослідів: на суші та під водою. У першій серії дослідів тиск бетонної суміші вимірювався на суші при заповненні металевого бункера і спеціального ящиківого лаштунку. Результати досліджень приведені на рис. 1.

Рис. 1. Тиск бетону (P) на лаштунок в процесі бетонування: 1 – для високорухливих сумішей ($OK = 16 \dots 20$ см); 2 – суміші з $OK = 6 \dots 9$ см. За таких умов заповнення тиск бетону на лаштунок змінювався пропорційно висоті стовпа бетону:

$$P = h\gamma, \quad (1)$$

де P – тиск бетону; h – висота стовпа бетону; γ – щільність бетону.

Спостереження показали, що з часом тиск бетону зменшується, що пов'язано з ущільненням суміші, викликаним втратою води і тужавленням цементу. Зниження тиску бетону лежить у межах 30...40% за період до кінця тужавлення.

У другій серії дослідів вимірювання тиску здійснювалося в природних умовах при підводному бетонуванні. Датчики тиску розміщалися на глибині до 3,5 м і кріпилися до залізобетонного лаштунку. Показники приладу після підйому рівня бетону в блоці до рівня розміщення датчиків відмічались кожні 15 хв (рис. 2).

Рис. 2. Тиск бетону (P) на лаштунок при різній інтенсивності I ($\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$) підводного бетонування: 1 – $I = 0,4$; 2 – $I = 0,75$; 3 – $I = 1,0$

При визначенні тиску бетону встановлено, що по мірі зростання стовпа бетону над датчиком збільшення тиску спостерігалось тільки протягом визначеного часу. При незмінних властивостях бетонної суміші величина максимального тиску і глибина його зміни залежать від інтенсивності бетонування. Встановлено, що на відміну від бетонування на суші, при підводному бетонуванні максимальний тиск залишається незмінним протягом декількох годин.

Весь підводний бетонний масив або місця ремонту розбиваються на окремі секції-блоки. Ця операція здійснюється для того, щоб укладання бетонної суміші в кожний окремий блок можна було виконувати не більш ніж двома одночасно працюючими трубами. З урахуванням цього складається проект організації робіт з підводного бетонування.

При підводному бетонуванні масиву по секціях укладання бетонної суміші здійснюється через одну секцію. Після тужавлення двох забетонованих блоків лаштунки-перетинки знімаються, і проводиться бетонування просторів між готовими блоками.

Для подачі рухливої бетонної суміші під воду використовують бетонолитні труби які складаються з комплексу металевих труб-ланок, виготовлених з чистої сталі завтовшки

3...6 мм, і лійки бункера у верхній частині труби. Верхня частина труби, що примикає до лійки, збирається з ланок довжиною 2 м на висоту, рівну товщині шару бетону, що укладається. Визначені мінімальні величини заглиблення труби в бетонну суміш у залежності від глибини бетонування приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Мінімальні величини заглиблення труби в бетонну суміш при різній глибині бетонування			
Глибина бетонування, м	До 10	10...15	Більше 15
Швидкість руху бетону в трубі, м/хв	до 5	5...10	10...15
Мінімальна величина заглиблення, м	0,8...1	1...1,0	1,0...1,2
			1,5 і більше

Показано, що залежність величини заглиблення труби в бетон від факторів інтенсивності і коефіцієнта K може бути представлена виразами:

$$h_{з.м.} = f(K, I), \quad (2)$$

$$h_{з.м.} = 2KI, \quad (3)$$

де $h_{з.м.}$ – величина заглиблення, м; I – інтенсивність бетонування, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{год}$; K – коефіцієнт збереження рухливості, год.

За результатами проведених натурних спостережень залежність (2) можна представити графіком на рис. 3. Аналіз приведеної залежності показує, що навіть при роботі з досить стійкими сумішами $K_{ср}=1,35$ год мінімальне заглиблення $h_{з.м.}(\text{min})=0,8$ м може бути

отримане при інтенсивності бетонування більше $0,30 \text{ м}^3/\text{м}^2$ за годину.

Рис. 3. Залежність заглиблення труби (h_3) від інтенсивності бетонування і коефіцієнта збереження рухливості

Дослідженнями встановлено, що при визначенні розмірів і обрисів блоку при бетонуванні однією чи кількома трубами або при визначенні кількості і схеми розміщення труб при бетонуванні великих блоків необхідно дотримуватися наступних положень:

- радіус дії труби при підводному бетонуванні декількома трубами приймається у межах 4,5...5 м;
 - поліпшення якості бетонної кладки досягається зменшенням площі ділянки, яка бетонується однією трубою, проти граничного значення радіуса дії, можливого при заданій інтенсивності бетонування і стабільності суміші;
 - найбільша площа бетонування при заданому радіусі дії труб може бути отримана при круглих і квадратних формах ділянки;
 - труби встановлюються з розрахунку, щоб площі, що обслуговуються ними, цілком перекривали простір, що бетонується, трохи накладаючись одна на іншу.
- Максимальний радіус поширення малорухливої бетонної суміші при підводному бетонуванні способом ВПТ за допомогою вібрування складає 1,5 м. Отже, при середній площі бетонування близько $4,5 \text{ м}^2$ інтенсивність бетонування складає приблизно $1,0...2,2 \text{ м}^3/\text{м}^2$ год. Організація робіт з підводного ремонту складається з підготовки необхідного устаткування, раціонального його розташування та забезпечення умов для ефективного його використання.

На початку роботи здійснюється розмітка блоків, що бетонуються. При необхідності встановлюється арматурний каркас, потім встановлюються попередньо зібрані бетонолитні труби із закріпленою в підставу лійкою для живлення труби. При

тривалості перерви більше 60 хв бетонування продовжується після досягнення раніше укладеною бетонною сумішшю міцності не менше 2,5 МПа.

В процесі бетонування виникають активні і пасивні діючі сили у міжзерновому просторі заповнювача. До активних відносяться маса і кінетична енергія бетонної суміші при її русі в трубі, до пасивних – гальмуючий рух суміші, протитиск водного середовища, втрата тиску внаслідок бічного (об стінки) і внутрішнього (між компонентами) тертя бетонної суміші, а також опір її просуванню внаслідок деформації вилитої частини бетону. З метою якісного проведення підводних бетонних робіт необхідно забезпечити вибір оптимального режиму бетонування, що характеризується інтенсивністю бетонування, рухливістю та зв'язністю бетонної суміші, дальністю її поширення, величиною заглиблення бетонолитної труби і радіусом її дії.

Для немасивних підводних елементів виконаними дослідженнями рекомендується застосовувати спосіб висхідного розчину, що відноситься до способів роздільного бетонування. Особливість роздільного бетонування полягає в поділі виробничого процесу на два самостійних етапи, що включають заповнення підводних лаштунків крупним заповнювачем і каменем та наступне заливання його цементним розчином. Таким чином, технологія бетонування способом висхідного розчину включає заповнення під водою або на суші обмеженого лаштунком об'єму накиданням з чистого брукового чи рваного каменю і його заливання цементно-пісчаним розчином під невеликим напором з метою ретельного заповнення порожнин кам'яного накидання. Заповнення порожнин кам'яного чи щебеневого накидання розчином здійснюється знизу, витісняючи тим самим воду. Бетонування виконується на міцній і щільній основі з метою виключення можливості витоку розчину при заливанні порожнин кам'яної кладки.

Для забезпечення міцного зчеплення укладеного розчину з основою або старим бетоном видаляються верхні шари основи або розчищається ушкоджена частина споруди. Дно виробленого котловану після розробки або ущільнення вирівнюється шаром щебеню, гравію чи гальки.

В обгородженому просторі встановлюються шахти для труб, що вливають, а також контрольні шахти, утворені металевими циліндрами або паралелепіпедами з ґратчастою бічною поверхнею. Шахти встановлюються водночас з улаштуванням лаштунку.

Встановлення шахт є характерною рисою способу ВР. Шахта, що обгороджує, служить для запобігання затиску труби, якою подається розчин, каменями засипання.

Велике значення мають форма, водопоглинення, шорсткість і чистота поверхні зерен заповнювача. Встановлено, що опір руху розчину в щебені вище, ніж у гравії, а вміст у накиданні дрібних фракцій і неочищеного заповнювача утруднює протікання розчину в накидання. При роздільному бетонуванні насухо при русі розчину через заповнювач з великим водопоглиненням розчин віддає йому частину води, рухливість його зменшується, і опір руху зростає. Звичайно для запобігання утворення замку в таких випадках заповнювач перед заливанням у нього розчину зволожується. Ця проблема не існує при бетонуванні у водному середовищі, оскільки камінь уже під час накидання поглинає воду.

