

- I-Final Report. [Text]/ U.S. department of transport. Federal highway admin. – 2006. – 151 p.
12. Hattori K. Mechanism of Slump Loss and Its Control // Journal of the Society of Materials Science, Japan. – Vol. 29, №. 318. 1980 – pp. 240–246.
  13. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Суміші бетонні. Методи випробувань. – К.: Держ. ком. арх., будів. і житл. політ. України, 2002. – 32 с. (Станд. України).
  14. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К.: Мінрегіонбуд України – 43 с. (Станд. України).
  15. Бетони для зведення гідротехнічних споруд [Текст] / В. П. Сопов, Д. А. Сінякін, О. В. Кабусь // Науковий вісник будівництва. - 2018. - Т. 91, № 1. - С. 140-145.
  16. Проблема совместимости химических добавок с различными видами цементов [Текст] / В. П. Сопов, В. П. Долгий, А. Л. Ткачук // Науковий вісник будівництва. - 2015. - № 1. - С. 262-266.

**Кабусь О.В., Буцька Л.М. ПРОБЛЕМЫ СОХРАННОСТИ ПОДВИЖНОСТИ ТОВАРНОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ ВО ВРЕМЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ.** В работе рассмотрены проблемы сохранения подвижности товарных бетонных смесей во время транспортировки к строительной площадке. Были полученные результаты, которые показывают наличие проблемы потери подвижности бетонных смесей с химическими добавками высокого водоредуцирующего действия. Применение таких технологических приемов, как увеличение начальной подвижности и поэтапного

введения добавки суперпластификатора оказались эффективными технологическими решениями.

**Ключевые слова:** товарный бетон, подвижность, суперпластификатор, замедлитель, порционное введение добавки.

**Kabus O., Butska L. PROBLEMS OF PRESERVATION OF MOVEMENT OF COMMODITY CONCRETE MIXTURE DURING TRANSPORTATION.** The work is devoted to the study of changes in the time of mobility of concrete mixtures, which are used for commercial concrete with monolithic construction. The urgency of work is connected with the constantly increasing volumes of use of commodity concrete, which have in its composition additives of various functional effects, which improve their properties. However, despite this, the problem of maintaining the mobility of concrete mixtures during transportation and placing them on the construction site becomes more relevant. The purpose of the work is to study and evaluate the effectiveness of various receptive-technological solutions that can be used by the manufacturer of commercial concrete to provide specified rates of concrete mixtures. Were received results showing the presence of a problem of mobility loss of concrete mixtures with chemical additives of high water-reducing action. The use of such technological techniques as increasing the initial mobility and gradual introduction of supplements to superplasticizer proved to be effective technological solutions.

**Keywords:** ready mixed concrete, mobility, superplasticizer, retarder, portion administration of the additive.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-219-225  
УДК 692

**Плахотніков К.В., Деденьова О.Б., Бондаренко О.І.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: kirillplahotnikov84@gmail.com)*

### **АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМОСИЛКАТНИХ МІКРОСФЕР У ЦЕМЕНТНОМУ КОМПЗИТІ**

У роботі наведені результати дослідження можливості використання алюмосилкатних порожнистих мікросфер (АСПМ) у цементних композитах. Для цього було визначено центри адсорбції на поверхні АСПМ, електроповерхневі властивості компонентів, що входять в досліджувану систему сухих будівельних сумішей. Адсорбційні властивості АСПМ у цементному композиті значною мірою визнача-

ються балансом їх кислотно-основних центрів, що співвідносяться також зі знаком поверхневого заряду. Введення у цементний композит алюмосилікатних мікросфер розміром від 5 до 50 мкм позитивно впливає на формування його більш щільної структури на усіх стадіях гідратації.

**Ключові слова.** Адсорбційні властивості, алюмосилікатні порожнисті мікросфери, цементні композити, кислотно-основні центри, електроповерхневі властивості.

