

УДК 691.32:666.972.16

О. Е. Хотянович

Белорусский государственный технологический университет

КОМПЛЕКСНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ДОБАВКА ДЛЯ БЕТОНА

В статье представлены результаты по разработке комплексной химической добавки для бетона, обладающей эффектами пластифицирования и ускорения твердения. Выполненные исследования позволили установить оптимальный состав комплексной химической добавки, основными компонентами которой являются суперпластификатор С-3 и ускоритель твердения – отход производства полиамидного волокна. Введение указанной добавки в состав смеси способствует увеличению предела прочности при сжатии в марочном возрасте на 35–70%, снижению водопоглощения на 15–20%, повышению морозостойкости на 60–70 циклов по сравнению с контрольным образцом. Проведенные исследования показали возможность использования комплексной химической добавки для повышения эксплуатационных свойств инженерных сооружений, возводимых как из сборного, так и монолитного бетона.

Ключевые слова: бетон, химическая добавка, суперпластификатор, ускоритель твердения, прочность, морозостойкость, водопоглощение.

O. E. Khotyanovich

Belarusian State Technological University

COMPLEX CHEMICAL ADDITIVE FOR CONCRETE

The article presents the results on the development of a comprehensive chemical additives for concrete, has the effect of accelerating the hardening and ductility. Completed the Exploration allowed to establish the optimal composition of complex chemical additive, bases-governmental components are superplasticizer C-3 and hardening accelerator – waste production of polyamide fiber. Introducing said additive into the mixture increases in compressive strength at age vintage 35–70%, reduce water absorption by 15–20%, for improving the frost resistance 60–70 cycles compared with con-controlling pattern. Studies have shown the use of complex chemical additives to improve performance properties of engineering constructions erected from both precast and monolithic concrete.

Key words: concrete, chemical additive, supersoftener, hardening accelerator, strength, frost-resistance, water absorption.

Введение. Бетон является одним из самых массовых строительных материалов. Вместе с тем, это сложный искусственный композиционный материал, который может обладать совершенно уникальными свойствами. Он находит широкое применение в самых разных эксплуатационных условиях и имеет сравнительно низкую стоимость. К этому следует добавить доступность технологии его изготовления, возможность широкого использования местного сырья и утилизации техногенных отходов при его производстве, малую энергоёмкость и эксплуатационную надёжность. Именно поэтому бетон остается основным конструкционным материалом и в ближайшем будущем альтернативы ему не предвидится.

Бетон третьего тысячелетия – это модифицированный бетон. В современной технологии бетона химические добавки являются таким же обязательным компонентом бетонной смеси, как вяжущее вещество, заполнители и вода. Как показала практика, использование добавок позволяет получить ощутимый технико-экономический эффект и повысить долговечность бе-

тонных конструкций и инженерных сооружений, возводимых как из сборного, так и монолитного бетона. Вводимые в небольших количествах – десятых и сотых долей процента от массы цемента – они существенно влияют на химические процессы гидратации и твердения цемента и бетона, обеспечивая повышение его технологических и улучшение комплекса физико-механических свойств. Опыт применения модификаторов бетона показывает, что наиболее перспективным является использование комплексных добавок, поскольку монодобавки могут оказывать не только положительное влияние на свойства бетонов и растворов, но и отрицательное, что снижает их эффективность. В связи с этим, для повышения эффективности применения однокомпонентных модификаторов различного назначения требуется введение компонентов, которые могли бы локализовать отрицательное действие монодобавок или усилить желаемый эффект.

Основная часть. Потребность в комплексных химических добавках в нашей стране покрывается за счет импорта из Чехии, Китая,

США, Германии и других стран, поскольку спектр добавок отечественного производства невелик. Однако данные химические добавки широкого распространения не получили по причине высокой стоимости.

В связи с вышесказанным, целью исследований является разработка комплексной химической добавки, обеспечивающей пластифицирующий эффект без замедления сроков схватывания бетонных и растворных смесей и изучение физико-механических свойств модифицированных бетонов.

В составе комплексной добавки полифункционального действия был использован суперпластификатор С-3, являющийся эффективным разжижителем бетонных смесей и получивший широкое распространение в строительной практике. Однако, как показывает опыт, пластифицирующие добавки существенно замедляют сроки схватывания бетонных и растворных смесей, в связи с чем большинство импортных полифункциональных модификаторов содержат ускоритель твердения либо специально подобранную смесь ускорителей. В настоящей работе для ускорения темпов набора прочности цементного камня использовали отход производства полиамидного волокна филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот», который образуется в результате очистки технологического оборудования и представляет собой обезвоженную смесь карбоната и нитрита натрия (табл. 1) [1, 2]. Нитрит-карбонатный отход в настоящее время практического применения не имеет.