Якість одержуваного моноліту при бетонуванні способом ВР визначається великою кількістю факторів, на відміну від способу ВПТ. У першу чергу, впливають розміри й однорідність за крупністю та формою кам'яного заповнювача; по-друге, реологічні властивості розчину, що знаходяться у прямому зв'язку з режимами бетонування – безперервністю і визначеною інтенсивністю заливання створюваного масиву-блоку, оскільки при порушенні режиму можливо утворення в суміші повітряних бульбашок, що підвищують пористість матеріалу і, отже, знижують його міцність.

На рис. 4а показано зміну в часі опору руху розчину в щебені на ділянці завтовшки 1 м. У цьому випадку тиск, необхідний для поширення розчину в порожнинах накидання, зростає пропорційно довжині шляху фільтрації розчину в міжзерновому просторі. За недостатньої текучості розчину питомий опір зростає, і швидко утворюється замок (рис. 4б).

Зі збільшенням рухливості розчину його внутрішнє тертя зменшується, отже, опір його руху знижується. Однак при однаковій рухливості розчинів великий вплив на величину опору їх руху в щебені чинять кількість і крупність піску в розчині, а також чистота його поверхні. Остання вимога відноситься також до крупного заповнювача з метою поліпшення проникання цементно-піщаного розчину в міжзерновий простір.

Рис. 4. Опір руху цементно-піщаного розчину (DP) у шарі щебеню завтовшки 1 м (а): 1 – розчин складу 1:3; 2 – розчин складу 1:2; 3, 4 – цементне тісто. Зростання тиску (P) у pompі перед утворенням замку (б): 1 – розчин 1:2; 2 – розчин 1:3

Поширення розчину в кам'яному накиданні під водою фізично представлено нами як рух важкої в'язкої рідини через пустотні канали накидання під тиском $\rho r \chi H$, де ρ – щільність розчину, кг/м^3 , H – напір чи висота стовпа розчину в трубі, що вливає, м. Рухаючись по цих каналах, розчин долає силу ваги вилитого розчину й опір зрушенню під час тертя об поверхню крупного заповнювача. Такий рух розчину продовжується до настання рівноваги між тиском усього розчину в бетонолитній трубі і силами опору. Особливість способу ВР полягає в тому, що розчин заповнює порожнини накидання висхідним потоком і при русі знизу вгору з одного боку обжимається тиском маси стовпа розчину в трубі, що сприяє просуванню розчину через пустотні канали, а з іншого боку обжимається протитиском від власної маси і сил опору, що виникають у в'язкому середовищі розчину при терті об поверхню стінок порових каналів. Такий рух розчину сприяє рівномірному поширенню в об'ємі без розшарування.

З графіка на рис. 5 видно, що криві поширення розчину в кам'яному накиданні при різних діаметрах труб, що вливають суміш, і напорах мають майже однакові обриси і зі збільшенням діаметра труби d і напору H збільшуються радіус поширення r і висота підйому розчину h . Тут криві поширення розчину в накиданні при русі його під напором висхідними потоками позначені суцільними лініями, а безнапірний рух розчину – пунктиром.

Таким чином, експериментально встановлено, що при призначенні відстані між трубами, що вливають, керуються граничним "напірним" радіусом, зі збільшенням якого і припиненням подачі розчин починає проникати в накидання спадними потоками, змішується з водою і розшаровується, залишаючи частину порожнин незаповненими. Результати цих дослідів підтвердили положення про те, що при безперервному процесі подачі розчину його вільна поверхня зберігає свій криволінійний обрис, переміщаючись вгору, а радіус поширення і висота розчину в накиданні залежать від рухливості розчину, величини напору, під яким він рухається крізь накидання, і від висоти шару води під устям труби, що вливає, при заливанні розчину.

Рис. 5. Розтікання розчину (h, r) в кам'яному накиді в залежності від умов бетонування: 1 – $H = 1$ м, $d = 6$ см; 2 – $H = 1$ м, $d = 12$ см; 3 – $H = 1$ м, $d = 20$ см; 4 – $H = 3$ м, $d = 6$ см; 5 – $H = 2$ м, $d = 12$ см; 6 – $H = 3$ м, $d = 12$ см; 7 – $H = 3$ м, $d = 20$ см

При застосуванні в процесі заливання декількох труб при горизонтальній чи малопохилій ($i < 0,2$) основі блоку в роботу включаються одночасно усі встановлені в ньому труби. Експериментально встановлена оптимальна відстань між трубами складає не більше 6 м. При ухилі основи, більшому 0,2, труби включають по черзі, а при

наявності місцевих западин глибиною більше 0,5 м в них встановлюються додаткові труби, що вливають.

Встановлено, що міцність при стиску зразків, випиляних як поблизу бетонолитної труби так і в найбільшому віддаленні від неї, приблизно однакова, що свідчить про мале розшарування розчину. Ці дані підтвердили, що розташування бетонолитних труб на відстані 6 м (у виняткових випадках 8 м) одна від іншої може прийматися для виробництва без побоювання сильної дезінтеграції розчину.

З урахуванням позитивних сторін існуючих способів підводного бетонування розроблений новий комбінований спосіб ремонту і відновлення штучних транспортних споруд, в основі якого лежить застосування активованої в'язучої речовини.

Необхідність розробки такого способу виникла у зв'язку з тим, що особливості умов експлуатації підводних конструкцій і специфіка їх ремонту з властивою йому організацією і способами виробництва бетонних робіт визначають ряд особливих властивостей бетону як матеріалу для відновлення зруйнованих елементів транспортних споруд, через що вимоги до підводного бетону і його економіка значно відрізняються від таких для бетонів іншого призначення.

Викладені результати досліджень визначають необхідність вирішення додаткової проблеми надійного зчеплення нового бетону з поверхнею, що ремонтується.

У четвертому розділі запропоновані шляхи вирішення проблеми забезпечення зчеплення ремонтного шару бетону з поверхнею відновлюваних штучних транспортних споруд.

Якість ремонту штучних транспортних споруд і відновлення їх несучої здатності, в основному, визначається міцністю зчеплення нового бетону з поверхнею старої кладки. Аналіз стану виконаних ремонтних робіт показав, що незважаючи на використання відомих технологічних прийомів, у більшості випадків відбувається розшарування нового бетону зі старим. Дослідженнями встановлено, що міцність зчеплення нового бетону зі старим визначається трьома факторами: дисперсністю і морфологією новоутворень цементної системи нового бетону; станом (рельєфом і характером пористості) бетонної поверхні, що ремонтується, а також фізико-хімічною активністю покриваючих шарів (рослинного, тваринного, пилоподібного) старого бетону.

Очевидно, що вибір в'язучої речовини, склад цементної матриці, рівень дисперсності твердої фази в шарі, що покривається, дозволяють оптимізувати умови зчеплення нового бетону зі старим. Підвищення міцності зчеплення нового бетону зі старим при ремонті і відновленні транспортних споруд можливо шляхом застосування спеціально розробленої активації в'язучої речовини (патент України 34366 А).

Проведений аналіз існуючих способів активації в'язучих систем показав, що для умов підводного бетонування вони практично незастосовні. Проблема одержання підводних бетонів із заданими експлуатаційними властивостями до цього часу не знайшла науково обґрунтованого рішення. Відомі прийоми і способи одержання високоміцних і довговічних бетонів недостатньо ефективні. З цією метою розроблена технологія фізико-хімічної активації цементної системи, що дозволяє одержати матеріал із заданими властивостями. Активація відбувається в спеціально розробленому реакторі-активаторі (патент України 37980 А).

Вперше у технології підводних бетонів при активації в'язучої речовини використано фізичне явище кавітації, що діє на всі компоненти цементної системи. На відміну від інтенсифікації перемішування, кавітаційний процес призводить до тріади активаційних дій на цементну систему, що складається із диспергування часток цементу і розкриття силікатних структур, поверхневої активації часток мікронаповнювача з утворенням некомпенсованих структурних зв'язків, а також переходу рідкої фази на вищий рівень

енергетичного стану. Вперше доведено, що фізико-хімічна активація цементної системи відбувається при зіткненні зустрічних потоків матеріальних часток, розташованих у рідкому середовищі. Порогове значення вхідної швидкості потоків цементної системи, що активується, лежить у межах 30...40 м/с. При цьому, як показали експерименти, струмені утворюють два фронти ударних хвиль. Це відбувається внаслідок стрибка ущільнення матеріального середовища, у якому виникає перехідна область, що поширюється далі із швидкістю, близькою до звукової. Накладення ударних хвиль у рідкому середовищі призводить до утворення зон позитивного та негативного тиску. При цьому в реакторі-активаторі утворюється пульсуюче, знакозмінне поле ультразвукової частоти. Ці положення підтверджені електромагнітним методом шляхом аналізу частотного спектру ультразвукової природи.

