

З ДОСВІДУ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ В КОНСТРУКЦІЯХ. СТАНДАРТИ І ДОСВІД

Постановка проблеми

Сучасні інформаційні технології озброїли спеціалістів з неруйнівного контролю (НК) приладами нового покоління, що реалізують класичні методи контролю. Дані прилади значно спростили процедуру НК і підвищили продуктивність всього комплексу робіт. Але це також підштовхує фахівців під час обстеження до спрощення описаної у стандартах [2, 3] процедури визначення міцності, що є недопустимим. Як показує досвід, вимоги стандартів не є порожніми [1].

Але, як показує той самий досвід, під час масового контролю в умовах реального будівництва регламентований ланцюжок процедури визначення міцності бетону в монолітних конструкціях розривається, що унеможлиблює прийняття рішення. Це відбувається внаслідок технологічних особливостей виготовлення монолітних конструкцій. Основою достовірного визначення міцності бетону неруйнівними методами є коректно визначена градувальна залежність «непрямий параметр – міцність бетону на стиск», що у монолітних конструкціях стає неможливим, якщо дотримуватись всіх вимог ДСТУ [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій виділяє дві категорії. Перша, і зараз основна – статті рекламного характеру, що описують нові прилади. Друга –

дослідження для ідеальних умов, далеких від реалій будмайданчика.

Мета статті впливає із бажання авторів поділитися з колегами власним досвідом масового інструментального контролю монолітних конструкцій. Наведені методики оптимізують технологію НК і працюють у рамках діючих стандартів.

Викладення матеріалу. Розглянемо основну процедуру встановлення градувальної залежності «непрямий параметр – міцність бетону на стиск». Дана процедура є спільною для всіх методів неруйнівного контролю крім методів місцевого руйнування, які фактично можна розглядати як прямі методи визначення міцності бетону.

Із контрольованого об'єму бетонної суміші відбирається і виготовлюється не менше 30-ти контрольних зразків, або 15-ти серій зразків (одна серія з 2-6 зразків повинна відповідати одному замісу бетонної суміші). На даних зразках вимірюється значення параметру неруйнівного методу (X), а також міцність на стиск (R) шляхом випробування руйнівним навантаженням. В результаті отримується розподіл точок на площині «R-X», що розсіяні навколо деякої кривої градування, параметри якої знаходять математич-

