



УДК 691.32

Богданов Р.Р. – ассистент

E-mail: bogdanov.r.r@yandex.ru

Ибрагимов Р.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Потапова Л.И. – кандидат химических наук, доцент

E-mail: ludmilapo@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование взаимодействия компонентов комплексного модификатора методом ИК-спектроскопии

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования установить природу взаимодействий между компонентами комплексного модификатора (гиперпластификатором на основе эфиров поликарбоксилата, гидрофобизатора на основе силиконатов калия и метакаолина), а также влияние комплексного модификатора на свойства цементного камня с применением метода ИК-спектроскопии.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что в присутствии комплексного модификатора отмечается более высокая степень закристаллизованности гидросиликатов кальция, что обуславливает высокие физико-механические характеристики модифицированного самоуплотняющегося бетона. Выявлено, что предварительное перемешивание гиперпластификатора и водорастворимого гидрофобизатора в составе комплексного модификатора при предварительном его приготовлении не только не уменьшает эффективность модификаторов, но и связывает их в единый компонент. Установлено, что происходит хемосорбция связей СН-групп гиперпластификатором. При этом введение метакаолина в состав комплексного модификатора приводит к химическому взаимодействию его компонентов с конверсией связей С-Н в иные структуры, очевидно, химически связанные с метакаолином.

Выводы. Научная и практическая значимость результатов работы для строительного материаловедения и строительной отрасли заключается в установлении эффективности предварительного смешивания гиперпластификатора и гидрофобизатора при приготовлении комплексных добавок.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, ИК-спектроскопия, гиперпластификатор, гидрофобизатор, метакаолин, комплексный модификатор.

Введение

В настоящее время актуальным является получение высокофункциональных долговечных бетонов. Применение таких бетонов возможно в качестве гидроизоляционного слоя плоских кровель зданий. При этом помимо оптимизации фракционного состава заполнителей и рационального подбора состава бетона, приоритетной является задача формирования структуры цементного камня, обладающей высокой плотностью, низкой капиллярной пористостью и состоящей преимущественно из стабильных низкоосновных гидратных фаз [1-4]. Одним из простых и эффективных способов повышения свойств цементных композиций, является введение комплексных модификаторов содержащих эффективные суперпластификаторы, гидрофобизирующие добавки и активные минеральные добавки. Обзор и анализ литературных данных по исследованию данных компонентов выявил следующие их особенности.

Эффективный суперпластификатор является неотъемлемым компонентом самоуплотняющегося бетона (СУБ) [5]. Данный модификатор позволяет не только увеличить подвижность бетонной смеси при низком водоцементном отношении, но и получить бетоны с высокой прочностью, плотностью и долговечностью. При этом наиболее эффективными являются суперпластификаторы последнего поколения на основе эфиров поликарбоксилата [6-8, 13].

Повышение морозостойкости, водонепроницаемости и стойкости к агрессивному воздействию внешней среды можно добиться путем введения гидрофобизирующих добавок [9-11]. Особый интерес представляют кремнийорганические жидкости на основе силиконатов натрия и калия. При этом необходимо учитывать замедление гидратации цементного камня при высоких дозировках гидрофобизатора из-за образующейся гидрофобной пленки на поверхности реагирующих частиц и препятствующей гидратации в начальный период [12].

С целью оптимизации гранулометрического состава СУБ и не допущения водоотделения и расслоения бетонной смеси, необходимо вводить в его состав тонкодисперсные компоненты. В качестве такого компонента используют каменную муку, микрокремнезем, золу уноса, золу рисовой шелухи, тонкомолотый кварцевый песок и метакраолин. Среди вышеперечисленных добавок ученые особо выделяют метакраолин [14-16], являющийся целевым продуктом и имеющим стабильный состав и свойства. Также метакраолин обладает пуццолановым эффектом, так как вступает в реакцию на поздних этапах твердения с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и тем самым повышает коррозионную стойкость и прочность цементного камня [17, 18].

Авторами разработан комплексный модификатор для самоуплотняющегося бетона, включающий: гиперпластификатор – 1,5 %, гидрофобизатор – 0,15 %, метакраолин – 5 % от массы цемента. Оптимизация компонентов комплексного модификатора показана в работах [19, 20]. Новизна данного решения подтверждается патентом РФ [24].