Пульсуюче поле ультразвукового тиску в рідкому середовищі затоплених струменів інтенсифікує спонтанне утворення кавітаційного простору навколо часток зустрічних потоків, що супроводжується виникненням кумулятивних струменів. Сукупність зазначених процесів викликає потужні кавітаційні дії на частки в'язучої речовини та мікронаповнювача, що, як встановлено експериментально, призводить до диспергування зерен цементу до розміру 4...9 мкм. Цьому сприяє також розвиток резонансних явищ у результаті збігу частот змушених коливань з частотою власних коливань часток, що диспергуються. Створений активаційний імпульс значно перевищує поріг активації. Існування порогу активації доведено експериментально по зміні фізико-механічних характеристик, а також морфології та складу новоутворень активованих клінкерних мономінералів і цементного каменю. Порогове значення інтенсивності фізико-хімічної активації характеризується збільшенням інтенсивності дифракційних максимумів низькоосновних гідросилікатів і зникненням високоосновних гідросилікатів кальція. Введення в цементне тісто в процесі фізико-хімічної активації органо-мінерального комплексу (ОМК) створює передумови для оптимізації процесу формування структури цементного каменю. У такому комплексі молекули дозованого органічного пластифікатора прищеплюються до часток неорганічного компонента. У процесі фізико-хімічної активації вони рівномірно розподіляються і зосереджуються у місцях рухливих агрегатних контактів просторової структури цементного тіста та не чинять пасивуючого впливу на процеси гідратації. Органо-мінеральний комплекс забезпечує поліпшення фізико-механічних характеристик цементного каменю і бетону.

Дія органо-мінерального комплексу на процес формування коагуляційної структури цементного тіста здійснюється завдяки вибірковій адсорбції іонів та асоціатів з рідкої фази, зміні площі контактів у просторовій пластичній структурі, спрямованості росту кристалів. У коагуляційно-кристалізаційній структурі активованого цементного каменю успадковуються особливості взаєморозташування агрегатних структур, а також тип пористості. При фізико-хімічній активації цементної суспензії мінеральна складова органо-мінерального комплексу, що вводиться у визначені моменти, не тільки виконує роль наповнювача, чим вона є при традиційному приготуванні бетонної суміші і твердненні її у звичайних умовах, але є хімічно активним компонентом, взаємодіючи з гідратними новоутвореннями, що сприяє зміцненню в'язучої системи.

Динамічний режим введення органо-мінерального комплексу створює умови для поєднання тонкодисперсних часток мікронаповнювача з гідратами в'язучого у міжчастковому просторі. Це також забезпечує утворення нових центрів гідратації. В умовах фізико-хімічної активації звільняються шляхи воді, що дисоціюється на іони OH^- і H^+ , для подальшої гідратації клінкерних мінералів. Мінеральні частки, що є джерелом іонів $[\text{SiO}_4]^{4-}$, хімічно взаємодіють з частиною продуктів гідратації,

врівноважуючи свої електронні зв'язки, а інша частина гідратів відділяється у міжгелевий простір.

Умови, що створюються під час фізико-хімічної активації цементної системи, визначають підвищення фізико-механічних характеристик підводного бетону та є одною з головних причин підвищення міцності зчеплення нового бетону зі старим.

Для одержання міцного зчеплення необхідні дві умови: здатність малого об'єму чи шару бетону малої товщини набирати належну міцність, а також висока якість поверхні в місці контакту нового бетону зі старим. Причиною порушення монолітної структури бетонного шару є недостатня міцність зчеплення шару, що наноситься, з матеріалом поверхні нанесення.

Контроль стану поверхні може бути здійснений шляхом визначення середньої висоти елементів нерівностей Δ , що є на поверхні, яка ремонтується. Оцінка якості поверхні при проведенні ремонтних і відбудовних робіт відбувається за допомогою розроблених еталонів шорсткості, згідно яких стан поверхні представляється у такий спосіб.

1. Зачищена поверхня з нерівностями, $\Delta = 0,01 \dots 0,10$ мм.
2. Поверхня після очищення піскоструминним апаратом, $\Delta = 0,2 \dots 0,4$ мм.
3. Поверхня після очищення металевою щіткою, $\Delta = 0,4 \dots 0,8$ мм.
4. Відосно гладка поверхня без очищення, $\Delta = 1,0 \dots 1,5$ мм.
5. Менш гладка поверхня, $\Delta = 1,5 \dots 2,0$ мм.
6. Шорсткувата поверхня, $\Delta = 2,0 \dots 3,0$ мм.
7. Пориста, мікротріщинувата поверхня з кавернами – $\Delta = 3,0 \dots 5,0$ мм.

За величиною шорсткості кожен наступний еталон відрізняється від попереднього на 7...10%. Дослідження проведені на різних поверхнях з метою з'ясування ролі фізико-хімічних процесів адгезії і кристалізації новоутворень у формуванні контактної зони нового бетону зі старою бетонною поверхнею в різних умовах тверднення. Умови тверднення створювалися такі: нормальне тверднення протягом 28 діб; витримування протягом перших трьох діб при температурах $+25^0$ С (при 100% вологості) і $+5^0$ С (природні умови – на даху лабораторії), після чого зразки до досягнення 28-добового віку знаходилися в нормальних умовах; витримування протягом першої доби у вологому піску і 27 діб – у воді. Поверхня нанесення (старий бетон) використовувалася в двох станах: у природному й очищеному шляхом видалення верхнього карбонізованого шару. Результати досліджень приведені в табл. 2. У дослідженнях використаний портландцемент М 400 для бетонів класу В15...В50.

Таблиця 2

Умови тверднення	Міцність зчеплення нового бетону з поверхнею, що ремонтується					
	Вік зразків, діб		Міцність на відрив, МПа			
поверхнею	звичайного бетону з поверхнею		бетону на активованій в'яжучій речовині з			
	природною	очищеною	природною	очищеною	природною	очищеною
Нормальні	3	0,72	0,84	2,89	4,31	
	28	2,21	2,52	6,44	8,14	
$+25^0$ С	3	0,82	0,97	3,89	5,06	
	28	1,93	2,13	6,69	8,12	
$+5^0$ С	3	0,64	0,73	2,04	2,87	
	28	2,21	2,49	6,08	7,89	
У воді	3	0,94	0,98	2,84	4,73	

28 2,31 2,62 7,09 8,24

Примітка. У таблиці приведені середні результати випробувань 6 зразків.

Як видно з результатів досліджень, міцність зчеплення нового бетону на активованій в'язучій речовині незалежно від умов тверднення перевищує міцність зчеплення звичайного бетону у віці 3 діб у 3,1...3,4 рази при нанесенні на природну поверхню. Цей показник при ремонті очищеної поверхні зростає до 4 разів. У віці 28 діб міцність зчеплення збільшується практично у 3 рази незалежно від стану поверхні нанесення. Таким чином, можна зробити висновок, що умови тверднення і стан поверхні не чинять негативного впливу на величину зчеплення при застосуванні активованої в'язучої речовини.

При розробці технології й організації виробництва підводних бетонних робіт особливу увагу було приділено підвищенню експлуатаційної і корозійної стійкості бетону. Як випливає з результатів досліджень, у новоутвореннях активованого цементного каменю бетону вміст вільного гідроксиду кальцію не перевищує 3...4%, що є необхідною умовою для одержання корозійно-стійкого матеріалу.

Проведені також дослідження стійкості бетонних зразків при витримуванні в сульфатному середовищі з концентрацією SO_4^{2-} 10 г/л. Визначалися зміна міцності при стиску зразків різної тривалості витримування в агресивному середовищі, а також зміст у них сульфатів. Результати досліджень представлені в табл. 3.

Таблиця 3

		Міцність бетону на активованій в'язучій речовині при витримуванні у сульфатному середовищі							
Марка цементу, вид бетону та умови зберігання		Міцність при стиску, МПа, у віці, діб				K _c			
у віці 180 діб		28	90	180					
400	Звичайний, занурені	31,3	30,2	27,1	0,77				
	Звичайний, змінний рівень	28,1	28,7	29,1	0,78				
	На активованій в'язучій речовині, занурені				53,4	57,1	59,1	0,91	
	На активованій в'язучій речовині, змінний рівень					52,1	56,6	57,7	0,91
500	Звичайний, занурені	38,1	39,3	37,2	0,79				
	Звичайний, змінний рівень	35,1	36,9	34,8	0,78				
	На активованій в'язучій речовині, занурені				58,6	62,5	67,3	0,92	
	На активованій в'язучій речовині, змінний рівень					58,7	61,4	64,2	0,93

При витримуванні зразків звичайного бетону в сульфатному середовищі спостерігається зниження міцності при стиску на 12...23% у залежності від тривалості витримування і марки використаного портландцементу. Починаючи з 38 діб для зразків на портландцементі М400, а з 52 діб – на портландцементі М500, на поверхні спостерігалася тріщиноутворення, змінювався колір зразків у зоні сильної сульфатизації.