**Вступ.** В Україні набирає популярності рідка теплоізоляція на основі мікросфер і полімерних композицій [1-7]. Такий матеріал має безперечні технологічні переваги - легкість, гнучкість, відмінну адгезію до різних типів поверхонь. Окрім того, легко наноситься як фінішне тепло-гідроізоляційне покриття. Але на теперішній час існують суперечки між виробниками традиційних органічних теплоізоляційних матеріалів та рідкої теплоізоляції. Неорганічні теплоізоляційні матеріали, що широко представлені на сучасному будівельному ринку, мають певні недоліки [8-9]. Відносно велика густина газосилікату та пінобетону не дає можливість отримати достатньо низький коефіцієнт теплопровідності. Крім того такі матеріали мають високі показники за водопоглиненням та низькі показники з морозостійкості. Мінераловатні плити, які набули популярність на будівельному ринку в останні роки, також мають свої недоліки. З часом надтонкі волокна перетворюються у пилоподібні частки, а клеї, що їх з'єднують починають руйнуватися з виділенням у повітря токсичних речовин. В той самий час стрімко зростають вимоги до екологічності та довговічності будівельних матеріалів. Як наслідок збільшується актуальність та попит на мінеральні матеріали [1, 3, 7, 9, 10].

Одним з таких матеріалів може бути тонкошарове покриття на основі мінерального в'язучого або полімеру, наповненого скляними або алюмосилікатними порожніми мікросферами. Функціональні властивості подібних матеріалів визивають багато питань серед фахівців. По-перше - з приводу коефіцієнта теплопровідності, який за даними виробників варіюється від 0,022 Вт/м·К до 0,057 Вт/м·К [8]. По-друге - з приводу принципів теплопередачі. Для традиційних теплоізоляційних матеріалів характерна передача тепла фотонами. Робота матеріалів, що наповнені порожніми скляними, або алюмосилікатними мікросферами на 90% і більше, полягає в потрібному

залученні принципів теплопередачі: фотонами в об'ємі самого матеріалу, конвекцією по повітрю і віддзеркалення основних типів випромінювання, в тому числі, і теплових. Ефект віддзеркалення посилюється за рахунок присутності внутрішніх перегородок у мікросферах, що також уповільнює конвекцію повітрям.

На теперішній час у світі при спаленні вугілля на теплових електростанціях утворюється та накопичується велика кількість летучої золи та шлаків. Перспективним напрямом утилізації таких відходів є одержання та використання порожнистих мікросфер, що являють собою склоподібні порожнисті сферичні часточки, які утворюються при спаленні у котлах ТЕС кам'яного вугілля певних родовищ. Цінність мікросфер обумовлена їх малою насипною густиною, низькою теплопровідністю та сферичною формою часточок. У середньому вміст мікросфер у золі виносу може коливатися від 0,3 до 3-5%. Важливе, те що порожнисті мікросфери відносно просто вилучаються із золи. Завдяки низькій густині, вони спливають на поверхні гідротехнічних споруд ТЕС та легко збираються. Алюмосилікатні порожнисті мікросфери (АСПМ) як комерційний продукт мають високий потенціал, але ринок їх є несформованим. За приблизними розрахунками, вартість такого продукту на порядок нижча за вартість порожнистих мікросфер, одержаних промисловими методами. Використання АСПМ має позитивний екологічний ефект бо дозволяє утилізувати відходи виробництва.

**Новизна.** Розробка теплоізоляційних матеріалів, які повністю складаються з мінеральних речовин, що характеризуються високою не спалімістю, є не токсичними як при виготовленні, так і при експлуатації, а при горінні не виділяють токсичних речовин можна вважати пріоритетною. Тонкошарова теплоізоляція, що вміщує у своєму складі до 90-95%, скляних порожнистих мі-

кросфер є новою, але недостатньо дослідженою для впевненого використання її у сучасному будівництві. Крім того не достатньо визначені можливості заміни скляних мікросфер на алюмосилікатні – ціносфери. В роботі вперше було розглянуто адсорбційні властивості ціносфер, а також визначено електроповерхневі властивості скляних і алюмосилікатних мікросфер.