Эффективным и простым способом достижения полифункционального эффекта и полной реализации потенциала всех компонентов, является применение комплексных добавок. Известны работы Изотова В.С., Каприелова С.С., Калашникова В.И., Крамар Л.Я., Хозина В.Г., Шейнфельд А.В. по исследованию влияния комплексных добавок, включающих пластификаторы и активные минеральные добавки (АМД), на процессы гидратации и структурообразования цементного камня [2, 17-18, 21-22, 25, 27], а также работы Батракова В.Г. по исследованию комплексов, включающих суперпластификатор и гидрофобизатор [12]. Однако малоизученными остаются комплексы содержащие пластификатор на основе эфира поликарбоксилата, кремнийорганический гидрофобизатор и метакраолин, в качестве АМД. Таким образом, научный интерес представляет изучение влияния суперпластификатора, гидрофобизатора и метакраолина в составе комплексного модификатора на прочность, особенности формирования микроструктуры и фазового состава цементного камня, а также связи взаимодействий между компонентами комплексного модификатора.

Результаты исследования влияния комплексного модификатора и его компонентов на прочность, особенности формирования микроструктуры и фазового состава цементного камня показаны в работе [28]. Цель данной работы – выявление природы взаимодействия между компонентами комплексного модификатора (гиперпластификатором на основе эфиров поликарбоксилата, гидрофобизатора на основе силиконатов калия и метакраолина) и влияние комплексного модификатора на процессы структурообразования цементного камня.

Для изучения данных особенностей взаимодействия между компонентами комплексного модификатора необходимо решить следующие задачи:

- исследовать образцы, содержащие компоненты комплексного модификатора при их оптимальных концентрациях (гиперпластификатор – 1,5 %, гидрофобизатор – 0,15 %, метакраолин – 5 % от массы цемента);
- исследовать влияние комплексного модификатора на процессы гидратации цементного камня;
- исследовать взаимовлияние компонентов комплексного модификатора между собой.

Методы, материалы и оборудование, применяемые в исследовании

В качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б ГОСТ 31108-2003 производства ООО «Холсим (Рус)» (ОАО «Вольскцемент»). В состав цемента входят основные минералы: C_3S – 68 %, C_2S – 10 %, C_3A – 3,7 %, C_4AF – 15 % и добавки: опока – 6 %, SO_3 – 2,2 %.

В качестве модификаторов в исследованиях использованы следующие добавки:

– гиперпластификатор (ГП) Remicrete SP 10 производства компании SCHOMBURG GmbH (Германия) (добавка соответствует PN-EN 934-2:Т3.1 и 3.2);

– гидрофобизатор (ГФ) кремнийорганический «Типром С» производства ООО «Производственное объединение «САЗИ» (ТУ 2229-069-32478306-2003), структурная формула $R_nSi(OH)_{3-n}OK$, где R – вид радикала.

В качестве активной минеральной добавки был выбран метакраолин (МтК) – аморфный силикат алюминия месторождения Журавлиный Лог (ТУ 5729-095-51460677-2009). Брутто-формула метакраолина $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и структурная формула $Al[Si_4O_{10}]OH_8$, с содержанием 40 – 41 % Al_2O_3 , 56 – 58 % SiO_2 , 0,7 – 1,1 % Fe_2O_3 , 0,4 – 0,6 % TiO_2 , 0,55 – 0,85 % K_2O , 0,14 – 0,16 % Na_2O , 0,14 – 0,18 % CaO .

Регистрация ИК-спектров образцов производилась на Фурье ИК-спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer, модель Spectrum 65, с помощью приставки НПВО Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области $4000-600\text{ см}^{-1}$, как правило, при 20 сканах. Запись и вычитание фонового спектра производилась автоматически. Изучаемые образцы предварительно измельчались в вибромельнице в течение 5 минут до частиц микронного размера, после чего образовавшийся порошок прижимался к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялась НПВО-коррекция и сохранение спектра.

Результаты исследования влияния комплексного модификатора на процессы гидратации цемента

С целью установления природы взаимодействий между компонентами комплексного модификатора (гиперпластификатором на основе эфиров поликарбоксилата, гидрофобизатором кремнийорганического и метакраолином), а также влияние комплексного модификатора на свойства цементного камня проведены высокоинформативные исследования методом инфракрасной спектроскопии (ИКС). Исследовались образцы цементного камня, содержащие гиперпластификатор – 1,5 %, гидрофобизатор – 0,15 %, метакраолин – 5 % от массы цемента. Результаты приведены на рис. 1.