Зниження міцності бетону на активованій в'язучій речовині практично несуттєво і складає 3...6%, причому його коефіцієнт сульфатостійкості K_c знаходиться у межах 0,91...0,93. Стабілізація міцності з часом свідчить про перевагу конструктивних процесів над деструктивними. При введенні активованої цементної системи до складу бетонної суміші вдалося знизити відкриту пористість до 8...9% у залежності від складу. Проведеними випробуваннями на водонепроникність ремонтного шару бетону

встановлено, що бетон на активованій в'язучій речовині відповідає марці по водонепроникності W 10...12 у залежності від складу.

Узагальнюючи результати експериментальних досліджень як міцності зчеплення нового бетону зі старим, так і властивостей ремонтного покриття, слід зазначити істотне підвищення експлуатаційних характеристик бетону на активованій в'язучій речовині, що використовувався при ремонті і відновленні транспортних споруд.

Таким чином, розроблено новий високоефективний спосіб підвищення експлуатаційних властивостей ремонтних шарів підводного бетону за рахунок комплексного використання технологічних винаходів, викладених у даній роботі.

Слід зазначити, що удосконалення способів підводного бетонування вимагає розробки теорії призначення складів гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині, основні положення якої з урахуванням вимог до матеріалів для підводного бетонування приведені в **п'ятому розділі**.

Дослідженнями встановлена необхідність пред'явлення до підводного бетону підвищених вимог у порівнянні з тим, що укладається на повітрі, щодо щільності (однорідності), міцності, водонепроникності, стійкості в агресивних середовищах, а бетонні суміші повинні мати більшу пластичність і текучість (підвищену рухливість та легкоукладальність), зв'язність (нерозшаровуваність), а також помірне водовідділення. Від міцності бетону підводних споруд залежить кавітаційна стійкість бетону. Це є небезпечний вид впливу на бетон, якому піддаються тільки гідротехнічні споруди, і характеризується дією потоку води, особливо при русі з великою швидкістю і вмісті великої кількості наносів. До числа проблем технології підводного бетону відноситься забезпечення довговічності штучних споруд, а також їх стійкості в агресивних середовищах. Ці характеристики знаходяться в безпосередній залежності від ступеня водонепроникності бетону.

На водонепроникність бетону великий вплив чинить його вік. Як правило, водонепроникність збільшується з часом і в значно більшому ступені, ніж міцність бетону при стиску (рис. 6).

Винятково великий вплив на зростання водонепроникності чинять умови тверднення бетону. Найбільш інтенсивне підвищення водонепроникності спостерігається при твердненні бетону в умовах підвищеної вологості. При цьому найбільше збільшення водонепроникності відповідає бетонам з високими значеннями водоцементного відношення ($V/C=0,7$) і менше – бетонам з низькими ($V/C=0,5$).

Рис. 6. Залежність водонепроникності бетону від його віку

Проведений аналіз показав, що існуюча теорія складу бетонної суміші не розкриває фізичний взаємозв'язок структури і властивостей складових підводного бетону. Під проектуванням складів бетону для ремонту транспортних споруд мається на увазі такий метод їх призначення, що дозволяє при даних якісних характеристиках матеріалів і заданих властивостях бетону визначити раціональні співвідношення між його складовими. Виходячи з розробленої теорії складу бетонної суміші і бетону, при проектуванні складів підводного бетону використовуються залежності, що характеризують властивості складових, бетонної суміші і бетону. При цьому чотири залежності утворюють систему канонічних рівнянь складу бетонної суміші і бетону. Ця

система рівнянь складається з рівняння міцності бетону $R_0 = f_1(C/B)$, абсолютних об'ємів складових $V_0 = f_2(C, B, П, Ш, k_y)$, консистенції бетонної суміші $G = f_3(X, Y, Z)$ і рівняння оптимального насичення бетону заповнювачами при мінімальній витраті в'язучої речовини $dC/dX \rightarrow 0$. Канонічні рівняння, утворюючи закінчену систему, у

той же час відображають сучасний стан фізико-хімічної механіки бетону, що дозволяє з їх допомогою характеризувати основні властивості матеріалу.

Спільне рішення чотирьох перерахованих рівнянь складу дозволяє однозначно визначити для даних матеріалів склад бетону з мінімальною витратою цементу. Склади підводного бетону, розраховані запропонованим методом, і їх структурні характеристики приведені в табл. 4.

Таблиця 4

Склади і структурні характеристики бетонних сумішей для підводного ремонту

Клас бетону	Склади бетону, кг/м ³					Легкоукладаль-ність суміші						Структурні характеристики бетону
	Ц	В	П	Щ	ОК, см	G	В/Ц	Z	x	X	Y	
B50	627	207	400	1138	5,0	0,75	0,33	0,82	0,64	0,98	0,65	
B35	372	186	599	1210	6,0	0,70	0,50	1,85	1,61	1,96	0,89	
B15	269	188	712	1180	8,0	0,60	0,70	2,42	2,65	2,60	0,84	

Примітки. У таблиці приведені середні величини легкоукладальності бетонної суміші за результатами трьох вимірів осадки конусу. G – показник жорсткості бетонної суміші; Z – розрідження цементного тіста; $x = П/Ц$; X – насичення бетону піском; Y – насичення бетону щебенем.

Дослідами встановлено, що зміна консистенції бетонної суміші з часом дуже впливає на якість підводних бетонних робіт, оскільки з нею пов'язане призначення технологічних режимів цілого ряду виробничих операцій. При призначенні операцій технологічного циклу і розрахунку складів бетону необхідно знати час "пластичного стану" суміші і мати можливість визначити за початковою рухливістю і зовнішніх умовах консистенцію суміші в кожному відрізок цього періоду.

Показано, що зміна легкоукладальності суміші з часом поділяється на три основних періоди: початковий індукційний період утворення пластичної суміші; період експотенціальної зміни консистенції суміші; період структуроутворення бетону.

Останній період характеризується лавиноподібним переходом суміші з пластичного стану у твердий. Цей період тверднення бетону пов'язаний з формуванням просторового каркасу з гідратних новоутворень, зміцненням і ущільненням їх зв'язків.

Таким чином, час "пластичного стану" представляє собою проміжок часу, протягом якого гідратні новоутворення не встигають сформувавши каркас цементного каменю. Порушення цього процесу вимагає значних механічних впливів і може призвести до зниження загальної міцності бетону. Як параметр, що описує зміну властивостей цементу з часом, можна вибрати час початку тужавлення цементного тіста нормальної густоти t_H . Цей параметр характеризує не тільки ступінь дисперсності цементу, але й у визначеній мірі його мінералогію. Однак більш зручно як параметр, що описує зміну пластичних властивостей бетонної суміші, прийняти тривалість спокою цементного тіста t_0 , приблизно рівний половині часу його тужавлення $t_0 = 0,5t_H$. У цьому проміжку часу відбуваються монотонне спадання рідкої фази і плавний розвиток міжчасткових зв'язків. Бетонна суміш, що містить таке цементне тісто, має добре виражені пластичні властивості, що видно з дослідних даних зміни показника жорсткості бетонних сумішей із змінним значенням водоцементного фактора (рис.7). При цьому термодинамічні умови гідратації в'язучої речовини визначалися за рекомендаціями Сола в залежності від часу гідратації, температури бетону і зміни його початкового водовмісту у відсотках.

Функція зрілості бетонної суміші виражає її приведений вік з урахуванням умов

навколишнього середовища. Як показано на рис. 7, зміна показника жорсткості бетонної суміші залежить від її зрілості, а також від ступеня початкового розрідження цементного тіста в бетонній суміші Z . По мірі збільшення параметра Z інтенсивність приросту показника жорсткості в часі зменшується й у межі $Z \text{ ® } Z_0$ прагне до нуля. Навпаки, при $Z = 0$ (бетонна суміш з цементним тістом нормальної густоти) інтенсивність збільшення показника жорсткості суміші найбільш висока і залежить від її зрілості.