**Основний розділ.** Алюмосилікатні мікросфери (ціносфери) [5, 8, 11], легка фракція золи виносу – порожнисті склокристалічні часточки розміром від 20-50 мкм до 400-500 мкм та переважно діаметром 100-200 мкм, товщиною стінок від 2 до 30 мкм. Насипна густина в не ущільненому стані - 350-400 кг/м<sup>3</sup>. Істина густина речовини стінок у середньому складає 2500 кг/м<sup>3</sup>. Температура плавлення - 1400—1500°C. Утворення мікросфер відбувається наступним чином. При високих температурах силікатний мінеральний матеріал вугілля плавиться і в газовому потоку продуктів згоряння дробиться на дрібні краплі. Газові вклучення у мінеральних частинках при нагріванні розширюються та роздувають окремі краплі розплаву. Ті краплі, в яких внутрішній тиск газу урівноважується силами поверхневого натягу, утворюють порожнисті кульки. В інших відбувається розрив крапель (внутрішній тиск більший за сили поверхневого натягу), або вони залишаються повнотілими силікатними кульками, суцільними чи пористими (поверхневий натяг більший за внутрішній тиск). Внутрішня порожнина часточок заповнена в основному азотом та діоксином вуглецю. Слід зазначити, що коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  діоксиноу вуглецю у двічі менший ніж у повітря та азоту.

Відомо [2, 3, 7], що ефективні мінеральні теплоізоляційні матеріали (плити, штукатурні розчини) отримують на основі спученого перліту, зерна якого мають перегородчасту структуру, що зменшує передачу тепла скрізь матеріал за рахунок конвекційного теплообміну. Досліджена під мікроскопом структура скляних та алюмосилікатних мікросфер також має перегородчасту структуру, рис. 1 та рис.2.

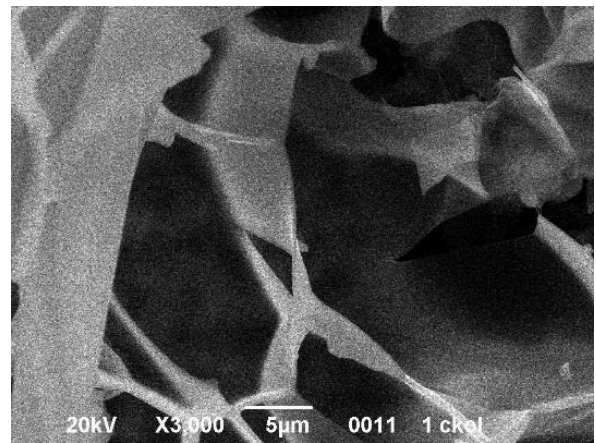


Рис. 1. Внутрішня структура скляної мікросфери зі значною кількістю перегородок всередині.

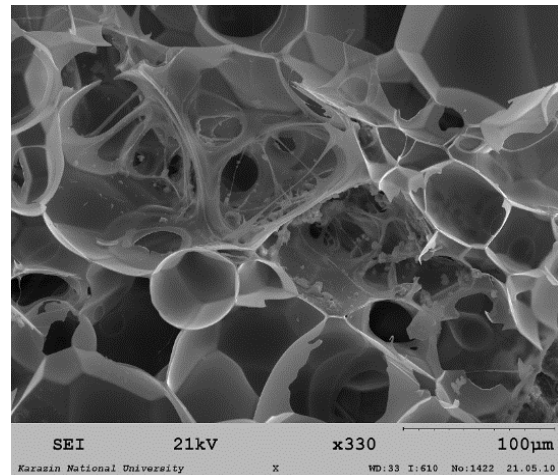
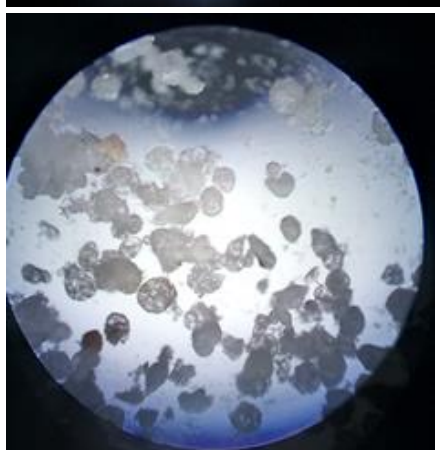


Рис. 2. Внутрішня структура зерна спученого перліту зі значною кількістю перегородок всередині.