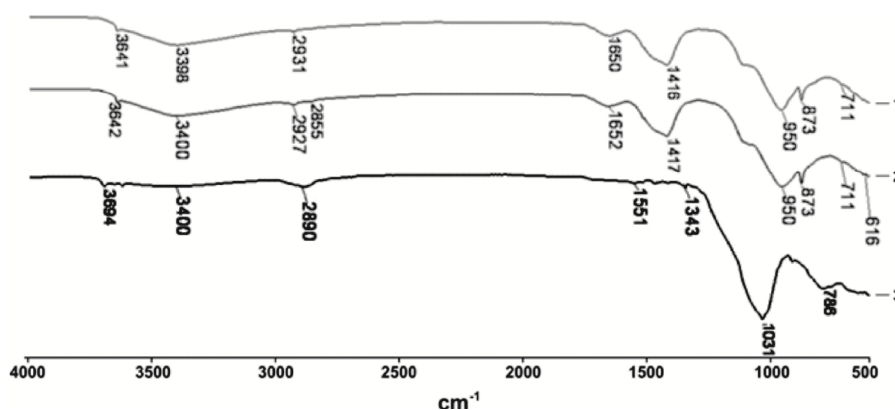


Рис. 1. Спектрограмма образцов: 1 – цементного камня; 2 – цементного камня с комплексным модификатором; 3 – комплексного модификатора

Группы полос в интервале между 3643 и 3400 см^{-1} обусловлены валентными связями O–H в модифицированном цементном камне аналогичны с контрольным образцом. В частности полосы в области $890-970\text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям связи Si–O, Al–O, в остальной области до 1200 см^{-1} присутствуют деформационные колебания связей Si–O, Al–O.

Анализ спектра частот для модифицированного цементного камня показал, что наблюдается широкая полоса с максимумом 948 см^{-1} , которая обусловлена валентными и деформационными колебаниями связи Si–O, Al–O. Увеличение интенсивности полос поглощения в диапазоне $1100...750\text{ см}^{-1}$ в составе с комплексной добавкой свидетельствует о большей степени гидратации цемента и увеличении продуктов гидратации. Полученные результаты ИК спектроскопии хорошо согласуются с данными работ [29].

Из данных на рис. 1 видно, что спектрограммы цементного камня с комплексным модификатором и без него характеризуются наличием нескольких специфических максимумов. Максимум поглощения при $900-1000\text{ см}^{-1}$ характеризует гидросульфалоюминат кальция, содержание которого в образце с комплексным модификатором меньше по сравнению с контрольным образцом, что согласуется с данными РФА [28]. В присутствии комплексного модификатора наблюдается лучшая закристаллизованность ГСАК, по сравнению контрольным образцом, на это указывает более четкая разрешимость спектра с максимумом 948 см^{-1} (рис. 1). Наличие максимума полосы поглощения при $1400-1600\text{ см}^{-1}$, а также широкая полоса спектра в области $3300-3500\text{ см}^{-1}$ свидетельствует о наличии субмикроструктур гидросиликатов тоберморита, содержание которых в образце с комплексным модификатором выше, чем в контрольном. Хорошая разрешенность спектра в этих областях указывает на более высокую степень закристаллизованности отмеченных выше гидросиликатов кальция в присутствии комплексного модификатора. Узкая, хорошо разрешимая полоса спектра поглощения с максимумом 3643 см^{-1} характеризует наличие гидроксидов гидросиликатов группы ксонолита.

Из представленных результатов видно, что наибольшее поглощение спектра наблюдается при частотах $900-1000\text{ см}^{-1}$, $1400-1600\text{ см}^{-1}$, $3590-3650\text{ см}^{-1}$. Однако наибольшая интенсивность линий спектра характерна для образца с комплексным модификатором.

На рис. 2 представлены спектрограммы образцов: гиперпластификатора, метакеолина, смеси гиперпластификатора и метакеолина. Образец № 3 содержит смесь гиперпластификатора и метакеолина в отношении 3:10, что соответствует содержанию компонентов в комплексном модификаторе (гиперпластификатор – 1,5 %, метакеолин – 5 % от массы цемента).

