УДК 691.32

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.9>**Шишкіна О.О.**к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область**Шишкін О.О.**д.т.н., професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів,
матеріалів та конструкцій,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область

ВПЛИВ МІЦЕЛ, НАПОВНЕНИХ РЕАКЦІЙНИМИ ПОРОШКАМИ, НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ

Анотація. Ремонт, відновлення та реконструкція наявних будівельних об'єктів, відновлення експлуатаційних функцій яких можливе лише на певні короткі періоди часу, зокрема, підземні переходи, тротуари, будівлі в аеропортах та залізницях, гідротехнічні споруди, вимагають використання ефективних швидкотвердіючих матеріалів. Визначено, що активними компонентами сучасного бетону є активні мінеральні наповнювачі, такі як мікрокремнезем, метакаолін, золи або композиції з них, а також суперпластифікатори. Оптимальне поєднання цих добавок-модифікаторів дозволяє контролювати реологічні властивості бетонних сумішей і модифікувати структуру цементного каменю таким чином, щоб забезпечити властивості бетону, які визначають високу експлуатаційну надійність конструкцій. Однак зазначені добавки мають певні недоліки, які заважають їх широкому використанню. До таких недоліків мікрокремнезему слід віднести те, що він є відходом виробництва, а отже, не має стабільності властивостей. Недоліком метакаоліну є його висока вартість через досить великі витрати енергії на його приготування. Метою дослідження є визначення впливу реакційних порошків, застосовуваних одночасно з колоїдними поверхнево-активними речовинами, на міцність дрібнозернистого бетону та швидкість його утворення. Встановлено, що міцність на стиск бетону в результаті гідратації дисперсної системи «Портландцемент – колоїдна поверхнево-активна речовина – реакційний порошок» у разі використання як реакційного порошку розмеленого річкового піску в кількості 15 ... 18% від маси дисперсної фази системи, 20 ... 30% золи ТЕС, 10–30% тонкої фракції відходів збагачення залізної руди та гранульованого доменного шлаку вища міцності бетону, отриманого на основі звичайного портландцементу без добавок. найвищою швидкістю формування міцності та її кінцевою величиною володіє бетон, що містить доменний гранульований шлак як реакційний порошок.

Ключові слова: бетон, міцність, поверхнево-активна речовина, мікрокремнезем, пісок, доменний гранульований шлак, відходи збагачення залізних руд, зола.

Постановка проблеми. Обов'язковими компонентами сучасного функціонального бетону є активні дрібнодисперсні мінеральні наповнювачі (наприклад, мікрокремнезем, метакаолін, золи або композиції з них) та високоефективні суперпластифікатори. Оптимальна комбінація цих добавок-модифікаторів дозволяє контролювати реологічні властивості бетонних сумішей та модифікувати структуру цементного каменю на мікрорівні, щоб забезпечити властивості бетону, які гарантують високу експлуатаційну надійність конструкцій.

Інтенсивні способи будівництва вимагають впровадження сучасних технологій, які б забезпечили зведення монолітних конструкцій за короткий час, збільшили оборот опалубки, збільшили ефективність будівельних робіт у різних температурних умовах затвердіння, скоротили виробничий цикл. З огляду на особливості монолітних конструкцій, коли твердіння бетону відбувається без використання або з обмеженими тепловими ефектами, для високошвидкісних технологій обов'язковим є введення швидкотвердіючих в'язучих речовин з можливістю отримання

високоміцного бетону за один-два дні. Крім того, сучасне будівництво вимагає вирішення низки інженерних проблем для підтримання ефективності та функціональності наявних будівель, споруд, дорожньої інфраструктури, що пов'язане зі збільшенням фізичного зносу основних фондів. Тому є необхідність у розробці високоефективних швидкотвердіючих будівельних композитів для того, щоб забезпечити введення об'єктів в експлуатацію за короткий проміжок часу та надійну їх експлуатацію протягом життєвого циклу. Ремонт, відновлення та реконструкція наявних будівельних об'єктів, відновлення експлуатаційних функцій яких можливе лише на певні короткі періоди часу (підземні переходи, тротуари, будівлі в аеропортах та залізницях, гідротехнічні споруди), вимагають використання ефективних швидкотвердіючих матеріалів.