У роботі було досліджено можливість використання алюмосилікатних порожнистих мікросфер у цементних складах. Їх витримка у цементній витяжці при рН12 протягом 28 діб показала, що поверхня мікросфер залишається не змінною. Отже лужне середовище не впливало на цілісність їх структури, рис. 3.



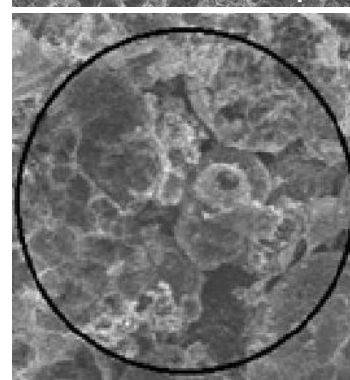
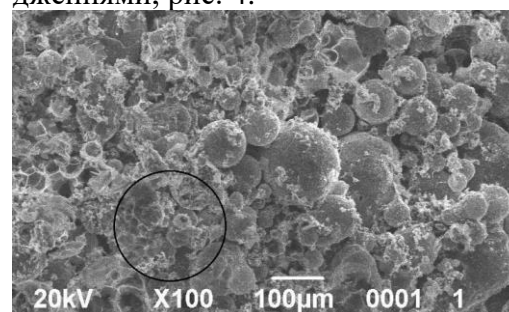
*а – АСПМ у цементній витяжці, б – стан поверхні мікросфер до експозиції, в – стан поверхні мікросфер після експозиції*

*Рис. 3. Мікроскопічні дослідження стану поверхні АСПМ*

Електроповерхневі властивості АСПМ визначали якісно і кількісно за методикою, викладеною в роботах А.П. Нечипоренко, В.А. Матвієнко та ін. [12-14]. Зміни в електронній системі поверхні мікросфер під впливом тих чи інших факторів призводить до зміщення у відповідному напрямку кислотно-основної рівноваги, яка виражається в зміні констант дисоціації рКа поверхневих центрів. Зі зменшенням

значень рКа зростає кислотність поверхні за Бренстедом. При гідратації центри Льюїса переходять у відповідні центри бренстедівського типу. Таким чином, поверхня твердої речовини в умовах гідратації являє собою сукупність «закріплених» кислот і оснований, кількість і сила яких можуть бути зафіксовані за допомогою адсорбції молекул - зондів (індикаторів) і виражена через їх рКа, тобто в одиницях шкали рН.

Виконані у роботі дослідження по визначенню центрів адсорбції на поверхні АСПМ показали, що вміст бренстедівських основних центрів (від'ємний знак заряду поверхні) складає  $23,1 \times 10^5$  мг-екв./г, що у 2,3 рази менше, ніж у цементного каменя -  $54 \times 10^5$  мг-екв./г. Вміст льюїсівських основних центрів (позитивний знак заряду поверхні) у 6 разів більше ніж у цементного каменя -  $4,5 \times 10^5$  мг-екв./г, проти  $0,7 \times 10^5$  мг-екв./г. Такий баланс активних центрів адсорбції у цементних частинок та АСПМ дозволив підвищити інтенсивність гідратації та ущільнити міжзерновий простір у цементному композиті, що було підтверджено електронно-мікроскопічними дослідженнями, рис. 4.