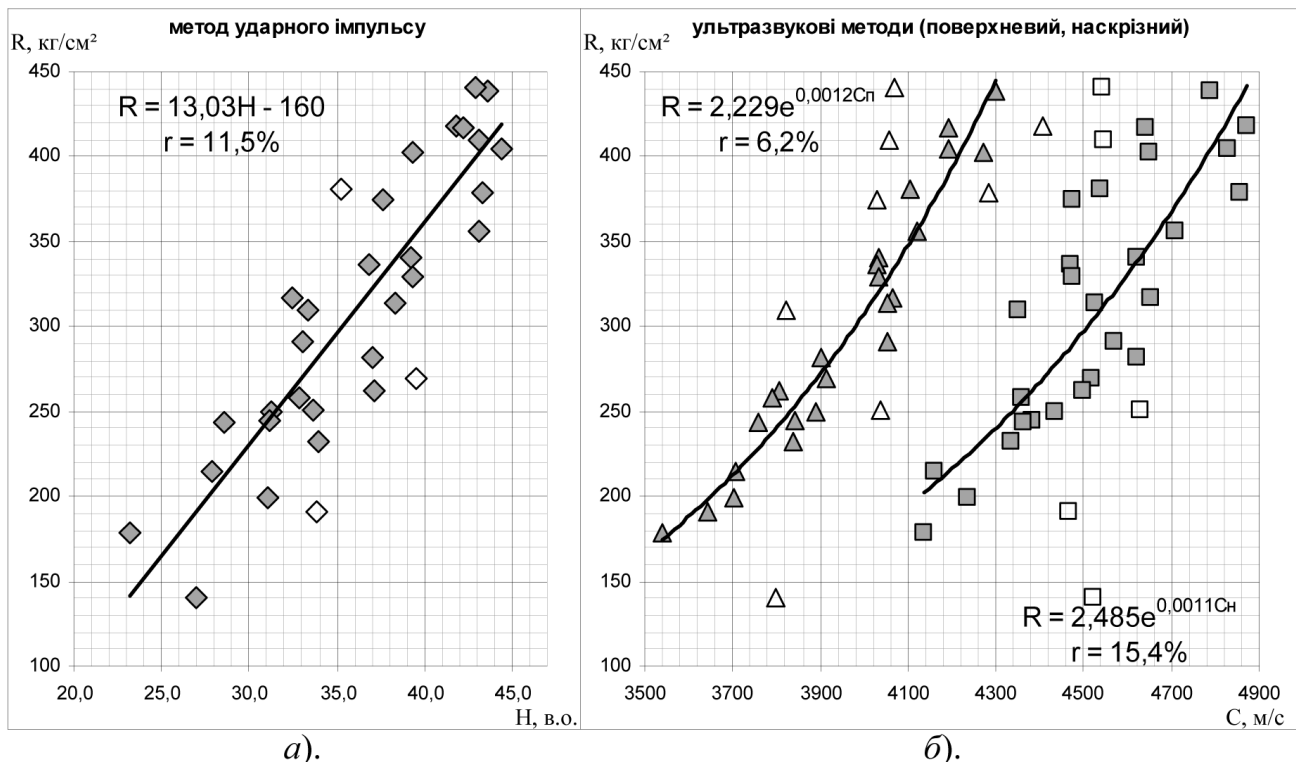


Рис. 1. Градувальні характеристики для приладу "Онікс-2,5" (а) і приладу "Пульсар-1.0" (б), встановлені за випробуванням зразків на заводі ДБК-3 [4].

ним методом найменших квадратів (рис.1). Крім параметрів самої кривої визначається також похибка оцінки міцності, що залежить від ступеню "розсіяності" точок навколо кривої градування, а також проводиться попередня процедура відсіювання "викидів" – точок, занадто віддалених від кривої градування (мат. формули до даних процедур див. в Додатку до відповідних стандартів [2, 3]).

В даних стандартах [2, 3] передбачена велика кількість зразків для побудови залежності, тому під час контролю конструкцій градування в основному здійснюється по контрольним зразкам, що виготовляються на заводі-постачальнику бетонної суміші. Така процедура градування виявляється досить складною для виконання у випадку контролю міцності монолітних конструкцій – фахівцю доводиться їхати на завод і випробувати зразки саме тієї бетонної суміші, що постачалась для виготовлення даних конструкцій. З огляду на це, деякі фахівці нехтують цією вимогою, беручи для визначення міцності готову градувальну залежність, побудовану раніше для якогось іншого випадку обстеження.

Вимога проводити паралельні випробування після змін або при недотриманні технологічних карт та регламентів виготовлення конструкцій з бетону насправді не порожня фраза. Побудовані при відмінних технологічних картах чи навіть регламентах градувальні криві можуть відрізнятись настільки суттєво, що визначена за ними міцність за одними і тими ж значенням непрямого показника відрізнятись у 2-3 рази [5, 6].

Крім зазначеної типової помилки, що викликана порушенням процедури контролю, існує небезпека отримати значні похибки визначення міцності, суворо керуючись вимогами стандартів.

Градувальна залежність, побудована по зразкам з лабораторії заводу, відповідає умовам стабільного заводського виготовлення, і підходить насамперед для контролю збірних конструкцій з даної бетонної суміші, що так само виготовляються за стабільною технологією з обмеженим переліком змінюваних технологічних факторів. Можна стверджувати, що використання «заводської» кореляційної залежності під час контролю конструкцій, що виготовлялись на об'єкті монолітного будівництва, завжди вносить додаткову похибку оцінки міцності до тої похибки, яка була встановлена на заводі при побудові градувальної залежності. Тому великою помилкою є користування даними заздалегідь заготовленими кореляційними залежностями без їхньої додаткової перевірки на самих монолітних конструкціях.