Таблица 1
Химический состав нитрит-карбонатного отхода производства полиамидного волокна

| Наименование компонента | Содержание, мас. % |
|---|--------------------|
| Карбонат натрия ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) | 68–71 |
| Нитрит натрия (NaNO_2) | 28–31 |
| Водонерастворимые соединения | менее 1 |

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 70 мм из бетонной смеси следующего состава, кг/м³: цемент – 350, щебень – 1220, песок – 750. Использовались портландцемент производства ОАО «Красносельскстройматериалы» марки ПЦ 500 – Д0 (ГОСТ 10178–85), кварцевый монофракционный песок (ГОСТ 8736–93), гранитный щебень (ГОСТ 8267–93) фракции 5–20 мм, водоцементное отношение в бетонной смеси составило 0,43. В качестве контрольного использовали образцы бетона без добавок. Химические добавки вводились в воду затворения.

Задача получения высокоэффективных комплексных модификаторов заключается в рациональном использовании особенностей влияния отдельных компонентов добавки на гидратацию цементной системы с целью достижения высоких многофункциональных эффектов. В связи с этим на первом этапе исследования изучали влияние монодобавок на предел прочности при сжатии цементно-песчаных образцов в разные сроки твердения. Результаты исследования представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2
Влияние пластифицирующих добавок на предел прочности при сжатии цементно-песчаных образцов

| Содержание суперпластификатора С-3, % от массы цемента | Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут | | | |
|--|---|------|------|------|
| | 1 | 3 | 7 | 28 |
| 0 (контрольный) | 13,5 | 16,9 | 22,3 | 24,7 |
| 0,5 | 14,8 | 17,7 | 26,6 | 29,6 |
| 1,0 | 12,6 | 18,3 | 26,0 | 27,8 |
| 1,5 | 10,1 | 19,1 | 24,2 | 26,1 |
| 2,0 | 8,3 | 19,1 | 23,7 | 24,2 |

Таблица 3
Зависимость предела прочности при сжатии цементно-песчаных образцов от содержания ускорителя твердения

| Содержание нитрит-карбонатного отхода, % от массы цемента | Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут | | |
|---|---|------|------|
| | 1 | 3 | 7 |
| 0 (контрольный) | 13,5 | 16,9 | 22,3 |
| 0,1 | 20,1 | 23,1 | 33,7 |
| 0,5 | 16,2 | 21,3 | 31,1 |
| 1,0 | 15,6 | 17,3 | 20,7 |
| 1,5 | 14,9 | 15,6 | 14,8 |
| 2,0 | 14,9 | 15,1 | 15,0 |

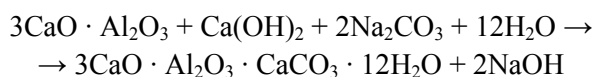
Из табл. 2 видно, что с увеличением содержания пластифицирующей добавки С-3 (без корректировки воды затворения) предел прочности при сжатии цементно-песчаных образцов в раннем возрасте уменьшается по отношению к контрольному образцу. Очевидно, это связано с тем, что молекулы поверхностно-активных веществ, содержащихся в суперпластификаторе С-3, адсорбируясь на поверхности цементных частиц и гидратных новообразований, «блокируют» их активные участки, замедляя начальные процессы гидратации и, как следствие, твердения цемента. Особенно это выражено у цементно-песчаных образцов суточного возраста. Однако уже в более поздние сроки твердения наблюдается существенный рост прочности

по сравнению с контрольным образцом, что согласуется с литературными источниками [3–5]. Наибольший прирост механической прочности в возрасте 28 сут (15–20%) достигается при содержании добавки С-3 в количестве 0,5–1,0% по сравнению с контрольным образцом.

Из табл. 3 видно, что оптимальным количеством является содержание отхода производства полиамидного волокна 0,1–0,5% от массы цемента, которое приводит к существенному росту прочности в начальные сроки твердения (1 сут).