Рис. 7. Зміна показника жорсткості бетонної суміші (G) із змінним значенням водоцементного фактора в залежності від її зрілості (K), $V/C = (0,26 \dots 0,70)$
Надійним способом визначення придатності бетонної суміші для підводного бетонування є випробовування суміші в умовах, аналогічних умовам укладання. Однак за одним показником рухливості не можна судити про придатність суміші для підводного бетонування. Ця характеристика оцінюється в комплексі з іншою важливою характеристикою бетонної суміші при підводному бетонуванні – зв'язністю. Величина оптимального водовідділення знаходиться в межах $DB=0,012 \dots 0,016$. На підставі отриманих даних для практичного застосування можуть бути рекомендовані бетонні суміші з водовідділенням $DB = 0,01 \dots 0,02$.

Таким чином, при виборі матеріалів для підводного бетонування потрібно керуватися конкретним способом бетонування штучної транспортної споруди чи його частини; умовами експлуатації, а отже, забезпеченням вимог щодо вибору матеріалів, що задовольняють характеристикам бетону для експлуатації споруди з бетону в цьому середовищі; техніко-економічним обґрунтуванням вибору матеріалів для бетонів (в'язучих, заповнювачів, добавок).

У шостому розділі представлені організаційні основи виробництва підводних ремонтних робіт на штучних транспортних спорудах. Незалежно від того, якому ремонту підлягає підводний об'єкт транспортної споруди, застосування методів техніко-економічного обґрунтування проектних рішень при виробництві підводних ремонтних робіт зводиться до визначеного кола задач, розв'язуваних на різних стадіях розробки проекту підводного ремонту, а саме: попереднього обстеження об'єкта передескізної, ескізної, технічної і робочої стадій проекту.

При підводному бетонуванні і після його закінчення відбувається контроль виробництва підготовчих робіт; якості бетонної суміші і її складових; режимів підводного бетонування; забезпечення технологічності виробничих процесів; якості бетонної кладки. Протягом ведення робіт з підводного бетонування ведуться і складаються наступні звітні документи:

1. У журналі робіт указуються: час початку і кінця бетонування кожної ділянки окремо; місця і кар'єри доставки матеріалів, а також характеристика цементу, що застосовується для бетонування визначеної ділянки; перерви у проведенні робіт, їх причини та тривалість.
2. Акти про кількість і якість застосовуваних матеріалів із указанням причин дефектів, якщо такі є.
3. Протоколи про випадки недотримання технічних умов.
4. Акт про прийом споруди і здачу її в експлуатацію.

Техніко-економічний аналіз варіантів технологічних схем виробництва підводних ремонтних робіт є найбільш складним етапом проектування, при цьому технологічні способи проведення робіт і вибір матеріалів для підводного бетонування можна розглядати як задані. Під ефективністю проектного рішення слід розуміти співвідношення між корисним ефектом ремонтних робіт, що виконуються, і витратами

на одержання даного ефекту. Корисний ефект у даному визначенні представляє не що інше, як ступінь досягнення поставленої мети в конкретному проектному рішенні. Взаємозв'язки між категоріями, якими оперують у ході техніко-економічного аналізу при розробці проекту виробництва підводних ремонтних робіт, запропоновано описати не тільки логічно, але і математично.

Позначимо через $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ основні експлуатаційно-технологічні характеристики ремонту. Тоді сумарна ефективність ремонту (x) однозначно визначається вектором чи векторною безліччю так званих зовнішніх факторів:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (4)$$

При цьому $X \in D$, де D – безліч можливих рішень для вектора X , тобто безліч припустимих з точки зору технологічних і організаційних факторів сполучень методів виробництва підводних ремонтних робіт.

Властивості відремонтованої транспортної споруди також є векторною множиною її елементів:

$$X_i = (x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, \dots), \quad (5)$$

причому кожна властивість X_i являє собою власну підмножину векторної безлічі X , тобто якості виробництва підводних ремонтних робіт ($X_i \subset X$, але $X \not\subset X_i$).

На відміну від якості, корисний ефект буде залежати не тільки від виду і стану елементів споруди, але і від впливу навколишнього середовища й умов виробництва на якість підводних бетонних робіт:

$$w = w(X, Y), \quad (6)$$

де $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ – вектор значень впливу навколишнього середовища й умов виробництва підводних бетонних робіт, що у загальному випадку є випадковим, оскільки характеристики y_i можуть приймати у визначеному діапазоні будь-які значення, хоча в кожному конкретному розрахунку значення вектора приймається заданим апріорі, і

$$w = w(X, Y_0), \quad (7)$$

Запропоновано дві основні форми представлення критерію ефективності проектних рішень в галузі підводного бетонування. Перша форма передбачає досягнення максимуму корисного ефекту за даної витрати ресурсів. Такий принцип оптимальності можна назвати принципом максимізації ефекту. При другій постановці оптимальність рішення досягається шляхом мінімізації витрат ресурсів з обов'язковою умовою досягнення заданого корисного ефекту (принцип економії ресурсів).

Сукупність розроблених методів дозволяє визначити значення корисного ефекту і витрат на ремонт підводної частини транспортних споруд і значення критерію ефективності для будь-яких прийнятих проектних рішень. Але при розробці проекту виробництва підводних ремонтних робіт необхідно вирішувати, як правило, більш складну задачу: знаходити рішення, що забезпечують найкращі значення критеріїв ефективності.

Для знаходження оптимального проектного рішення методом локально-оптимального пошуку на підставі апріорних даних вибирається будь-яке початкове сполучення технологічних елементів (рис. 8, точка А₁) і визначається відповідне значення цільової функції, виконуючи оцінки корисного ефекту і витрат на виробництво ремонтних робіт. Наступна операція – вибір значень елементів в "околицях" точки А₁, визначення значень цільової функції для нових сполучень і перехід до того з них, для якого критерій ефективності приймає найменше значення (точка А₂).

Рис. 8. Принцип визначення екстремуму функції методом локально-оптимального

пошуку без обмежень (а) та при наявності обмежень (б) на значення аргументів:

C – приведені витрати; Q, V – змінні технологічні та зовнішні фактори
Подальші кроки (точки A_2, A_3 і т.ін.) повторюються доти, доки критерій ефективності у будь-якому напрямку не буде збільшуватися, що свідчить про досягнення точки безумовного (A_{\min} на рис. 8а) чи умовного (A'_{\min} на рис. 8б) мінімуму витрат. При русі, що забезпечує зменшення цільової функції, необхідно стежити за тим, щоб не вийти з області припустимих проектних рішень. Порівняння техніко-економічних показників виконання ремонтних робіт по відновленню мостових опор способом шпунтової огорожі і розробленого підводного бетонування довело зниження трудовитрат з 352,05 чол.год/м³ до 46,60 чол.год/м³ та зниження собівартості укладання 1 м³ бетону з 956,0 грн./м³ до 247,3 грн./м³.

Визначений економічний ефект, який дорівнює понад 700 грн./м³, перевірено також за допомогою укрупнених показників ДБН для ремонту транспортних споруд.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі викладені результати науково обґрунтованих досліджень, спрямованих на вирішення актуальної проблеми ремонту штучних транспортних споруд на основі комплексного аналізу технологічних, матеріалознавчих і організаційних задач відновлення конструкцій споруд.

1. Встановлено, що особливості підводного ремонту і відновлення транспортних споруд потребують обов'язкової розробки проекту виробництва підводних ремонтних робіт (ПВПРР), який містить сукупність організаційно-технологічних факторів, сформованих у виді інформативної системи, яка забезпечує керування складним технологічним процесом. При цьому ПВПРР базується на розробленій класифікації технологічних способів ремонту підводних елементів транспортних споруд.
2. На підставі розробленої методології комплексного вирішення технологічних, матеріалознавчих і організаційних проблем рекомендовано використання способів ВПТ та ВР при ремонті масивних та немасивних підводних елементів транспортних споруд на глибині до 50 м. Вибір визначених видів ремонту базується на положеннях фізико-хімічної механіки і, зокрема, реології пружно-в'язко-пластичних тіл, що структуруються у водному середовищі.
3. Вперше виконано науково обґрунтований аналіз і визначені технологічні параметри підводного ремонту різних видів і складності стосовно до транспортних споруд, що експлуатуються у водному середовищі. Сформульовані технологічні передумови ремонту складних підводних частин транспортних споруд, розробленими комбінованими способами з використанням синхронної подачі звичайного або активованого цементного тіста об'ємом не менше 600 дм³/м³ та пісчано-кам'яного накиду, що складає решту об'єму до 1 м³. Вибір способу підводного ремонту визначається характером руйнування та ступенем відновлення несучої здатності споруди.
4. Встановлено підвищення фізико-механічних і експлуатаційних характеристик гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині, зокрема, зниження загальної пористості до 3,7...4,4%, приріст міцності в 2,1...2,4 рази й особливо зміну структури і властивостей контактної зони цементного каменю з мікронаповнювачем. Вперше встановлено, що ця зона являє собою дифузійний шар, що характеризується безперервним переходом від цементних часток до

