

ВЫСОКОПОДВИЖНЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ НА КОМПОЗИЦИОННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С ЗОЛЬНОДОЛОМИТОВОЙ ДОБАВКОЙ

А. В. Вольф, Е. В. Божок, В. К. Козлова

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Изучена возможность увеличения количества цементного теста в составе высокоподвижных бетонных смесей за счет применения двухкомпонентной добавки, состоящей из высококальциевых зол от сжигания бурых углей и доломита Таензинского месторождения. Показано, что такая добавка может успешно использоваться при производстве малоклинкерных композиционных портландцементов специального назначения, рекомендуемых для самоуплотняющихся бетонных смесей.

Ключевые слова: высокоподвижные бетонные смеси, композиционный портландцемент.

Высокоподвижные и самоуплотняющиеся бетонные смеси получают широкое распространение в технологии монолитного и сборно-монолитного строительства, а также в случаях бетонирования густоармированных конструкций и труднодоступных для уплотнения мест. Самоуплотняющиеся бетонные смеси должны обладать рядом отличительных свойств [1], в числе которых повышенная подвижность и хорошая связность, исключающая расслоение смеси. Требуемая подвижность бетонных смесей должна достигаться без снижения показателей прочности получаемого бетона. Одним из необходимых условий получения высокоподвижных бетонных смесей является значительное увеличение в них количества цементного теста, что может обеспечиваться не только увеличением расхода портландцемента, но и применением широкого спектра минеральных добавок, таких как молотый доменный шлак, зола-унос, молотые горные породы, продукты дробления кирпичного и бетонного ломаносимых зданий. Как правило, рекомендуется для увеличения количества цементного теста использовать многокомпонентные минеральные добавки, что позволяет улучшить свойства и бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Другое необходимое условие для получения самоуплотняющихся бетонных смесей – использование эффективной пластифицирующей добавки, чаще всего на поликарбонатной основе, авторами [2] установлено, что пластифицирующее действие этих добавок зависит от вида, количества и дисперсности минеральной добавки. В рабо-

те [3] в качестве основного минерального компонента для увеличения количества цементного теста был использован молотый доменный гранулированный шлак, а в качестве второй минеральной добавки для повышения пластифицирующего действия суперпластификатора было предложено использовать молотый известняк. Соотношение масс портландцемента и доменного гранулированного шлака принято 1:1, а молотым известняком заменялась часть портландцемента и шлака, без изменения указанного соотношения между ними. При этом использован портландцемент с ограниченным содержанием трехкальциевого алюмината, т.к. считается, что с увеличением содержания C_3A в цементе снижается пластифицирующее действие суперпластификаторов. Авторами установлено, что введение в состав самоуплотняющихся бетонных смесей 5% известняка в составе вяжущего позволяет повысить подвижность смеси, не увеличивая в ней содержание суперпластификатора или воды, без снижения прочности бетона. Однако в таких смесях наблюдалось повышенное водоотделение и расслоение.

Авторы работы [4] считают, что имеющиеся негативные особенности изготовления и свойств высокоподвижных бетонных смесей могут быть полностью устранены при использовании тонкодисперсных минеральных добавок. Наиболее перспективной из таких добавок может являться высококальциевая зола, получаемая при факельном сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Бетонные смеси изготавливались на вяжущем, состоящем из смеси портландцемента и золы в

ВЫСОКОПОДВИЖНЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ НА КОМПОЗИЦИОННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С ЗОЛЬНОДОЛОМИТОВОЙ ДОБАВКОЙ

соотношении 1:1. К необходимому количеству портландцемента добавлялось такое же количество золы за счет уменьшения массы крупного заполнителя (щебня). Количество портландцемента менялось от 353 до 470 кг на м³ бетонной смеси. Одновременно вводилась добавка микрокремнезема в количестве 24 кг на м³ бетона.

При изготовлении бетонных смесей с таким количеством высококальциевых зол бурых углей необходимо учитывать особенности состава используемых зол и особенности продуктов их гидратации. Гидратация и твердение этих зол часто сопровождаются деструктивными процессами, связанными с гидратацией свободного оксида кальция и образованием в составе продуктов гидратации значительного количества трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция – минерала этtringита.

Авторы [5], изучавшие влияние состава портландцемента и продуктов его гидратации на свойства самоуплотняющихся бетонных смесей отмечали, что на реологические свойства и удобоукладываемость в первые часы гидратации оказывает отрицательное влияние образование сингениита и этtringита. Сингениит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$) образует очень крупные кристаллы, это снижает растекаемость бетонных смесей, удлиненно-призматический этtringит также неблагоприятно влияет на текучесть. Наряду с обычными технологическими приемами увеличения ранней прочности к ускорению гидратации, по мнению авторов, может привести использование тонкомолотого известняка.