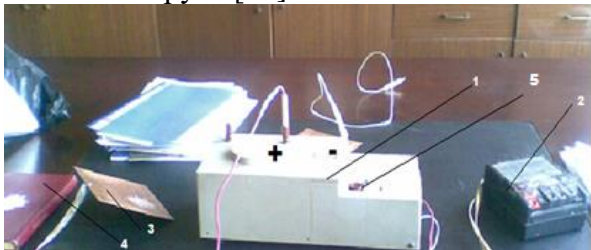
*а – структура цементного композиту з АСПМ, б – ущільнення за рахунок «склеювання» мікросфер гідратними плівками*

*Рис. 4. Електронно-мікроскопічні знімки цементного композиту з АСПМ.*



Авторами [15-16] показано, що в цементному камені і розчині для забезпечення найбільшої структурної міцності повинен бути дотриманий баланс між позитивно і негативно зарядженими поверхнями дисперсних частинок, а для забезпечення щільності і водонепроникності цементного композиту з АСПМ баланс між позитивно і негативно зарядженими кристалогідратами і мікросферами [17, 18].

Електроповерхневі властивості компонентів, що входять в досліджувану нами систему сухих будівельних сумішей, досліджували в електростатичному полі високої напруги на приладі «Розряд» за методикою [19-22]. На рис. 5 представлений прилад для кількісної оцінки поверхневого знаку заряду шляхом сепарації частинок в полі високої напруги [23].

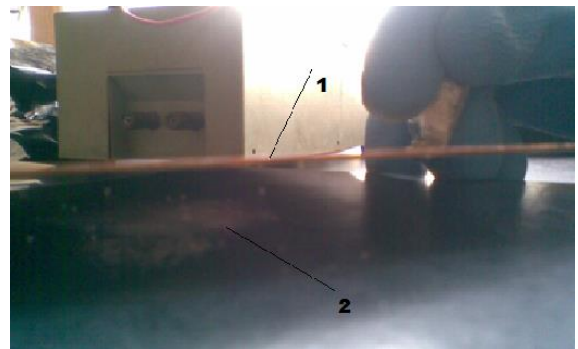


1 – прилад «Розряд», 2 – випрямляч, 3 – електрод, 4 – наважка АСПМ, 5 – тумблер.

Рис. 5. Прилад «Розряд» для кількісної оцінки поверхневого знаку заряду

Електрод розташовували над наважкою АСПМ, рис.6, на відстані 1 см і подавали на нього постійний струм напругою 12 кВ, при цьому електрод набував або позитивний, або негативний заряд. Під дією електричного поля частинки матеріалу протилежного знаку заряду переміщалися на поверхню електрода, рис. 6.

Після цього електрод відводили в бік, знімали напругу і проводили зважування тієї частини наважки, яка перемістилася на електрод (з точністю до 0,001 г). Частина мікросфер з позитивним знаком заряду поверхні склала близько 15%, а з негативним – близько 4%. Тобто основна частина алюмосилікатних мікросфер мала електронейтральний поверхневий заряд, рис. 7.



а – матеріал: алюмосилікатні мікросфери; б – процес перетікання мікросфер на електрод протилежного знаку заряду ніж поверхня мікросфер.

Рис. 6. Процес перетікання на поверхню електрода частинок матеріалу протилежного знаку заряду під дією електричного поля



а – частина мікросфер з позитивним електроповерхневим зарядом, б - частина мікросфер з негативним електроповерхневим зарядом

Рис. 7 Фотознімки результатів сепарації АСПМ в полі високої напруги

Потім повторювали експеримент, змінивши полярність електрода. Наприкінці залишалася частина наважки, частинки якої були заряджені електронейтрально. Її теж зважували з точністю до 0,001 г. Вимірювання виконували не менше 3-х разів, щоразу беручи нову наважку. За результат брали середнє значення трьох вимірів. Частки з негативно, позитивно і електронейтрально зарядженою поверхнею визначали у відсотках за масою від всієї наважки і робили висновок про переважний знак поверхневого заряду досліджуваного матеріалу.