- мінеральної складової органо-мінерального комплексу, що свідчить про хімічний характер взаємодії новоутворень цементу з поверхнею часток мікронаповнювача.
5. Доведено, що якість ремонту штучних транспортних споруд і відновлення їх несучої здатності визначається міцністю зчеплення нового бетону з поверхнею старої кладки. Встановлено, що найбільш ефективним способом підвищення експлуатаційних характеристик ремонтного шару і його зчеплення зі старою кладкою є застосування бетонної суміші, виготовленої на активованій цементно-водній суспензії з органо-мінеральним комплексом, що забезпечує збільшення міцності зчеплення у віці 3 діб у 3,1...3,4 рази при нанесенні суміші на природну поверхню і до 4 разів при ремонті очищеної поверхні. При цьому відбувається зниження відкритої пористості на 8...9% і підвищення водонепроникності ремонтного шару до W10...W12.
 6. На основі системного аналізу структуроутворення гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині у водному середовищі розроблена теорія складу бетонної суміші і бетону, яка представлена системою канонічних рівнянь, що дозволяє вибір і оптимізацію складу гідротехнічного бетону за будь-яким критерієм оптимальності, зокрема, за мінімальною собівартістю та витратою в'язучої речовини, а також за забезпеченням проектних технологічних властивостей бетонної суміші для підводних робіт.
 7. Розроблено систему заходів щодо адеструктивного контролю якості підводних бетонних робіт та рекомендовано комплекс заходів з безпечного виконання підводних ремонтних робіт підвищеної безпеки і забезпечення життєдіяльності спеціалістів, які виконують відновлювальні роботи на транспортних спорудах, а також нормовано умови праці водолазів.
 8. Розроблено аналітичну методологію техніко-економічного обґрунтування різних варіантів проекту виробництва підводних ремонтних робіт, що містить методику оптимізації проектних рішень для конкретних умов підводних ремонтно-відбудовчих робіт на транспортних спорудах. Впровадження результатів досліджень полягає в апробації об'єднанням "Концерн "Гідромонтажспецбуд" на стадії розробки проекту виробництва підводних ремонтних робіт з відновлення опор мостів через р. Дніпро з економічним ефектом більш 376 тис. грн. (у цінах 1999 р.). а також при бетонуванні підводних частин багатопролітних автодорожніх та залізничних шляхопроводів із застосуванням трубопровідного транспорту у місті Новій Каховці. Об'єм підводної кладки склав понад 1300 м³ із зниженням витрат цементу в середньому на 28 кг/м³ бетону за рахунок використання активованої цементної суспензії. Основні положення дисертаційної роботи використані при розробці "Технологічних правил підводного ремонту бетонних і залізобетонних штучних споруд" (наказ Міністерства транспорту України № 137 Ц від 11.04.2000р.), "Технологічних рекомендацій по визначенню складів бетонів для підводного бетонування та ремонту підводних споруд" та "Інструкції з розробки складів гідротехнічного бетону на активованій в'язучій речовині для ремонту штучних споруд" (наказ Міністерства транспорту України № 488 Ц від 04.09.2001 р.).

Основні положення дисертації викладені у наступних роботах:

1. Пшінько А.Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений. – Дніпропетровськ: Пороги, 2000. – 412 с.
2. Пунагін В.М., Пшінько О.М., Руденко Н.М. Проектування складів гідротехнічного

- бетону. – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1998. - 192 с.
3. Пунагин В.Н., Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Бетон в условиях повышенных температур. – Днепропетровск: ДИИТ, 1996. – 252 с.
 4. Пунагин В.Н., Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Бетон в условиях повышенных температур. – 2 изд., испр. и доп. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 1999. - 292 с.
 5. Пшинько О.М. Будівельні матеріали – виробництво, характеристики, використання: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: ДІТ, 1995. - 135 с.
 6. Пшинько О.М. Підвищення довговічності бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: ДІТ, 1995. – 76 с.
 7. Пшинько О.М. Підвищення довговічності бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій: Навчальний посібник: Друге видання. – Дніпропетровськ: ДІТ, 1996. – 156 с.
 8. Ударно-вибрационная технология изготовления сборного железобетона/Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко, Ю.Л. Заяц, А.Н. Пшинько//Бетон и железобетон. – 1981. – № 12. – С. 19-20.
 9. Проблемы бесперегрузочных и комбинированных перевозок/Демин Ю.В., Кирпа Г.Н., Пшинько А.Н., Савчук О.М., Степанов В.В.//Залізничний транспорт України. – 1998. – № 1. – С. 37-42.
 10. Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Проблемы ремонта инженерных транспортных сооружений//Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 12-14.
 11. Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Особенности ремонта искусственных транспортных сооружений//Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 14-16.
 12. Пшинько О.М., Пунагин В.М., Руденко Н.М. Технологічні правила підводного ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд: Затв. Держ. адміністрацією залізничного транспорту Мін. транспорту України. – К., 2000. – 36 с.
 13. Реологические основы удобоукладываемости бетонных смесей/В.Н. Пунагин, Н.Н. Руденко, А.Н. Пшинько, А.А. Шишкин//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 1. – С. 26-28.
 14. Пшинько А.Н., Нетеса Н.И., Еременко В.А. Повышение эффективности использования цемента введением рационального количества микронаполнителей// Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 2. – С. 45-51.
 15. Пшинько А.Н. Проблемы долговечности бетонов//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 3. – С. 17-18.
 16. Пшинько А.Н. Приготовление бетонной смеси в условиях повышенных температур//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 4. – С.5-7.
 17. Пшинько А.Н. Исследование фазового состава цементного камня подводного твердения//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 5. – 1998. – С. 5-10.
 18. Пшинько А.Н. Гигрометрические свойства бетона в условиях попеременного увлажнения и высушивания//Вісник академії: Наук. та ін форм. бюл./ПДАБА: Дніпропетровськ. – 1999. – № 9. – С. 41-46.

19. Пшинько А.Н. Основные положения технологических правил по подводному ремонту транспортных сооружений//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве - Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1999. – Вып. 6. – С. 3-11.
20. Пшинько А.Н. Анализ способов подводного бетонирования при ремонте транспортных сооружений//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1999. – Вып. 7. – С. 3-13.
21. Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Проблема восстановления искусственных транспортных сооружений//Сб. науч. тр. "Строительство, материаловедение, машиностроение" – Днепропетровск: GAUDEAMUS. – 2000. – Вып. 10. – С. 328-331.
22. Пшинько А.Н., Пунагин В.Н., Руденко Н.Н. Особенности структурообразования алюминатов в активированных цементных системах//Ресурсосберегающие технологии в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 2000. – Вып. 8. – С. 126-130.
23. Кислий Г.П., Пшінько О.М. Проблеми ремонту транспортних споруд //Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – Київ. – 2000. – Вип. 59. – С. 190-192.
24. Разработка технических требований и составов инъекционных растворов/Савицкий Н.В., Пшинько А.Н., Крекнина Е.А., Зинкевич А.Н., Савицкий А.Н., Шипко Г.Л.//Сб. науч. тр. "Строительство, материаловедение, машиностроение" – Днепропетровск: ПГАСА. – 2001. – Вып. 14. – С. 121-123.
25. Пшинько А.Н. Метод технико-экономической оценки проектных решений//Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА. – 2001. – №12. – С. 48–55.
26. Пат. 34364 А UA, МПК 6 C04B14/04. Комплексна домішка/Пшінько О.М., Чернік В.І., Руденко Н.М., Колесниченко І.І., Краснюк А.В., Громова О.В.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 99063684; Заявл. 30.06.99; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. – 3 с.
27. Пат. 34366 А UA, МПК 6 C04B40/00. Спосіб активації цементної в'язучої системи/Пшінько О.М., Таран А.М., Пунагін В.М., Руденко Н.М., Краснюк А.В., Громова О.В.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 99063686; Заявл. 30.06.99; Опубл. 15.02 2001; Бюл. № 1. – 3 с.
28. Пат. 37980 А UA, МПК 7 B28C5/46. Установка для активации в'язучої суспензії/О.М. Пшінько, В.М. Пунагін, Н.М. Руденко, В.О. Герасименко; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. - № 2000052724; Заявл. 15.05.2000; Опубл. 15.05. 2001; Бюл. № 4. – 3 с.
29. Правила изготовления железобетонных изделий по ударной и ударно-вибрационной технологии/Файвусович А.С., Усовиков В.И., Гусев Б.В., Руденко И.Ф., Митник Г.С., Крюков Б.И., Литвин Л.М., Логвиненко Е.А., Зазимко В.Г., Пшинько А.Н., Заяц Ю.Л., Нетеса Н.И., Горенштейн И.В. – Киев: НИИСП, 1982. – 31 с.
30. Рекомендации по низкочастотным режимам уплотнения бетонной смеси/ Гусев Б.В., Усов Б.А., Синева Е.А., Алиев А.Г., Кан П.Х., Аскарров Б.А., Алимов Х.А., Рахимов Б.Х., Зазимко В.Г., Пшинько А.Н., Лесюк И.Н., Зыков Б.И., Олехнович К.А., Бочаров Н.А. – Ташкент: Госстрой УзССР, 1984. – 24 с.