В стандартах [2, 3] передбачена процедура **уточнення градувальної залежності, що була побудована по контрольним зразкам, шляхом випробування методами місцевого руйнування в самих конструкціях**. Даний метод полягає в додатковому паралельному випробуванні (неруйнівним методом і методом відриву зі сколюванням) не менше як в трьох точках з усього об'єму контрольованих конструкцій, за результатом якого враховується поправочний коефіцієнт до вже існуючої градувальної залежності. Детальна методика описана в зазначених стандартах та в методичних посібниках типу [8].

Але що робити в доволі розповсюджених на практиці випадках, коли необхідно перевірити міцність монолітних конструкцій, для яких немає встановлених градувальних залежностей і вже немає можливості випробувати контрольні зразки з даної бетонної суміші? Очевидно, що надійним способом оцінки міцності залишається **масове випробування одним із методів місцевого руйнування**, для яких не треба встановлювати градувальну залежність. Проте, стандарт [2] передбачає не менше 4-х відривів зі сколюванням на окремий заміс (або конструкцію) – щоб врахувати завжди присутню неоднорідність бетону. Тому дана методика, враховуючи високу складність випробування методом відриву зі сколюванням і його напівруйнівний характер, виявляється доволі затратною, особливо, коли мова йдеться про масовий контроль.

Альтернативним способом неруйнівного контролю являється **побудова градувальної залежності для деякого неруйнівного методу на основі випробувань виключно в монолітних конструкціях** методом відриву зі сколюванням. Даний спосіб не потребує наявності попередньо встановленої градувальної залежності і мінімізує кількість прямих випробувань, здійснюючи масове обстеження одним з неруйнівних методів.

Розглянемо послідовно окремі етапи запропонованої методики.

1-й Етап – виконання «масовки». Одним з неруйнівних методів – ультразвуковим поверхневого прозвучування або ударного імпульсу, з певним кроком обстежується доступна поверхня всіх контрольованих конструкцій. Це є так звана «масовка», за якою потім обчислюватиметься міцність бетону в усіх конструкціях. Фахівець на місці вибирає метод обстеження, в залежності від стану поверхні бетону, проте бажано виконувати «масовку» одразу двома методами, що підвищить надійність результатів контролю. Використання методу наскрізного прозвучування є бажаним, оскільки ним вимірюються властивості бетону в усій товщі конструкції, і тому він є більш інформативним та точним. Але реалізувати «масовку» останнім набагато складніше, ніж одним з поверхневих методів, тому автори у своїй практиці зупиняються на них.

Окреме значення непрямого показника визначається як середнє арифметичне за результатом серії вимірювання на одній невеликій ділянці бетону, причому серія повинна бути не менш як з 10-ти точок для методу ударного імпульсу і не менш 5-ти для поверхневого прозвучування. При визначенні середнього арифметичного важливим є застосування відбраковування «викидів» із серії вимірювань – нетипово низьких або високих значень. Зазвичай в сучасних приладах процедура відбраковування «викидів» та визначення середнього значення в серії вимірювань здійснюється в автоматичному режимі. Оператору не потрібно записувати кожне виміряне значення та проводити відповідні розрахунки.

Крок «масовки» обирається оператором виходячи з розмірів конструкцій і вимог надійності контролю, поставлених в задачі на обстеження. Мінімально допустима кількість ділянок вимірювання на одиницю

площі поверхні окремих типів конструкцій приведена у стандартах на неруйнівні методи [2, 3].

У вертикальних монолітних конструкціях спостерігається ефект седиментації та різного ступеня ущільнення бетонної суміші верхньої та нижньої частини конструкції. Середні значення як непрямого показника, так і міцності бетону в цих частинах будуть відмінними – верхня частина майже завжди буде слабшою, причому відмінність по міцності може бути до 15%. Тому в вертикальних конструкціях слід обов'язково робити масовку на різних рівнях по висоті.