Аналіз останніх досліджень. Отримані властивості бетону – результат складних колоїдно-хімічних та фізичних процесів, що впливають на фазовий склад, пористість і міцність цементного каменю [1–5]. Для модифікованого бетону характерні висока і надвисока міцність, низька проникність і екзотермічність, підвищена корозійна стійкість і довговічність, поліпшені деформаційні характеристики. Важливо зазначити, що ці властивості досягаються за допомогою високої рухливості та сумішей, що самоущільнюються, із зниженими витратами цементу [6–8]. Натепер використовуються такі найпоширеніші добавки-модифікатори, як мікрокремнезем та метакаолін [9–11]. Однак зазначені добавки мають певні недоліки, які заважають їх широкому використанню. До таких недоліків мікрокремнезему слід віднести те, що він є відходом виробництва, а отже, не має стабільності властивостей. Недоліком метакаоліну є його висока вартість через досить великі витрати енергії на його приготування.

На підставі викладеного, а також результатів досліджень у галузі міцелярного каталізу реакцій синтезу гідросилікатів кальцію [12] була визначена мета досліджень, результати яких представлені у цій роботі.

Мета дослідження – визначення впливу реакційних порошків, що застосовуються одночасно з колоїдною поверхнево-активною речовиною (ПАР), на міцність дрібнозернистого бетону та швидкість його формування. Відповідно до мети завданнями досліджен-

ня є визначення залежності міцності бетону від кількості реакційно-здатного порошку як у присутності колоїдних ПАР, так і без них; визначення впливу колоїдної ПАР на ефективність реакційного порошку щодо збільшення міцності бетону.

Об'єкти та методи дослідження. Для виробництва бетону використовували портландцемент М400 ВАТ «Хайдельберг Цемент Кривий Ріг» (Україна). Як дрібний заповнювач використовували відходи збагачення залізних руд Новокриворізького гірничо-збагачувального комплексу ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг», що мають максимальний розмір частинок 0,63 мм. Як колоїдну поверхнево-активну речовину (МПАР) застосовували олеат натрію (Simagchem Corp., Китай). Як реакційно-здатні порошки використовували золу видалення ТЕС, дрібнозернисту фракцію відходів збагачування залізної руди і мелені до питомої поверхні (300 ± 25) м²/кг доменний гранульований шлак та річковий пісок.

Модифікація наномодифікатора проводилася шляхом його обробки водним розчином МПАР, який мав концентрацію МПАР 0,1%.

Компоненти бетонної суміші дозували у необхідних кількостях, згідно з планом експерименту, перемішуючи лабораторним змішувачем протягом 2 хвилин. Отриману суміш містили у металеві форми, що мають розмір сторони 16х4х4 см. Ущільнення суміші здійснювали вібраційним ущільнювачем. Сформовані таким чином зразки бетону тверділи протягом 28 діб за вологості навколишнього середовища $(70 \pm 10)\%$ і температури навколишнього середовища (293 ± 2) К.

Результати досліджень

Міцність на стиск бетону в результаті гідратації дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок» у разі використання як реакційно-здатного порошку розмеленого річкового піску в кількості 15 ... 18% від маси дисперсної фази системи (рис. 1), 20 ... 30% золи ТЕС (рис. 2) і 10–30% тонкої фракції відходів збагачення залізної руди (рис. 3) та гранульованого доменного шлаку (рис. 4) вища міцності бетону, отриманого на основі звичайного портландцементу без добавок.

Таким чином, наявність у дисперсній системі колоїдної ПАР забезпечує підвищену міцність на стиск отриманого бетону.

Швидкість набору міцності у разі стиску бетону, що отримана в результаті затвердіння

Рис. 1. Вплив вмісту меленого піску на міцність у разі стиску бетону, отриманого на основі дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок»

Рис. 2. Вплив золи ТЕС на міцність у разі стиску бетону, отриманого на основі дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок»

Рис. 3. Вплив вмісту відходів збагачення залізної руди на міцність у разі стиску бетону, отриманого на основі дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок»

Рис. 4. Вплив вмісту МПАР на міцність у разі стиску бетону, отриманого на основі дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок» (DHA – доменний гранульований шлак)

Рис. 5. Порівняння ефективності реактивних порошків
(River sand – річковий пісок, Ash TPP – зола винесення ТЕС, BBZP – відходи збагачення залізної руди, DHA – доменний гранульований шлак)

дисперсної системи «Портландцемент – МПАР – реакційний порошок», залежить від застосовуваного реакційного порошку. Найвищою швидкістю набору міцності та її кінцевою величиною є бетон, що містить доменний гранульований шлак як реакційний порошок.