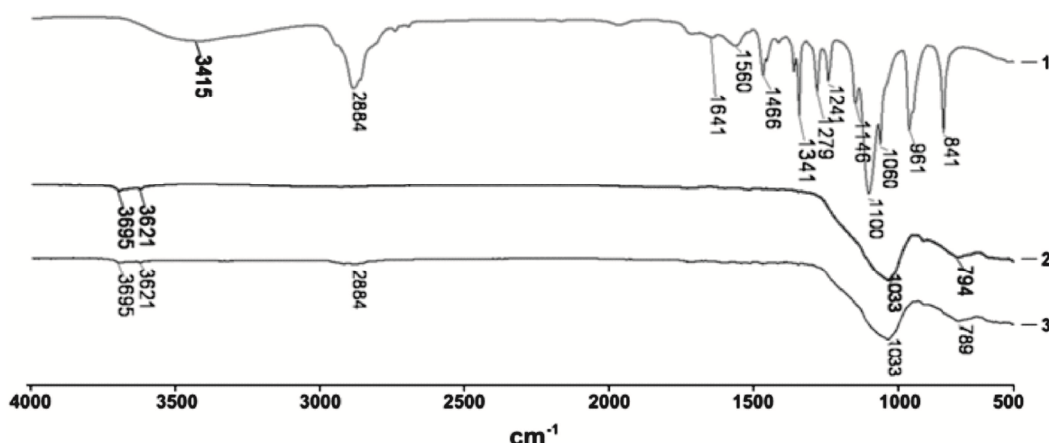


Рис. 2. Спектрограмма образцов:

1 – гиперпластификатора; 2 – метакеолина; 3 – смеси гиперпластификатора и метакеолина

Как видно из рис. 2, при введении гиперпластификатора Remicrete SP10 в спектре образца содержащего гиперпластификатор и метакеолин появляется полоса 2884 см^{-1} и интенсивность уменьшается (валентные колебания CH_2 и CH_3 групп). Это свидетельствует о том, что происходит химическое взаимодействие между метакеолином и гиперпластификатором, причем это взаимодействие приводит к конверсии связей С-Н (алифатическая часть гиперпластификатора, содержащая CH_2 и CH_3 группы) добавки Remicrete SP10 в иные структуры, очевидно, химически связанные с метакеолином.

Спектрограммы образцов представленных на рис. 3: ГП, МтК, смеси гидрофобизатора и метакеолина. Образец № 3 содержит смесь гидрофобизатора и метакеолина, в отношении 3:100, что соответствует содержанию компонентов в комплексном модификаторе (ГФ – 0,15 %, метакеолин – 5 % от массы цемента).

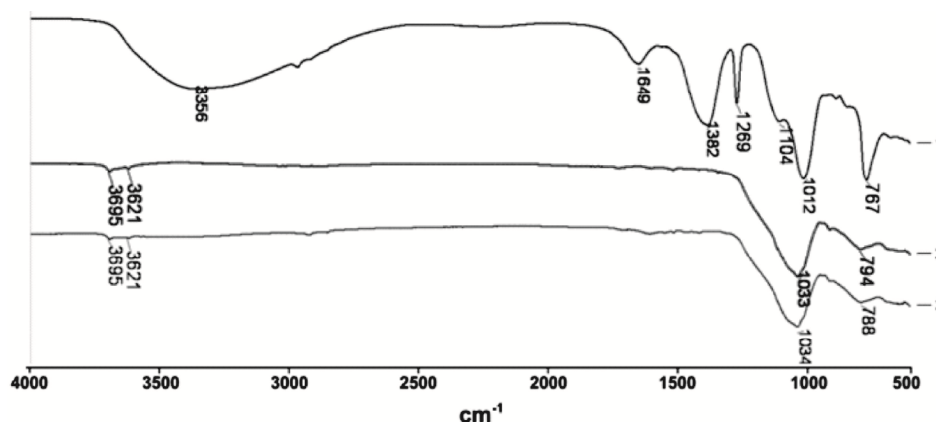


Рис. 3. Спектрограмма образцов: 1 – ГФ; 2 – МтК; 3 – смеси гидрофобизатора и метакаолина

Из данных спектрограмм, представленных на рис. 3 видно, что при введении ГФ в спектре образца содержащего ГФ и МтК полоса в спектре МтК 794 см^{-1} смещается до 788 см^{-1} в спектре образца и интенсивность уменьшается. Это свидетельствует о том, что происходит химическое взаимодействие между метакаолином и гидрофобизатором.