**Результати досліджень, висновки.** Адсорбційні властивості АСПМ у цементному композиті значною мірою визначаються балансом їх кислотно-основних центрів, що співвідносяться також зі знаком поверхневого заряду. В цементному камені і розчині для забезпечення найбільшої структурної міцності повинен бути дотриманий баланс між позитивно і негативно зарядженими поверхнями усіх дисперсних частинок і кристалогідратів. Введення у цементну структуру алюмосилікатних мікросфер розміром від 5 до 50 мкм позитивно впливатиме на формування більш щільної структури як на ранніх стадіях, так і у більш пізніші строки гідратації, бо створюватимуть електрогетерогенні контакти не тільки з частинками цементу і гіпсу, а й гідратами алюмінатної фази клінкеру.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Карапузов Є.К. Утеплення фасадів. [текст]: підручник / Є. К. Карапузов, В. Г. Соха. – К.: Вища освіта, 2007. – 319 с.
2. Друкований М. Ф. Розробка та дослідження ефективних штукатурних розчинів для тонкошарової технології / М. Ф. Друкований, Л. В. Кривенко // Нові технології в будівництві : збір. наук. пр. – К.: Оранта. – 2007. – № 2 (14). – С. 33–36.
3. Рунова Р. Ф. Мінеральні в'язучі для тонкошарової технології будівельних матеріалів [текст] / Р. Ф. Рунова // Вісник АБ України. – Вип.10 – с. 57–60.
4. Маркетинговое исследование рынка алюмосиликатных микросфер (вер.6) [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.cleandex.ru/analytic/2016/02/16/aluminosilicate-microspheres>.

5. Микросфера - материал современных идей [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://inoteck.net/mikrosfera\\_material\\_sovr](http://inoteck.net/mikrosfera_material_sovr)
6. Теплоизоляционное\_покрытие [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://poleznayamodel.ru/model/10/102021.html>
7. Плахотніков К.В. Возможность застосування теплоізоляційних матеріалів у тонких шарах в сучасному будівництві [текст] / К.В. Плахотніков, О.І. Бондаренко, О.Б. Деденьова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА; ХОТВ АБУ, 2017. – №3(89). – С.226–229.
8. Міфи про «космічні технології» або фантазії маркетологів [електронний ресурс] / Київ ООО «Производственное объединение микросферы» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <URL:http://microspheres.com.ua/ru/stati/106>.
9. Демченко В. Теплоізоляційні мурувальні розчини з модифікованими зольними мікросферами [текст] / В. Демченко, В. Свідерський // Сталий розвиток – стан та перспективи: Матеріали Міжнародного наукового симпозиуму SDEV'2018 – Львів, 2018. – С.205 – 208.
10. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементы [текст]: навч. посібник / М.А. Саницький, Х.С. Соболев, Т.Є. Марків. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 132 с.
11. Микросферы зольные полье ТЕРМОДОН [Електронний ресурс] / Борисполь, НПП «Спецматериалы» - Режим доступу: <http://www.endoterm.com.ua/product/mikrosfera.php>
12. Воробьёв В.М. Изучение кислотно-основных свойств поверхности по электронным спектрам адсорбированных молекул индикаторов [Текст] / В.М. Воробьёв, Д.Р. Кадырова, Г.Ш. Талипов// Кинетика и катализ, - 1974. - Т.15, - №1.- С.170-175.
13. Матвиенко В.А. Электрическая активация в технологии бетона и изделий [Текст]: – Дисс... докт. техн. наук. - Макеевка: ДИСИ, 1993.- 305 с.
14. Нечипоренко А.П. Исследование кислотности твердых поверхностей методом рН-метрии [Текст] / А.П. Нечипоренко, А.И. Кудряшова // ЖПХ, Т.60, № 9, С. 1957-1961.
15. Бабушкин В.И. Влияние активных поверхностных центров на прочность свежееотформованных мелкозернистых бетонов [Текст] / В.И. Бабушкин, А.А. Плугин, Т.А.