Таким чином, не тільки складний МПАР, але і реакційний порошок забезпечує збільшення швидкості міцності бетону.

Аналіз результатів проведених досліджень показав наявність оптимального вмісту в досліджуваній системі реакційного порошку, величина якого залежить від виду останнього. Порівняльний аналіз впливу зазначених типів реакційних порошків, що використовуються для зміни міцності бетону, отриманого на основі досліджуваної системи (рис. 5), показав, що використання як реакційного порошку меленого гранульованого шлаку забезпечує найбільший ефект підвищення міцності бетону порівняно з іншими реакційно-здатними порошками.

Визначення ефективності застосування поверхнево-активної речовини залежно від виду реакційного порошку показало, що її найбільш раціонально застосовувати одночасно із доменним гранульованим шлаком. У такому разі відбувається найбільший приріст міцності (рис. 6).

Висновки. Дослідження та їх результати показали, що використання колоїдної поверхнево-активної речовини призводить до підвищення ефективності використання мінеральних порошків, зокрема, у разі відходів збагачення залізних руд та доменного гранульованого шлаку в дрібнозернистому бетоні. Найефективнішим реакційно-здатним порошком, який доцільно використовувати одночасно з МПАР, є доменний гранульований шлак. Це означає, що використання МПАР є більш ефективним для модифікації бетону на основі шлакопортландцементу, ніж для бетону в портландцементі.

Рис. 6. Ефективність застосування поверхнево-активної речовини залежно від виду реакційного порошку
 (River sand – річковий пісок, Ash TPP – зола винесення ТЕС, BBZP – відходи збагачення залізної руди, DHA-28 – вміст доменного гранульованого шлаку 28%, DHA-65 – вміст доменного гранульованого шлаку 65%)

Література

- Капрієлов С.С., Кардунян Г.С. Нові модифіковані бетони в сучасних спорудах. *Бетон і залізобетон*. 2011. № 2. С. 78–82.
- Капрієлов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Нові модифіковані бетони, Москва, 2010. 258 с.
- Фролов А.В., Чумадова Л.І., Черкашин А.В., Акімов Л.І. Экономичность использования и влияние наноразмерных частиц на свойства легких высокопрочных бетонов. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 19. С. 51–61.
- Толстой А.Д., Лесовік Б.К., Загороднюк І.Х., Ковальова І.А. Порошкові бетони із застосуванням техногенної сировини. *Вісник МГСУ*. 2015. № 1. С. 101–109.
- Сопов В.П., Ткачук А.Л. Вплив мінеральних домішок на структуроутворення цементного каменя. *Науковий вісник будівництва*. № 66. 2011. С. 250–254.
- Мороз М.Н., Калашников В.І., Худяков В.А., Василик П. Водостойкий мелкозернистый бетон, гидрофобизированный наночастицами стеарата кальция. *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 55–59.
- Номов А.В., Лигденов В.В., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А. Мелкозернистый цементный бетон с нанодисперсным модификатором. *Нанотехнології в будівництві: науковий Інтернет-журнал*. 2010. № 4. С. 42–52.
- Христофоров А.І., Христофорова І.А., Кузьмін Д.І. Мелкозернистый бетон, модифицированный органическими соединениями Na⁺. *Будівництво і реконструкція*. 2011. № 2. С. 104–109.
- Морозов Н.М., Боровських І.В., Влияние метакеолина на свойства цементных систем. *Известия КГАСУ*. 2015. № 3(33). С. 127–132.
- Краснобаєва С.А., Медведєва І.Н., Бриков А.С., Стафєєва З.В. Свої властивості матеріалів на основному портландцементі з додаванням метакеоліну МКЖЛ. *Цемент и его применение*. 2015. С. 50–55.
- Кльосова А.І., Голубєва О.А. Влияние комплексных метакеолиновых добавок на свойства цементного камня. *Проблеми геології та освоєння надр*. 2014. С. 672–673.

12. Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Дослідження впливу нанокаталізу на формування мінливості реакційного порошкового бетону. *Східно-Європейський журнал корпоративних технологій*, 2016. № 1/6 (79). С. 55–60.