На рис. 4 представлены спектрограммы образцов: ГП, ГФ, смеси ГП и ГФ, метакаолина и комплексного модификатора. Для исследования спектрограмм компонентов комплексного модификатора процесс его приготовления состоял в следующем: сначала перемешивали гиперпластификатор и гидрофобизатор, затем полученную смесь добавляли к метакаолину, в итоге получили комплексный модификатор, содержащий ГП – 1,5 %, ГФ – 0,15 %, метакаолин – 5 % от массы цемента.

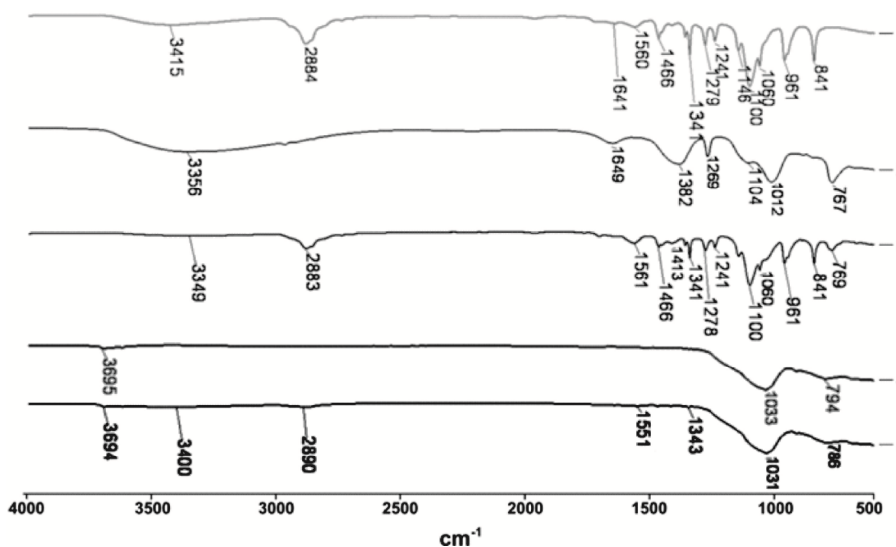


Рис. 4. Спектрограмма образцов: 1 – гиперпластификатора; 2 – гидрофобизатора; 3 – смеси гиперпластификатора и гидрофобизатора; 4 – метакаолина; 5 – комплексного модификатора

Как видно из рис. 4, при введении гиперпластификатора Remicrete SP10 в спектре комплексного модификатора полоса 2884 см^{-1} смещается до 2890 см^{-1} и интенсивность уменьшается (валентные колебания CH_2 и CH_3 групп), $1467, 1342\text{ см}^{-1}$ (деформационные колебания этих же групп) исчезает 1467 см^{-1} , а у полосы 1342 см^{-1} уменьшается интенсивность. Это свидетельствует о том, что происходит химическое взаимодействие между метакаолином и гиперпластификатором с гидрофобизатором, причем это взаимодействие приводит к конверсии связей С-Н (алифатическая часть гиперпластификатора, содержащая CH_2 и CH_3 группы) добавки Remicrete SP10 в иные структуры, очевидно, химически связанные с метакаолином.

Образец, имеющий в своем составе гиперпластификатор и гидрофобизатор, показал отсутствие полосы поглощения 1269 см^{-1} , характерной для гидрофобизатора, что может свидетельствовать о хемосорбции связей СН-групп гиперпластификатором. В соответствии с Батраковым В.Г. [12] гидрофобизатор «Типром С» (55 %-ый концентрат на основе алкилсиликоната калия) имеет следующую структурную формулу:



где R – вид радикала (СН-группа).

Возможно, при перемешивании гидрофобизатора и гиперпластификатора происходит химическое взаимодействие СН-групп с молекулой гиперпластификатора, при этом гидрофобизирующая способность гидрофобизатора не уменьшается, так как за данную способность отвечает вид связи Si-OK.