2-й Етап – визначення градуовальної залежності. Для побудови кривої, в залежності від об'єму контрольованих конструкцій, відбираються не менше шести конструкцій таким чином, щоб серед них була приблизно однакова їх кількість з високим, середнім і низьким значенням параметру неруйнівного методу. Даний направлений відбір потрібен для забезпечення рівномірності розподілу точок по всій протяжності градуовальної кривої.

Обрані конструкції обстежуються методом відриву зі сколюванням, який полягає в тому, що в бетоні виконується шпур діаметром 16 і глибиною приблизно 45 мм, в якому закріплюється анкерний пристрій на глибину 25 ... 35 мм, що потім виривається з конструкції з одночасною фіксацією максимального зусилля відриву – дане зусилля

буде пропорційне міцності бетону на стиск. Місця відривів вибираються таким чином, щоб на кожний окремий заміс бетонної суміші (межі яких видно за рахунок перерв у бетонуванні) припадало не менше 2-3 відривів.

В місцях відривів попередньо визначається середнє значення непрямого показника. За результатом обстеження будується градуовальна залежність між непрямим показником і міцністю аналогічно до залежності “по кубикам” – за тою відмінністю, що кількість точок може бути меншою.

Зупинемося окремо на питанні необхідної кількості прямих випробувань. Для забезпечення надійного контролю не варто виходити з їх мінімально допустимої кількості – як у випадку даної методики, так і при методиці уточнення існуючої градуовальної залежності. Рішення завжди залишається за спеціалістом, і під час його прийняття він повинен враховувати, в першу чергу, тісноту отриманої кореляції чи величину уточнюючого впливу. У випадку, якщо за запропонованою методикою отримуються не дуже тісні кореляції, слід збільшити кількість конструкцій з прямими випробуваннями. Та навіть при прямих випробуваннях всіх контрольованих конструкцій застосування неруйнівного методу за даною методикою є виправданим, оскільки дозволяє зменшити кількість відривів на окремих конструкціях (з 4-х до 1-2-х).

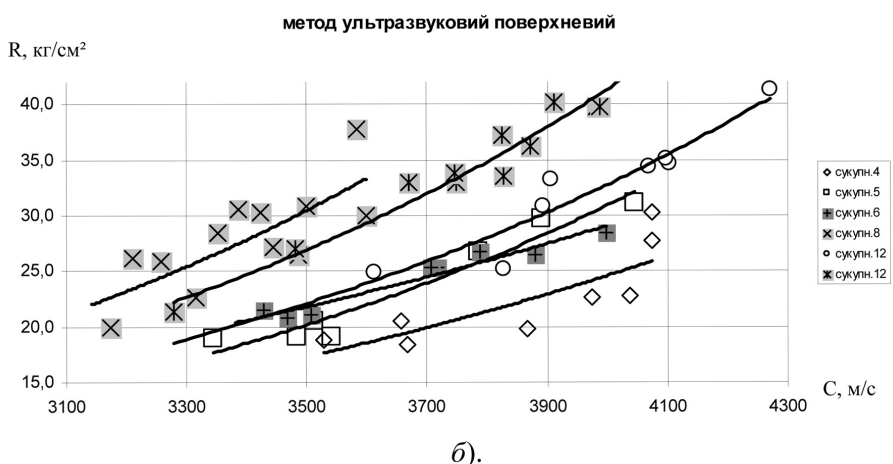
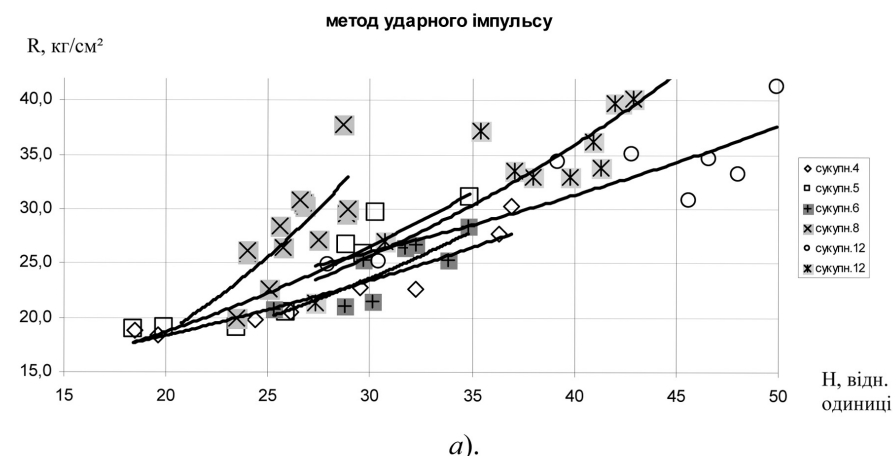