References

1. Kaprielov S.S., Kardumyan G.S. Novi modifikovani betoni v suchasni sporudah. Beton i zhelezobeton. 2011. 2. 78–82 .
2. Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S. Novi modifikovani betoni, Moskva, 2010. 258 s.
3. Frolov A.V., Chumadova L.I., Cherkashin A.V., Akimov L.I. Ekonomichnist ispolzovaniya ta vliyunya nanorazmernih chastits na svoysya legkih visokoprochnih betonov. Stroitelstvo unikalnih zdaniy i sooruzheniy. 2014. 19. 51–61 .
4. Tolstoy A.D., Lesovik B.K., Zagorodnyuk I.H., Kovalova I.A. Poroshkovi betoni iz zastosuvannyam tehnogennoy sirovini. Visnik MGSU. 2015. 1. 101–109 .
5. Sopov V.P., Tkachuk A.L. Vliyannya mineralnih dobavok na strukturoutvorenniya tsementnogo kamnya. Naukoviy visnik budivnitstva. 66. 2011. 250–254 .
6. Moroz M.N., Kalashnikov V.I., Hudyakov V.A., Vasilik P. Vodostojkij melkozernisty beton, gidrofobizirovanny nanochasticami stearata kalciya. Budivelni materialy. 2009. 8. 55–59 .
7. Nomov A.V., Ligdenov V.V., Urhanova L.A., Lhasaranov S.A. Melkozernisty tsementny beton z nanodispersnim modifikatorom. Nanotehnologiyi v budivnitstvi: naukoviy Internet-zhurnal. 2010. 4. 42–52 .
8. Hristoforov A.I., Hristoforova I.A., Kuzmin D.I. Melkozernisty beton, modifikovaniy organichnimi soedinenniyami Na⁺. Budivnitstvo i rekonstruktsiya. 2011. 2. 104–109 .
9. Morozov N.M., Borovskih I.V. Vliyanie metakaolina na svoystva tsementnykh sistem. Izvestiya KGASU. 2015. 3(33). 127–132.
10. Krasnobaeva S.A., Medvedeva I.N., Brikov A.S., Stafeyeva Z.V. Svoi vlastivosti materialiv na osnovnomu portlandtsementi z dodavannyam metakaolinu MKZhL. Tsement i ego primenenie. 2015. 50–55.
11. Klosova A.I., Golubeva O.A. Vliyanie kompleksnykh metakaolinovykh dobavok na svoystva tsementnogo kamnya. Problemi geologiyi ta osvoennya nadr. 2014. 672–673.
12. Shishkina O.O., Shishkin O.O. Doslidzhennya vplivu nanokatalizu na formuvannya minlivosti reaktsynogo poroshkovogo betonu. Shidno-Evropeyskiy zhurnal korporativnih tehnologiy, 2016. 1/6 (79). 55–60.

INFLUENCE OF MYCELES FILLED WITH REACTIVE POWDER FOR CONCRETE STRENGTH

Abstract. Repair, restoration and reconstruction of existing construction sites, the restoration of operational functions of which is possible only for certain short periods of time, including underpasses, sidewalks, buildings in airports and railways, hydraulic structures, requires the use of effective fast-setting materials. It is determined that the active components of modern concrete are active mineral fillers, such as microsilica, metakaolin, ash, or compositions thereof, as well as superplasticizers. The optimal combination of these additives-modifiers allows you to control the rheological properties of concrete mixtures and modify the structure of cement stone so as to ensure the properties of concrete, which determine the high operational reliability of structures. However, these additives have certain disadvantages that prevent their widespread use. Such disadvantages of microsilica include the fact that it is a waste product and, therefore, has no stability properties. The disadvantage of metakaolin is its high cost due to the relatively high energy consumption for its preparation. The aim of the study is to determine the effect of reaction powders used simultaneously with colloidal surfactants on the strength of fine-grained concrete and the rate of its formation. It is established that the compressive strength of concrete as a result of hydration of the dispersed system “Portland cement – colloidal surfactant – reaction powder”, when used as a reaction powder of ground river sand in the amount of 15 ... 18% by weight of the dispersed phase of the system, 20. ... 30% of TPP ash, 10–30% of the fine fraction of waste iron ore beneficiation and granular blast furnace slag above the strength of concrete obtained on the basis of ordinary Portland

cement without additives. Concrete containing blast furnace granulated slag as a reaction powder has the highest rate of strength formation and its final value.

Key words: concrete, strength, surfactant, microsilica, sand, blast furnace granulated slag, iron ore beneficiation waste, ash.

Shyshkina O.O.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technology of Building Products, Materials and Structures,
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region

Shyshkin O.O.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Building Products, Materials and Structures,
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region