31. Оптимизация свойств дорожных бетонов с суперпластификатором С-3 при виброуплотнении их низкочастотными асимметричными режимами. Ю.М. Баженов, В.Г. Зазимко, Ю.Л. Заяц, А.Н. Пшинько//Вопросы механики и технологии сборного железобетона, применяемого для железнодорожного строительства. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1981. – Вып. 217/5. – С. 16-24.
32. Пшинько А.Н., Лисняк В.П. Экспериментальное исследование влияния форм колебаний системы "бетонная смесь в форме" на однородность технических свойств бетона при виброуплотнении с инерционным пригрузом//Вопросы механики и технологии сборного железобетона, применяемого для железнодорожного строительства. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1981. – Вып. 217/5. – С. 32-37.
33. Лисняк В.П., Пшинько А.Н., Унига В.В. Условия рационального виброуплотнения бетонной смеси с применением безынерционного пригруза//Вопросы механики и сборного железобетона, применяемого для железнодорожного строительства. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1984. – С. 28-32.
34. Лисняк В.П., Пшинько А.Н. Определение рационального момента приложения инерционного пригруза//Совершенствование процесса уплотнения сборного железобетона, применяемого для железнодорожного строительства. – Днепропетровск: ДИИТ. – 1988. – С. 32-37.
35. Пшинько А.Н., Ключко Б.Г. Разработка синтетических пластифицирующих добавок на базе местного сырья//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 1. – С. 8-9.
36. Модификация бетонной смеси в процессе прессования/В.Н. Пунагин, А.Н.Пшинько, Н.Н. Руденко, Б.Б. Хасанов//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 1. – С. 17-18.
37. Гваджаиа Б.Д., Ключко Б.Г., Пшинько А.Н. Улучшение свойств бетонной смеси применением укрупнителей мелкого заполнителя//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 1. – С. 24-25.
38. Исследование искусственных пористых заполнителей и легких бетонов на их основе/Муршед Ареф, А.Н. Пшинько, Н.Н. Руденко, С.Н. Руденко //Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. - 1995. – Вып. 1. – С. 30-31.
39. Нетеса Н.И., Пшинько А.Н. Эффективность использования цемента – важнейшая задача строительства//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1995. – Вып. 1. – С. 57-59.
40. Гваджаиа Б.Д., Пшинько А.Н. Мезоструктура бетонной смеси и бетона в зависимости от свойств мелкого заполнителя//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1996. – Вып. 2. – С. 21-22.
41. Расчетно-экспериментальный метод прогнозирования стойкости гидротехнического бетона/Е.Б. Бендерский, Б.Н. Дикарев, Б.Г. Ключко, А.Н. Пшинько //Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1996. – Вып. 2. – С. 24-26.

42. Макаров Б.С., Пшинько А.Н., Лисняк В.П. Определение времени первой стадии уплотнения бетонной смеси//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. - 1996. – Вып. 2. – С. 44.
43. Пшинько А.Н., Смирнова О.В., Еременко В.А. Особенности получения легкобетонных стеновых блоков//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Полиграфист. – 1996. – Вып. 2. – С. 31-32.
44. Пшинько А.Н. Длительная прочность бетона в условиях повышенных температур//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 3. – С. 11-13.
45. Пшинько А.Н., Кривошеев К.Э. Влияние структурной пористости на долговечность гидротехнического бетона//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 3. – С. 112-113.
46. Пшинько А.Н. Изменение пористости бетона в условиях повышенных температур//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 4. – С. 8-11.
47. Разработка биогеохимического подхода к проектированию составов бетона/Савин Л.С., Пунагин В.Н., Подгорная Е.О., Василенко С.В., Савин Ю.Л., Пшинько А.Н.//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1997. – Вып. 4. - С. 154-156.
48. Аксиоматические основы технологии бетона/Савин Л.С., Савин Ю.Л., Пшинько А.Н., Подгорная Е.О., Макаров Б.С.//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1998. – Вып. 5. – С. 15-20.
49. Бетонная смесь как биохимтехносистема/Пшинько А.Н., Савин Л.С., Подгорная Е.О., Савин Ю.Л., Лисняк В.П.//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1998. – Вып. 5. – С. 20-23.
50. Пшинько А.Н., Пунагин В.Н., Краснюк А.В. Особенности назначения и оптимизации составов бетона для подводных ремонтных работ//Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Днепропетровск: Арт-Пресс. – 1999. – Вып. 6. – С. 19-27.
51. Пшинько А.Н., Майко В.П. Высокопрочные ремонтные бетоны на основе рядовых цементов//Тр. Респуб. конф. "Технология и организация реконструкции промышленных предприятий". – Днепропетровск. – 1985. – Ч. 2. - С. 79-80.
52. Казакевич М.И., Кулябко В.В., Пшинько А.Н. Виброэкологический мониторинг конструкций многоэтажных зданий и сооружений//Proceeding 4th intern. Conf. "Modern Building Materials, Structures and Techniques"; Vilnius, Lithuania; Vilnius "TECHNIKA". – 1995. – P. 88-93.
53. Пшинько А.Н., Черных В.А., Макаров Б.С. Особенности макроструктуры песчаного бетона с микронаполнителем//Тр. Междунар. науч.-технической конфер. "Проблемы современного материаловедения". – Днепропетровск: ПГАСА. – 1995. – С. 124-125.

54. Модели и методы анализа сложных инженерно-технических и технологических объектов/А.Н. Пшинько, В.Т. Доманский, В.Б. Землянов, В.В. Скалозуб//ЖУЖЕЛ – 98. The 5th international scientific conference of railway experts. – 1998. – Vrnjaska Banja, Yugoslavia. – S. 325-328.
55. Способ уплотнения бетонной смеси: А.с. №833441 СССР, МКИ В 28 В 1/08 /Гусев Б.В., Зазимко В.Г., Сулименко Л.М., Болтрык М. (ПНР) и Пшинько А.Н. (СССР); Конструкторское технологическое бюро "Мосоргстройматериалы" и Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. – № 2750547/29-3; Заявлено 09.04.79; Опубл. 23.05. 81, Бюл. № 20. – 6 с.
56. Форма для изготовления предварительно-напряженных железобетонных труб: А.с. №1668590 Украина, МКИ 5E04C5/12 /Гусев Б.В., Зазимко В.Г., Пшинько А.Н. (СССР); Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Заявлено 17.11.86; Опубл. 07.08.91, Бюл. № 9. – 4 с.
57. Пат. 34074 А UA, МПК 6 C04B26/00. Полімерцементна суміш/Пшінько О.М., Таран А.М., Руденко Н.М., Громова О.В., Краснюк А.В.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 99052957; Заявл. 28.05.99; Опубл. 15.02.2001; Бюл. № 1. – 3 с.
58. Пат. 37979 А UA, МПК 7 C04B40/00. Спосіб активації в'язучої системи/ О.М. Пшінько, В.М. Пунагін, Н.М. Руденко, В.О. Герасименко; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 2000052723; Заявл. 15.05.2000; Опубл. 15.05. 2001; Бюл. № 4. – 3 с.
59. Пат. 36692 А UA, МПК 6 C04B26/00. Бетонна суміш/Савін Л.С., Пшінько О.М., Савін Ю.Л., Пунагін В.М., Таран А.М., Клочко Б.Г., Заяць Ю.Л.; Дніпро-петровський державний технічний університет залізничного транспорту. – №2000010466; Заявл. 28.01.2000; Опубл. 16.04. 2001; Бюл. № 3. – 3 с.
60. Пат. 36701 А UA, МПК 6 C04B24/40. Сировинна суміш для виготовлення газобетону/СавінЛ.С., Пшінько О.М., Савін Ю.Л., Пунагін В.М, Лісняк В.П., Клочко Б.Г., Заяць Ю.Л.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 2000010498; Заявл. 31.01.2000; Опубл. 16.04. 2001; Бюл. № 3. – 3 с.
61. Пат. 36765 А UA, МПК 6 C04B7/02. Сировинна суміш для одержання портландцементу/Савін Л.С., Пшінько О.М., Савін Ю.Л., Пунагін В.М., Сущенко В.В., Заяць Ю.Л.; Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – № 2000020635; Заявл. 07.02.2000; Опубл. 16.04. 2001; Бюл. № 3. – 3 с.