Рис.2. Градуовальні характеристики для приладу “Онікс-2,5” (а) і приладу “Пульсар-1.0” (б), встановлені за випробуванням окремих сукупностей монолітних конструкцій на об’єкті по вул. Тичини, м. Київ.

3-й Етап – обчислення міцності бетону в конструкціях. Визначати міцність бетону в кожній вимірюваній точці конструкції не має сенсу – спочатку обчислюється середнє значення непрямого показника в окремих конструкціях або їх частинах (для вертикальних або крупногабаритних конструкцій), а потім за градуовальною залежністю визначається міцність даних конструктивних елементів, що і являється результатом обстеження.

Тепер розглянемо узгодженість методики із діючими стандартами.

Дана методика не регламентована відповідними ДСТУ [2, 3], але в багатьох випадках, коли немає можливості випробувувати контрольні зразки, вона являється єдиним можливим способом надійного неруйнівного контролю міцності. Окрім того, вона має вже зазначену вище перевагу в тому, що градуовальна залежність будується безпосередньо на тому бетоні, який контролюється. Для ілюстрації цієї переваги наведемо результат побудови градуовальних залежностей за даною методикою на одному з об'єктів монолітного будівництва в м. Києві. Градуовальні залежності, що наведені на рис. 2, будувались за результатом обстежень конструкцій, що були виготовлені з бетонної суміші одного заводу, але в різні, послідовні періоди часу, різними бригадами будівельників і за відмінних кліматичних умов (різниця температури – до 10°C). Відмінним був також вік бетону для різних обстежуваних конструкцій.

Аналізуючи всю сукупність випробувань, можливо виділити окремі групи конструкцій, для яких градуовальні криві виявляються спільними. Значно більша розсієність кривих для ультразвукового методу в даному випадку пояснюється змінюваністю бази прозвучування від обстеження до обстеження, що не враховувалось шляхом калібрування приладу (в наслідок чого криві дещо зміщувались по осі швидкості). Проте можна зазначити, що в ультразвуковому методі всі криві лежать практично під одним кутом, що дозволяє розбити обстежувані конструкції на окремі сукупності більш впевнено, ніж в методі ударного імпульсу, для якого деякі криві виявились з суттєво відмінними кутами нахилу. Отже, ультразвуковий поверхневий метод виявився більш універсальним – з меншою чутливістю параметрів градуовальної залежності до зміни проектної технології виготовлення бетону, ніж метод ударного імпульсу.

Розглянемо окремо питання доцільності використання в даній методиці методу наскрізного ультразвукового прозвучування.