Многие из имеющихся суперпластификаторов на поликарбоксилатной основе вызывают различную степень замедления гидратации цемента и задерживают время схватывания бетонной смеси, за счет этого может запаздывать процесс упрочнения. Вызванное суперпластификатором замедление гидратации также может частично или полностью компенсироваться при добавке известняка за счет ускорения гидратации трехкальциевого силиката в составе портландцемента. Авторы считают, что частицы карбоната кальция выступают в качестве центров кристаллизации для низкоосновных гидросилликатов кальция (C-S-H фазы).

Выполненное нами ранее изучение способности карбонатных пород (известняка и доломита) взаимодействовать с гидроксидом кальция показало, что известняк за 28 суток в насыщенном растворе извести связывает гидроксид кальция в количестве 36 мг CaO на

1 г известняка, а доломит оказывается более активным и связывает 60 мг CaO на 1 г доломита. Поэтому можно считать, что ускоряющее действие известняка на гидратацию C_3S связано с его способностью реагировать с $Ca(OH)_2$, выделяющимся при гидролизе C_3S .

В работе [6] показано, что при гидратации и твердении высококальциевых зол бурых углей в присутствии карбонатной добавки в виде доломита отсутствуют деструктивные явления, а зольно-доломитовая смесь при соотношении компонентов от 1:1 до 7:3 может рассматриваться как самостоятельное бесклинкерное вяжущее, при гидратации и твердении в нормальных условиях образующее камень с пределом прочности при сжатии около 30 МПа.

В связи с этим при изготовлении высокоподвижных бетонных смесей использовалась как дополнительное вяжущее двухкомпонентная зольнодоломитовая добавка, содержащая от 50 до 70% высококальциевой золы бурых углей и от 30 до 50% доломита Таензинского месторождения. Подготовка комплексной добавки заключалась в совместном помоле компонентов в шаровой мельнице до остатка на сите 008 менее 15%. В работе использовался портландцемент, изготовленный на основе клинкера цементного завода ОАО «Искитимцемент», имеющего следующий химический состав: SiO_2 – 21,58%, Al_2O_3 – 5,66%, Fe_2O_3 – 4,61%, CaO – 65,70%, MgO – 1,32%, R_2O – 0,80%, SO_3 – 0,33%, $CaO_{своб}$ – 0,30%. Бездобавочный портландцемент получали совместным помолом клинкера с 5% гипсового камня. Содержание трехкальциевого силиката в этом цементе составляет 55,0%, содержание трехкальциевого алюмината – 6,2%.

Химический состав доломита: SiO_2 – 0,4%, Al_2O_3 – 0,08%, Fe_2O_3 – следы, CaO – 31,59%, MgO – 21,23%, SO_3 – 0,32%, п.п.п. – 46,26%.

Химический состав буроугольной золы: SiO_2 – 33,38%, Al_2O_3 – 6,94%, Fe_2O_3 – 10,57%, CaO – 32,35%, MgO – 6,89%, SO_3 – 2,69%, $CaO_{своб}$ – 7,13%.

Зола ТЭЦ города Абакана обладает вяжущими свойствами, характеризуется неравномерным изменением объема при твердении, что может быть причиной деструктивных явлений при гидратации и твердении портландцементов, содержащих добавку такой золы. Смешанное вяжущее, содержащее 40% портландцемента, 42% золы и 18% доломита с полифракционным песком (состав 1:3) через 28 суток твердения в нормальных усло-

виях характеризовалось пределом прочности при сжатии – 29,3 МПа, пределом прочности при изгибе – 6,3 МПа. Цементное тесто, изготовленное на основе бездобавочного портландцемента, характеризуется водоотделением 30%. Введение в состав зольнодоломитовой добавки приводит к уменьшению водоотделения до 26,0%. Усадочные деформации при твердении в нормальных условиях цементного теста из такого смешанного вяжущего составляют 0,10 мм/м. Используемая комплексная добавка способствует снижению масштаба усадочных явлений в 2,5 раза.

Характеризуя используемое вяжущее, представляющее собой смесь портландцемента с комплексной зольнодоломитовой добавкой можно отметить, что по существу оно представляет собой композиционный портландцемент.

Сочетание различных видов добавок открывает большие перспективы для получения композиционных портландцементов, отличающихся необходимым набором специфических свойств, в том числе безусадочные и расширяющиеся портландцементы, цементы для зимнего бетонирования, портландцементы для изготовления различных видов сухих строительных смесей, портландцементы для высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей.