Цемент является чрезвычайно сложной системой, на процессы гидратации и твердения в которой оказывают влияние химические добавки, вводимые даже в незначительных количествах. Известно, что добавки органического происхождения в большинстве своем не изменяют состава продуктов гидратации цементных минералов и влияют в основном на скорость кристаллизационных и конденсационных процессов и структуру гидратов, в то время как неорганические модификаторы влияют на изменение фазового состава продуктов гидратации цементного камня. Так, исследуя гидратацию клинкерных минералов в присутствии солей, авторы [4–9] отмечают, что при гидратации $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ в водных растворах карбоната и нитрита натрия образуется гидросиликат кальция CSH (II), переходящий со временем в CSH (I). Причем, карбонат натрия в данном случае существенно ускоряет гидратацию белитовой фазы. Кроме того, в результате взаимодействия Na_2CO_3 с выделяющимся в результате гидратации алита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуется карбонат кальция, который коагулирует поры цементного камня, что положительно сказывается на его физико-механических свойствах.

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ в растворах с добавкой карбонатов и нитритов щелочных металлов гидратируются с образованием гидрокарбоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и гидронитриалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_2)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Соли натрия и калия, при условии поступления в жидкую фазу гидроксида кальция, в результате реакции присоединения образуют наряду с основным продуктом и побочный – щелочь [4–9]:



В результате указанных процессов происходит быстрое формирование первичного структурного каркаса, который заполняется образующимися гидросиликатами кальция, что приводит к его уплотнению и способствует повышению прочности цементного камня.

В более поздние сроки твердения (7 сут) разница между пределом прочности при сжатии цементно-песчаных образцов в присутствии нитрит-карбонатного отхода и контрольным (без добавки) значительно меньше, а в отдельных случаях прочность последнего выше. Очевидно, выделяющийся гидроксид натрия снижает скорость гидратации алита, что приводит к замедленному темпу набора прочности в поздние сроки твердения [4, 8].

На основании полученных результатов выбраны составы комплексной добавки, которые использовались для определения предела прочности при сжатии цементно-песчаных образцов. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние комплексной химической добавки на предел прочности при сжатии цементно-песчаных образцов

| № п/п | Вид и содержание компонента добавки, % от массы цемента | | Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут | | | |
|-------|---|--------------------------|---|------|------|------|
| | Суперпластификатор С-3 | Нитрит-карбонатный отход | 1 | 3 | 7 | 28 |
| 1 | Контрольный образец (без добавки) | | 13,5 | 16,9 | 22,3 | 28,5 |
| 2 | 0,5 | 0,1 | 25,8 | 31,6 | 34,3 | 30,6 |
| 3 | 0,5 | 0,3 | 28,1 | 36,5 | 43,3 | 36,3 |
| 4 | 0,5 | 0,5 | 30,5 | 38,2 | 51,9 | 42,1 |
| 5 | 1,0 | 0,1 | 22,0 | 28,5 | 42,0 | 30,1 |
| 6 | 1,0 | 0,3 | 23,7 | 29,8 | 43,6 | 37,1 |
| 7 | 1,0 | 0,5 | 25,0 | 30,3 | 44,6 | 39,8 |
| 8 | 1,5 | 0,1 | 20,9 | 33,6 | 39,6 | 39,4 |
| 9 | 1,5 | 0,3 | 25,3 | 34,5 | 40,3 | 42,5 |
| 10 | 1,5 | 0,5 | 28,8 | 40,4 | 50,8 | 50,2 |

Из приведенных результатов видно, что оптимальными составами являются № 4, 8–10, поскольку они обеспечивают значительный прирост прочности и в ранние сроки твердения и в марочном возрасте по сравнению с контрольным образцом.

Оптимальные составы комплексных химических добавок использовались для изучения свойств цементного теста и камня: начала схватывания, морозостойкости и водопоглощения. Результаты исследования представлены в табл. 5.

В результате выполненных исследований установлено, что начало схватывания цементного теста, содержащего пластификатор С-3, наступает через 240 мин, что объясняется замедлением процессов гидратации и твердения цемента прежде всего вследствие экранирования

его зерен адсорбционными слоями [3]. Разработанные комплексные добавки не только компенсируют нежелательный эффект – увеличение времени схватывания, но и значительно сокращают его (табл. 5). Так наименьшее значение начала схватывания цементного теста составляет 110 мин для состава № 3, однако оно в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 10178 и СТБ EN 197.