Предварительное перемешивание гиперпластификатора и водорастворимого гидрофобизатора в составе комплексного модификатора не только не уменьшает эффективность модификаторов, но и связывает их в единый компонент.

Таким образом, влияние комплексного модификатора в механизме пластифицирования и гидратации цементных систем может состоять в следующем: пластифицирующая способность гиперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата повышается благодаря формированию между частицами портландцемента расклинивающего твердофазного топологического барьера из частиц метакеолина [26], на котором адсорбирована часть гиперпластификатора и гидрофобизатора, что снижает агрегацию частиц цемента и повышает диспергирующую способность комплексного модификатора. За счет синергетического взаимодействия компонентов комплексного модификатора более интенсивно происходит процесс структурообразования цементного камня и существенное повышение ранней прочности. В процессе структурообразования цементного камня происходит дополнительная гидрофобизация стенок и пор капилляров, что существенно повышает стойкость модифицированного бетона к воздействию агрессивных сред.

Заключение

1. Методом ИК-спектроскопии установлено, что при модификации цементных систем комплексным модификатором происходит увеличение продуктов гидратации. В составе с комплексным модификатором наблюдается полоса поглощения при 948 см^{-1} указывающая на лучшую закристаллизованность ГСАК. Установлено, что в присутствии комплексного модификатора отмечается более высокая степень закристаллизованности гидросиликатов кальция, что обуславливает высокие физико-механические характеристики модифицированного самоуплотняющегося бетона.

2. Предварительное перемешивание гиперпластификатора и водорастворимого гидрофобизатора в составе комплексного модификатора при предварительном его приготовлении не только не уменьшает эффективность модификаторов, но и связывает их в единый компонент. Установлено, что происходит хемосорбция связей СН-групп гиперпластификатором. При этом введение метакеолина в состав комплексного модификатора приводит к химическому взаимодействию его компонентов с конверсией связей С-Н в иные структуры, очевидно, химически связанные с метакеолином.

Список библиографических ссылок

1. Ibragimov R. A. The influence of binder modification by means of the superplasticizer and mechanical activation on the mechanical properties of the high-density concrete // ZKG International. 2016. № 6. P. 34–39.
2. Kirsanova A. A., Kramar L. Y. Additives based on metakaolin features in concrete. Conference Series // Materials Science and Engineering. 2015. № 71.
3. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Новые модифицированные бетоны. М. : Типография «Парадиз». 2010. 258 с.
4. Каприелов С. С., Травуш В. И., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С., Киселева Ю. А., Пригоженко О. В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // Строительные материалы. 2006. № 10. С. 13–18.

5. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // *Advanced Concrete Technology*. 2003. № 1. P. 5–15.
6. Izotov V. S., Ibragimov R. A. The influence of complex additives on the endurance strength of concrete // *ZKG: Zement – Kalk – Gips International*. 2013. Vol. 66. № 9. P. 54–59.
7. Liu Z., Wang D., Zhang L., Shi L. Influence of molecular structure optimization of polycarboxylate superplasticizer on slurry dispersion and early mortar strength. Tenth International conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. Prague. 2012. Suppl. Vol. 1. P. 368–376.
8. Вовк А. И. Добавки на основе отечественных поликарбоксилатов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2012. № 9 (164). С. 31–33.
9. Никишкин В. А. Условия работы цементного камня, обработанного кремнийорганическими гидрофобизаторами // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2011. № 10 (153). С. 22–24.
10. Войтович В. А., Хряпченкова И. Н., Яворский А. А. Гидрофобизация как способ повышения срока службы зданий (информация) // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 15–17.
11. Войтович В. А., Хряпченкова И. Н. Направления применения гидрофобизаторов в строительстве (информация) // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 76.
12. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М. : Технопроект, 1998. 768 с.
13. Stark J. Recent advances in the field of cement hydration and microstructure analysis. *Cement and Concrete Research*. 2011. № 41. P. 666–678.
14. Li Q., Shui Z., Geng H., Huang Y. Chloride resistance of concrete with metakaolin addition and seawater mixing: a comparative study // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 101. P. 184–192.
15. Rashad A. M. Metakaolin as cementitious material: history, scours, production and composition-a comprehensive overview // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 41. P. 303–318.
16. Courard L., Darimont A., Schouterden M., Ferauche F., Willem X., Degeimbre R. Durability of mortars modified with metakaolin. *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. № 9. P. 1473-1479.
17. Кирсанова А. А., Крамар Л. Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакАОлина для цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 54–56.
18. Шейнфельд А. В. Органоминеральные модификаторы как фактор, повышающий долговечность железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2014. № 3. С. 16–21.
19. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А., Богданов Р. Р. Исследование влияния супер- и гиперпластификаторов на основные свойства цементного теста // *Известия КГАСУ*. 2013. № 2 (24). С. 221–225.
20. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А., Богданов Р. Р. Исследование влияния отечественных гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора // *Известия КГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 207–210.
21. Гамалий Е. А., Трофимов Б. Я., Крамар Л. Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2009. № 16 (149). С. 29–35.
22. Kim Hong – Sam, Lee, Sang-Ho, Moon Han – Young Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin // *Construction and Building Materials Journal*. 2007. № 1. P. 128.
23. Тейлор, Х. Ф. Химия цемента. М. : Мир, 1996. 560 с.
24. Самоуплотняющаяся бетонная смесь: пат. 2632795 Рос. Федерация. № 2016117505; заявл. 04.05.2016; опубл. 09.10.2017, Бюл. № 28. 9 с.
25. Морозов Н. М., Авксентьев В. И., Боровских И. В., Хозин В. Г. Применение отсеков дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 7 (42). С. 26–31.

26. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. М. : АСВ, 2006. 368 с.
27. Королев Е. В. Техничко-экономическая эффективность и перспективные строительные материалы // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 9–14.
28. Богданов Р. Р., Ибрагимов Р. А. Процессы гидратации и структурообразования модифицированного самоуплотняющегося бетона // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 5 (73). С. 14–24.
29. Etienne B., Saitta A. M., Mauri F., Calas G. First-principles modeling of the infrared spectrum of kaolinite // American Mineralogist. 2001. V. 86. P. 1321–1330.

Bogdanov R.R. – assistant

E-mail: bogdanov.r.r@yandex.ru

Ibragimov R.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Potapova L.I. – candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: ludmilapo@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Investigation of the interaction of a complex modifier for self-compacting concrete and its components using the IR-spectroscopy method

Abstract

Problem statement. The aim of the study was to establish the nature of interactions between the components of a complex modifier (a hyperplasticizer based on polycarboxylate esters, a hydrophobizer based on potassium silicates and metakaolin), and the effect of a complex modifier on the properties of cement stone using the IR spectroscopy method.

Results. The main results of the study are that a higher degree of crystallization of calcium hydrosilicates is observed in the presence of a complex modifier, which causes high physical and mechanical characteristics of the modified self-compacting concrete. It was revealed that the preliminary mixing of the superplasticizer and the water-soluble hydrophobizer in the complex modifier in its preliminary preparation not only does not reduce the effectiveness of the modifiers, but also binds them into a single component. It has been established that chemisorption of CH bonds is a superplasticizer. In this case, the introduction of metakaolin in the complex modifier leads to a chemical interaction of its components with the conversion of C-H bonds to other structures, apparently chemically related to metakaolin.

Conclusions. The scientific and practical significance of the results of the work for building materials science and the construction industry is to establish the effectiveness of the preliminary mixing of the superplasticizer and hydrophobizer in the preparation of complex additives.

Keywords: self-compacting concrete, infra-red spectroscopy, superplasticizer admix, hydrophobizer, metakaolin, complex modifier agent.

References

1. Ibragimov R. A. The influence of binder modification by means of the superplasticizer and mechanical activation on the mechanical properties of the high-density concrete // ZKG International. 2016. № 6. P. 34–39.
2. Kirsanova A. A., Kramar L. Y. Additives based on metakaolin features in concrete. Conference Series // Materials Science and Engineering. 2015. № 71.
3. Kapriylov S. S., SHEjnfel'd A. V., Kardumyan G. S. Novye modifitsirovannyye betony. M. : Tipografiya «Paradiz», 2010. 258 p.
4. Kapriylov S. S., Travush V. I., Karpenko N. I., SHEjnfel'd A. V., Kardumyan G. S., Kiseleva Yu. A., Prigozhenko O. V. The modified new generation of concrete structures in MIBC «Moscow City» // Stroitel'nye materialy. 2006. № 10. P. 13–18.
5. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. № 1. P. 5–15.