- Костюк, В.А. Матвиенко // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 1998.- Вип. 5.- С.85-88
16. Плуґін А.А. Управління міцністю дрібнозернистого бетону одразу після формування на основі урахування електроповерхневих властивостей його складових [Текст] / А.А. Плуґін, Т.О. Костюк, В.І. Бабушкін // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1999.- Вип. 7. - С.63-67.
  17. Interaction of Portland cement hydration products with complex chemical additives containing fiberglass in moisture-proof cement compositions / O.I. Demina, A.A. Plugin, E.B. Dedenyova, D.O. Bondarenko, T.A. Kostuk // Functional Materials, 24, No.3 (2017), p. 415-419. doi: 10.15407/fm24.03.415
  18. Interaction of Mineral and Polymer Fibers with Cement Stone and their Effect on the Physical-Mechanical Properties of Cement Composites / A.A. Plugin, T.O. Kostyuk, O.A. Plugin, D.O. Bondarenko, Yu.A. Sukhanova, N.N. Partala // International Journal of Engineering Research in Africa JERA. – 2017. – Vol. 31. – P.59-68. <https://www.scientific.net/JERA.31.59>
  19. Плуґін А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы [Текст]: дисс... докт. техн. наук: 05.23.05 / Плуґін Андрей Аркадьевич. – Харьков: Укр-ГАЗТ, 2005. – 442 с.
  20. Плуґін А.А. Об электроповерхностном потенциале в твердеющих минеральных вяжущих [Текст] / А.А. Плуґін // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 15 (Тематический выпуск «Химия, технология и экология»). – С. 66–74.
  21. Плуґін А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих [Текст]: Дисс... докт. хим. наук: 02.00.11 / Плуґін Аркадий Николаевич. – К.: ИКХХВ, 1989.– 282 с.
  22. Бабушкін В.І. Влияние активных поверхностных центров на прочность свежесформованных мелкозернистых бетонов [Текст] / В.І. Бабушкін, А.А. Плуґін, Т.А. Костюк, В.А. Матвиенко // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 1998.- Вип. 5.- С.85-88
  23. Плуґін А.А. Об определении электроповерхностного потенциала в твердеющих минеральных вяжущих [Текст] / А.А. Плуґін // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – Вып. 33 (Тематический выпуск «Химия, технология и экология»). – С. 66–74.
- Плахотников К.В., Деденёва Е.Б., Бондаренко А.И. АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИКРОСФЕР В ЦЕМЕНТНОМ КОМПОЗИТЕ.** В работе приведены результаты исследования возможности использования алюмосиликатных пустотелых микросфер (АСПМ) в цементных композитах. С этой целью были определены центры адсорбции на поверхности АСПМ и электроповерхностные свойства компонентов, входящих в исследуемую систему сухих строительных смесей. Адсорбционные свойства АСПМ в цементном композите в большой степени определяются балансом их кислотно-основных центров, что связано так же со знаком заряда поверхности. Введение в цементный композит алюмосиликатных микросфер размером от 5 до 50 мкм позитивно влияет на формирование его более плотной структуры на всех стадиях гидратации.
- Ключевые слова.** Адсорбционные свойства, алюмосиликатные пустотелые микросферы, цементные композиты, кислотно-основные центры, электроповерхностные свойства.
- Plachotnikov K.V., Dedenyova E.B., Bondarenko A.I. ADSORPTION PROPERTIES OF ALUMINOSILICATE MICROSPHERES IN A CEMENT COMPOSITE.** The article presents the results of a study of the feasibility of using aluminosilicate hollow microspheres (ASPM) in cement composites. For this purpose, the adsorption centers on the surface of the ASMM and the electro-surface properties of the components entering the investigated system of dry construction mixtures were determined. The adsorption properties of ASPM in a cement composite are largely determined by the balance of their acid-base centers, which is also related to the sign of the surface charge. The introduction of aluminosilicate microspheres with a size of 5 to 50 μm into the cement composite positively influences the formation of its denser structure at all stages of hydration.
- Keywords.** Adsorption properties, aluminosilicate hollow microspheres, cement composites, acid-base centers, electro-surface properties.