Таблица 5
Свойства цементного теста и камня, содержащих комплексную химическую добавку

| Номер состава | Начало схватывания, мин | Водопоглощение, % | Морозостойкость, циклы |
|---------------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 180 | 7,3 | 76 |
| 3 | 110 | 5,7 | 140 |
| 8 | 140 | 6,0 | 139 |
| 9 | 140 | 6,1 | 137 |
| 10 | 150 | 5,8 | 143 |

Исследования показали, что структура цементно-песчаных образцов с комплексными добавками, формирующими первичный струк-

турный каркас, характеризуется более высокими физико-механическими свойствами (предел прочности при сжатии в ранние сроки и марочном возрасте на 35–70% выше, чем у контрольного) и пониженной пористостью за счет образования труднорастворимых соединений, уплотняющих цементный камень. Так, водопоглощение, косвенно характеризующее пористость цементного камня, на 15–20% ниже контрольных образцов, что приводит к увеличению морозостойкости.

Заключение. На основании полученных экспериментальных данных установили, что оптимальный состав комплексной химической добавки включает 1,5% С-3 и 0,5% нитрит-карбонатного отхода производства полиамидного волокна. Введение указанной добавки в состав смеси способствует увеличению предела прочности при сжатии в марочном возрасте на 35–70%, снижению водопоглощения на 15–20%, повышению морозостойкости на 60–70 циклов по сравнению с контрольным образцом. Кроме того, использование в составе комплексной добавки нитрит-карбонатного отхода позволит не только снизить стоимость продукта, но и решить важную экологическую проблему.

Литература

1. Кондрашова Г. С., Лещик Д. С., Тетерятников В. В. Изучение состава отработанного нитрита натрия – побочного продукта производства полиамидного волокна и возможности его использования в машиностроении // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Гродно, 2005. С. 118–119.
2. Сафончик Д. И. Химический состав модификатора цементных систем, полученного в условиях ПТК «Химволокно» // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Строительство и архитектура. 2013. № 1. С. 86–88.
3. Зоткин А. Г. Суперпластификаторы в бетоне // Популярное бетоноведение. 2009. № 3. С. 65–68.
4. Добавки в бетон / В. С. Рамачандран [и др.]. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
5. Эффективные высокопрочные и обычные бетоны / под общ. ред. В. И. Калашникова. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. 148 с.
6. Тараканов О. В., Пронина Т. В., Тараканова Е. О. Комплексные добавки в производстве цементных растворов и бетонов // Технологии бетонов. 2008. № 11. С. 8–12.
7. Тараканов О. В., Тараканова Е. О. Влияние ускорителей твердения на формирование начальной структуры цементных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 56–64.
8. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 221 с.
9. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат. 1973. 208 с.

References

1. Kondrashova G. S., Leshchik D. S., Teteryatnikov V. V. The study of composition the spent of sodium nitrite – by-product of the polyamide fiber and possibilities use in mechanical engineering. *Energo- i materialosberegayushchie ekologicheski chistye tekhnologii: tezisy dokladov 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Energy and material-environmentally friendly technologies: thesis of reports of the 6th International Scientific and Technical Conference]. Grodno, 2005, pp. 118–119 (In Russian).
2. Safonchik D. I. Chemical composition of the modifier of cement systems obtained under the conditions of ITC “Khimvolokno”. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Brest State Technical University. Ser. Construction and architecture], 2013, no. 1, pp. 86–88 (In Russian).

3. Zotkin A. G. Supersoftener in concrete. *Populyarnoe betonovedenie* [Popular concrete], 2009, no. 3, pp. 65–68 (In Russian).
4. Ramachandran V. S., Fel'dman R. F., Kolleparadi M., Mal'khotra V. M., Dolch V. L., Mekhta P. K., Okhama I., Ratinov V. B., Rozenberg T. I., Mailvaganam N. P. *Dobavki v beton* [Additives in concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p.
5. *Effektivnye vysokoprochnye i obychnye betony* [Effective high-strength and conventional concretes]. Penza, Privolzhskiy Dom znaniy Publ., 2015. 148 p.
6. Tarakanov O. V., Pronina T. V., Tarakanova E. O. Complex additives in the production of cement mortars and concretes. *Tekhnologii betonov* [Concrete Technology], 2008, no. 11, pp. 8–12 (In Russian).
7. Tarakanov O. V., Tarakanova E. O. Effect of hardening accelerators on the formation of the primary structure of cement materials. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], 2009, no. 2, pp. 56–64 (In Russian).
8. *Dobavki v betony i stroitel'nye rastvory* [Additives in concrete and mortar]. Rostov n/D, Feniks Publ., 2007. 221 p.
9. Ratinov V. B., Rozenberg T. I. *Dobavki v beton* [Concrete admixtures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 208 p.

Информация об авторе

Хотянович Оксана Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: okhotyanovich@rambler.ru

Information about the author

Khotyanovich Oksana Evgen'evna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okhotyanovich@rambler.ru

Поступила 23.10.2017