АНОТАЦІЯ

Пшінько О.М. Основи технології підводного бетонування при ремонті штучних транспортних споруд. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – технологія промислового та цивільного будівництва.

У дисертації розроблені наукові основи технології виробництва підводних бетонних робіт при ремонті і відновленні штучних транспортних споруд, що забезпечуються за рахунок комплексного вирішення технологічних, матеріалознавчих та організаційних проблем підводного ремонту.

Сформульовано наукові принципи розробки проектів виробництва підводних ремонтних робіт на основі комплексного аналізу умов експлуатації і стану транспортної споруди, що підлягає відновленню, а також умов організації бетонних робіт.

Виконано систематизацію організаційно-технологічних параметрів об'єктів, які підлягають відновленню, що дозволяє структурно класифікувати фактори, які визначають умови підводного ремонту транспортних споруд.

Розроблено наукові основи підвищення експлуатаційних характеристик бетонного шару при відновленні транспортних споруд. Встановлено, що найбільш ефективним способом підвищення експлуатаційних характеристик ремонтного шару і його зчеплення зі старою кладкою є застосування бетонної суміші на активованій в'язучій речовині, що забезпечує збільшення міцності зчеплення у віці 3 доби у 3,1...3,4 рази. З урахуванням особливостей ведення підводних ремонтних бетонних робіт розроблено аналітичну методологію техніко-економічного обґрунтування різних варіантів проекту виробництва підводних ремонтних робіт, що містить методику оптимізації проектних рішень для конкретних умов підводних ремонтно-відбудовчих робіт на транспортних спорудах.

Ключові слова: підводне бетонування та ремонт, проект виробництва робіт, технологія, критерії ефективності, гідротехнічний бетон, активація, міцність зчеплення.

АННОТАЦІЯ

Пшинько А.Н. Основы технологии подводного бетонирования при ремонте искусственных транспортных сооружений. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.08 – технология промышленного и гражданского строительства.

В диссертации созданы научные основы технологии производства подводных бетонных работ при ремонте и восстановлении искусственных транспортных сооружений за счет комплексного решения технологических, материаловедческих и организационных проблем подводного ремонта, дополняемого положениями разработанной методики технико-экономической оценки проектных решений. Показано, что выполнение ремонтных работ невозможно без разработки специального проекта производства подводных ремонтных работ (ППП РР). Для решения поставленной проблемы сформулированы научные принципы разработки ППП РР на основе комплексного анализа условий эксплуатации и состояния восстанавливаемого транспортного сооружения и условий организации бетонных работ.

Основные исследования посвящены разработке способов подводного бетонирования ремонтируемых элементов транспортных сооружений различного вида, типа разрушения и расположения конструкций относительно уровня воды. Рассмотрены технологические особенности ремонта элементов транспортных сооружений, разделенных на подводные, постоянно находящиеся в воде; расположенные в зоне переменного горизонта воды (наиболее опасный участок разрушения сооружений), а также на надводные, подвергающиеся эпизодическому воздействию воды и мороза. Такое распределение позволило выбрать оптимальные технологические решения, а также исходные материалы для бетонной смеси.

Установлено, что качество ремонтного бетонирования зависит от технологии закачки смеси, заглубления труб, скорости подачи смеси и особенно от состава бетона. Эти положения послужили основой при разработке метода прогнозирования дальности распространения растворной или бетонной смеси под водой. Метод основан на учете активных и пассивных действующих сил в межзерновом пространстве заполнителя. К

активным относятся масса и кинетическая энергия бетонной смеси при ее движении в трубе, к пассивным – тормозящее движение смеси, противодействие водной среды, потеря давления вследствие бокового (о стенки) и внутреннего (между компонентами) трения бетонной смеси и сопротивление ее продвижению вследствие деформации вылитой части бетона. Продвижение раствора в каменной наброске под водой физически представлено как движение тяжелой вязкой жидкости сквозь пустотные каналы наброски под давлением, пропорциональным произведению плотности на высоту столба раствора во вливающей трубе. Двигаясь по этим каналам, раствор преодолевает силу тяжести вылитого раствора и сопротивление сдвигу от трения по поверхности крупного заполнителя. Такое движение заполнителя продолжается до наступления равновесия между давлением всего раствора во вливающей трубе и силами сопротивления.

Выполнен научно обоснованный анализ и определены параметры технологических процессов подводного ремонта различных видов и сложности применимо к транспортным сооружениям, эксплуатируемым в водной среде, в том числе в средах с высокой степенью агрессивности.

С учетом положительных сторон существующих способов подводного бетонирования разработан новый комбинированный способ ремонта и восстановления искусственных транспортных сооружений, в основе которого лежит применение активированного вяжущего. Впервые в технологии подводных бетонов активация вяжущего основана на физическом явлении кавитации, действующей на все компоненты цементной системы в специально разработанном реакторе-активаторе. Доказано, что физико-химическая активация цементной системы осуществляется при столкновении встречных струй материальных частиц, расположенных в жидкой фазе. В связи с этим на основе системного анализа структурообразования гидротехнического бетона на активированном вяжущем в водной среде разработана теория состава бетонной смеси и бетона, представленная системой уравнений для выбора и оптимизации состава по любому критерию оптимальности.

Разработаны научные основы повышения эксплуатационных характеристик бетонного слоя при восстановлении транспортных сооружений. Доказано, что качество ремонта искусственных транспортных сооружений и восстановление их несущей способности определяется прочностью сцепления нового бетона с поверхностью старой кладки. Применение активированного вяжущего обеспечивает увеличение прочности сцепления в возрасте 3 сут в 3,1...3,4 раза, а содержание свободного гидроксида кальция не превышает 4%, что является необходимым условием для получения коррозионно-стойкого материала.

Решение технологических и материаловедческих проблем подводного бетонирования дополняется организационными основами производства подводного ремонта, куда относится разработка штатной структуры и вертикальной подчиненности технического персонала ремонтной организации.

Разработана аналитическая методология технико-экономического обоснования различных вариантов проекта производства подводных ремонтных работ, включающая методику оптимизации проектных решений для конкретных условий подводных ремонтно-восстановительных работ на транспортных сооружениях. Показано, что максимум эффективности целевой функции $w(\bar{x}, \bar{x}_0)$ совпадает с максимумом функции Лагранжа при ограничении производственных затрат для конкретных условий подводного ремонта, что допускает использование дифференциальных уравнений в частных производных для отыскания наибольшей эффективности в виде совокупности алгебраических зависимостей.

Ключевые слова: подводное бетонирование и ремонт, проект производства работ, технология, критерии эффективности, гидротехнический бетон, активация, прочность сцепления.

Abstract

Pshin'ko O.M. The basis of Technology of underwater concreting and repairing artificial transport structures. Manuscript.

The dissertation for gaining a scientific degree of Master of Science; specialty 05.23.08 – Technology of industrial and civil engineering.

The scientific basis of technology of underwater concreting works, which are realized by settling technological, material knowledge and managerial problems of underwater repairing works during reconditioning and repairing artificial transport structures have been developed in the dissertation.

The scientific principles of project designs of underwater repairing works based on complex analysis of operating and current conditions of transport structure, which is the subject to be repaired as well as management conditions of concerning works have been formulated.

The systematization of organizational technological parameters of the structures, which are to be reconditioned have been accomplished. This systematization provides to classify the parameters structurally, which determine the conditions of underwater repairing transport structures.

The scientific basis of improving the performance of the concrete layer during reconditioning transport structures has been developed. It has been found that the most effective method of improving the performance of the concrete repairing layer and its adhesion with the existing masonry is the use of the concrete mix with activated cementing material, which increases the strength of adhesion in 3.1 – 3.4 times after 3 days curing time.

Taking into account the character of underwater concerning repairing works the analytical methodology of technical economical support of various project designs of carrying out the underwater repairing works that includes the method of project design optimization for the particular conditions of the underwater repairing works in transport structures has been developed

Keywords: underwater concerning and repairing, project design of carrying out works, technology, efficiency criteria, hydraulic concrete, activation, adhesion strength.