6. Izotov V. S., Ibragimov R. A. The influence of complex additives on the endurance strength of concrete // ZKG: Zement – Kalk – Gips International. 2013. Vol. 66. № 9. P. 54–59.
7. Liu Z., Wang D., Zhang L., Shi L. Influence of molecular structure optimization of polycarboxylate superplasticizer on slurry dispersion and early mortar strength. Tenth International conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. Prague. 2012. Suppl. Vol. 1. P. 368–376.
8. Vovk A. I. Additives on the basis of domestic polycarboxylates // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2012. № 9 (164). P. 31–33.
9. Nikishkin V. A. Working conditions cement paste treated with organosilicon water repellents // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2011. № 10 (153). P. 22–24.
10. Vojtovich V. A., Hrpapchenkova I. N., Javorskij A. A. Waterproofing as a way to extend the life of buildings (information) // Stroitel'nye materialy. 2013. № 12. P. 15–17.
11. Vojtovich V. A., Hrpapchenkova I. N. Areas of application water-proofing in construction (info) // Stroitel'nye materialy. 2015. № 7. P. 76.
12. Batrakov V. G. Modified concrete // Teorija i praktika. 1998. 768 p.
13. Stark J. Recent advances in the field of cement hydration and microstructure analysis. Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 666–678.
14. Li Q., Shui Z., Geng H., Huang Y. Chloride resistance of concrete with metakaolin addition and seawater mixing: a comparative study // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 101. P. 184–192.
15. Rashad A. M. Metakaolin as cementitious material: history, scours, production and composition-a comprehensive overview. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. P. 303–318.
16. Courard L., Darimont A., Schouterden M., Ferauche F., Willem X., Degeimbre R. Durability of mortars modified with metakaolin. Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33. № 9. P. 1473–1479.
17. Kirsanova A. A., Kramar L. Ya. Organic-based modifiers metakaolin for cement concrete // Stroitel'nye materialy. 2013. № 11. P. 54–56.
18. Sheinfel'd A. V. Organic-modifiers as a factor that increases the durability of reinforced concrete structures // Beton i zhelezobeton. 2014. № 3. P. 16–21.
19. Izotov V. S., Ibragimov R. A., Bogdanov R. R. Studies of the influence of super- and giper plasticizers on the basic properties of cement paste // Izvestiya KGASU. 2013. № 2 (24). P. 221–225.
20. Izotov V. S., Ibragimov R. A., Bogdanov R. R. Studies of the influence of domestic water-repelling additions on the basic properties of cement paste and mortar // Izvestiya KGASU. 2013. № 4 (26). P. 207–210.
21. Gamalij E. A., Trofimov B. Ja., Kramar L. Ja. Structure and properties of cement stone with additives of microsilica and polycarboxylate plasticizer // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2009. № 16 (149). P. 29–35.
22. Kim Hong – Sam, Lee, Sang-Ho, Moon Han – Young Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin // Construction and Building Materials Journal. 2007. № 1. P. 128.
23. Teylor Kh. F. Chemistry of cement. M. : Mir, 1996. 560 p.
24. Self-sealing concrete mix: patent 2632795 Rus. Federation. № 2016117505; decl. 04.05.2016; publ. 10.09.2017, Bull. № 28. 9 p.
25. Morozov N. M., Avksentev V. I., Borovskikh I. V., Khozin V. G. Application of screening crushing of crushed stone in self-compacting concretes // Engineering and construction magazine. 2013. № 7 (42). P. 26–31.
26. Bazhenov Yu. M., Dem'yanova V. S., Kalashnikov V. I. Modified high-quality concretes. M. : ASV, 2006. 368 p.
27. Korolev E. V. Technical and economic efficiency and perspective building materials // Regional architecture and construction. 2013. № 3. P. 9–14.
28. Bogdanov R. R., Ibragimov R. A. Process of hydration and structure formation of the modified self-compacting concrete // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 5. P. 14–24.
29. Etienne B., Saitta A. M., Mauri F., Calas G. First-principles modeling of the infrared spectrum of kaolinite // American Mineralogist. 2001. V. 86. P. 1321–1330.