Кореляція показників даного методу з міцністю є менш чутливою до змін в технології виготовлення, порівняно з поверхневими неруйнівними методами. Саме тому це єдиний метод, який допустимий діючими стандартами і радянськими ГОСТами під час оцінки міцності в монолітних конструкціях. Проте за результатом випробувань на даному об'єкті, авторами було проведено дослідження, яке не виявило помітно вищу точність наскрізного ультразвукового методу порівняно з поверхневим. Це пояснюється тим, що, незважаючи на явні переваги фізичного принципу наскрізного

прозвучування, даний метод має особливо великі методичні похибки вимірювання, що пов'язані з необхідністю забезпечувати якісний акустичний контакт «датчик-бетон» та з неможливістю точного оперативного вимірювання бази прозвучування під час кожного вимірювання часу розповсюдження. Додаткове підтвердження цього приведено на рис. 1, з якого видно, що під час побудови градуовальної залежності за контрольними зразками на заводі похибка оцінки міцності для обох поверхневих методів виявилась значно нижчою, ніж для наскрізного методу. З огляду на дані особливості методів, в нових стандартах РФ [7] наряду зі старою процедурою побудови градуовальної залежності по зразкам введена описана вище процедура побудови на основі випробувань лише в конструкції, в якій вже дозволяється застосовувати тільки поверхневі неруйнівні методи для контролю міцності в монолітних конструкціях. По-суті, можливість такого контролю допускається радянськими ГОСТами та діючими ДСТУ – в тій частині, де зазначається, що зміни в методиці проведення неруйнівного контролю можливі, якщо вони узгоджені з провідною контролюючою організацією.

Висновки.

1. Побудова градуовальної залежності є обов'язковою процедурою неруйнівного контролю при змінах технологічної карти чи регламенту виготовлення конструкцій. У випадку монолітних конструкцій зміни регламенту виникають особливо часто з причини наявності додаткової процедури доставки бетонної суміші з місця виготовлення до місця бетонування і з огляду на слабший операційний контроль процесу бетонування.

2. При контролі монолітних конструкцій процедуру градуовання по зразкам, згідно з ДСТУ [2, 3], реалізувати складно, тому багато фахівців використовують градуовальні залежності з попередніх обстежень, вносячи тим самим додаткову похибку в оцінку міцності. Виходом є встановлення нової або уточнення „застарілої” градуовальної залежності за результатами випробувань методом місцевого руйнування безпосередньо на конструкціях. Альтернативою може бути лише суцільний контроль методом відриву зі сколюванням (який є найбільш зручним і точним з напівруйнівних методів), але така методика є дуже затратною.

3. Основним результатом дослідження в статті є висновок про те, що побудова нових градуовальних залежностей за методом відриву зі сколюванням дозволяє з усієї сукупності обстежуваних конструкцій виділяти окремі групи, для яких градуовальні залежності будуть помітно відрізнятися. Це значно підвищує точність контролю, порівняно з методикою побудови градуовальної залежності по зразкам на заводі.

Отже, встановлення градуовальної залежності методом відриву зі сколюванням, або уточнення цим же методом деякої залежності, побудованої по зразкам, виявляється єдиним надійним способом неруйнівного контролю міцності бетону в монолітних конструкціях. У випадках, коли обстежується бетон невідомого складу, цей спосіб є, до того ж, єдино можливим.

4. Вимога діючого стандарту [3] щодо контролю міцності бетону в монолітних конструкціях ультразвуковим методом лише при наскрізному прозвучуванні є невиправданою. Теоретично швидкість ультразвуку при наскрізному прозвучуванні краще корелює з міцністю, ніж при поверхневому прозвучуванні, але на практиці це виявляється навпаки – через значні інструментальні похибки вимірювання, що пов'язані із варіацією бази при наскрізному прозвучуванні.

В діючих у Російській Федерації стандартах на неруйнівні методи контролю міцності бетону [7] дана вимога в її строгому формулюванні скасована, як і вимога будувати градувальну залежність виключно «по зразкам».

ЛІТЕРАТУРА.

1. Ярас В.І., Ловейкін С.О. З досвіду визначення міцності бетону в конструкціях. Питання і помилки. // «Строительные материалы и изделия». – 2011. – №4 (69). – С. 23–25.

2. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю (ГОСТ 22690-88).

3. ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності (ГОСТ 17624-87).

4. Визначення міцності бетону на стиск неруйнівними методами за допомогою нових приладів з цифровою обробкою даних. – С.О. Ловейкін (КНУБА, Київ).

5. Джонс Р., Фэксору И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. – М.: Стройиздат, 1974. – 292 с.

6. Ужполявичюс Б.Б. Неразрушающие методы контроля и оценка прочности бетона в железобетонных конструкциях. – Вильнюс: Мокслас, 1982. – С. 194.

7. СТО 36554501-009-2007 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности».

8. Методические рекомендации по статистическому контролю прочности бетона с учетом эффективности испытаний. – К.: НИИСК, 1981.

УДК 666.972.124

*Дудар І.Н., доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри містобудування та архітектури;
Краєвський С.О., магістрант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

СТВОРЕННЯ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТОНКОЗЕРНИСТИХ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ ПОРОШКОВИХ БЕТОНІВ

Постановка проблеми. Високі темпи в будівництві житлових і промислових об'єктів з спеціально навантаженими конструкціями, такі як, великопрольотні мости, хмарочоси, морські нафтові платформи і т.д., вимагають розроблення і дослідження нових ефективних бетонів. Значний прогрес в цьому напрямку починається з кінця 80-х років минулого століття. Сучасні високоякісні бетони містять в собі великий спектр різного призначення: високоміцні й над високоміцні бетони [1,3], самоущільнюючі бетони [2,3], висококорозійностійкі бетони [1,2,3], реакційно-порошкові дисперсно-армовані бетони (Reaction powder concrete – RPC або Reactive Powder Concrete – RPC [1]).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових робіт в області дисперсно-армованих бетонів і їх виробництво в вітчизняній практиці показує, що основна орієнтація не заключається у використанні в таких бетонах високоміцних матриць. Клас дисперсно-армованих бетонів по міцності на стиск залишається невисоким і обмежується В30-В50 [2,3]. Це не дозволяє забезпечити хорошого зчеплення фібри з матрицею, повністю використовувати сталю фібру навіть з невисокою міцністю на розрив. Більш того, в теорії розробляються, а на практиці використовують бетонні вироби з вільно вкладеними волокнами з степінню об'ємного армування 5–9 % [3]; формують їх під дією вібрації на основі пластифікованих «жирних» високовкладаючих цементно-піщаних розчинів складу: цемент-пісок – 1:0,4÷1:2,0 при В/Ц = 0,4, що являється неефективним розтратливим способом. Значні наукові досягнення в області створення бетонів низької водо

потреби, мікродисперсних сумішей з мікрокремнеземом (МК), з реакційно-активними порошками із високоміцних гірських порід, дозволили довести водоредукуючу дію до 60% з використанням суперпластифікаторів (СП) і гіперпластифікаторів (ГП).

Постановка завдання. Мета статті являється розробка складу високоміцних тонкозернистих реакційно-порошкових бетонів, в тому числі, дисперсно-армованих бетонів, з використанням мілко подрібнених гірських порід.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити комплекс задач:

- виявити основи теоретичних передумов і мотивацій створення багатокомпонентних тонкозернистих порошкових бетонів з щільною, високоміцною матрицею, отриманою литтям при наднизькому водоутриманні, що забезпечує виготовлення бетонів з в'язким характером руйнування і високої міцності на розтяг при згині;

- визначити структурну топологію композиційних в'язучих і дисперсно-армованих тонкозернистих композицій.

Викладення основного матеріалу. Поєднання мікрокремнезему і суперпластифікатора з заміною крупного піску на мілкий з найбільшим розміром зерен 0,5 мм, із використанням гранітного щебня з максимальним розміром 8 мм дозволяє отримати на самоущільнюючому бетоні з В/Ц=0,18 міцність при стиску 130 МПа при міцності на розтяг при згинанні 13 МПа [2]. Введення фібри неістотно збільшує міцність при стиску (на 15%), але міцність на розтяг при