Нами были разработаны технические условия ТУ 5730-001-99819840-2014 на композиционный портландцемент с зольнодоломитовой добавкой. Предлагаемый цемент может быть успешно использован по указанному назначению. Такой цемент может быть изготовлен с одновременным использованием трех минеральных добавок – доменного гранулированного шлака, высококальциевой золы и доломита при следующем количестве компонентов: 40% клинкер, 20% доменный гранулированный шлак, 40% зольнодоломитовая составляющая, 5% двуводный гипс.

Такие композиционные портландцементы могут изготавливаться совместным помолом компонентов в помольных отделениях цементных заводов. При наличии добавки доломита может быть снижено содержание двуводного гипса до 2,5%. Это приведет к уменьшению количества сингениита и эттрингита в продуктах гидратации.

Целью проведенных исследований было получение высокоподвижных бетонных смесей с осадкой конуса 15-20 см с использованием композиционных вяжущих веществ, состоящих из портландцемента и зольнодо-

ломитовой добавки.

В качестве крупного заполнителя использовался щебень Верх-Катунского карьера фракции 5-20 мм, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8269-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». В качестве мелкого заполнителя применялся речной песок с модулем крупности 1,29, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия».

Комбинированная зольнодоломитовая добавка, изготавливалась совместным помолом в шаровой мельнице высококальциевой золы от сжигания бурых углей и доломита до остатка на сите 085 менее 10%.

Известно, что с увеличением степени измельчения золы снижается вероятность деструктивных явлений при ее гидратации. Наличие достаточного количества доломитовой добавки гарантирует их отсутствие. Совместным помолом портландцементного клинкера с добавкой двуводного гипса (5%), высококальциевой золы бурых углей и доломита в условиях цементных заводов может изготавливаться композиционный портландцемент для самоуплотняющихся бетонных смесей.

В качестве пластифицирующей добавки использовали Melflux 2651 F на основе модифицированных эфирполикарбоксилатов в количестве 0,5% от массы цемента.

Расчет состава бетонной смеси выполнен с учетом рекомендаций, приведенных в работе [7]. Консистенция бетонных смесей характеризовалась осадкой конуса 18-20 см. Из полученных бетонных смесей формовались образцы-кубы размером 100×100×100 мм, которые хранились в нормальных условиях при температуре 20±2°C и относительной влажности воздуха 100%.

Состав бетонных смесей и свойства полученных бетонов приведены в таблице 1.

Полученные бетоны имели класс по морозостойкости F 300.

Определение пористости цементного камня, выполненной с применением метода ртутной порометрии, показало, что суммарная пористость цементного камня, образовавшегося при твердении композиционного портландцемента с зольнодоломитовой добавкой составляет 16,2%, в то время как пористость цементного камня на основе бездобавочного портландцемента составляет 22,5%.

ВЫСОКОПОДВИЖНЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ НА КОМПОЗИЦИОННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С ЗОЛЬНОДОЛОМИТОВОЙ ДОБАВКОЙ

Таблица 1 – Составы бетонных смесей и свойства бетонов

№ пп	Состав бетонной смеси	Предел прочности при сжатии, МПа			
		1 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
1	Контрольный состав: Портландцемент – 440 кг/м ³ Песок – 635 кг/м ³ Щебень – 1150 кг/м ³ Вода – 168 л/м ³	6,7	15,3	23,5	29,7
2	Портландцемент – 440 кг/м ³ Песок – 635 кг/м ³ Щебень – 850 кг/м ³ Зольнодоломитовая добавка 1:1 – 300 кг/м ³ Вода – 177 л/м ³	9,3	21,8	30,1	42,8
3	Портландцемент – 440 кг/м ³ Песок – 635 кг/м ³ Щебень – 850 кг/м ³ Зольнодоломитовая добавка 7:3 – 300 кг/м ³ Вода – 185 л/м ³	10,7	23,4	34,7	48,7

Усадочные деформации при твердении композиционного портландцемента с зольнодоломитовой добавкой сократились в 2,5 раза по сравнению с усадочными деформациями бездобавочного портландцемента и составили 0,1 мм/м. Зольнодоломитовая добавка в составе композиционного портландцемента способствует значительному снижению водоотделения цементного теста.

Определение карбонизационной стойкости цементного камня на основе композиционного портландцемента с зольнодоломитовой добавкой, выполненное с использованием метода принудительной карбонизации, показало, что в процессе углекислотной коррозии такого камня поглощается 140 мг СО₂ на 1 г портландцементного клинкера, в то время как при карбонизации цементного камня из бездобавочного портландцемента поглощается 220 мг СО₂ на 1 г портландцементного клинкера.

На основании приведенных результатов, можно считать, что комбинированная зольнодоломитовая добавка может успешно использоваться для увеличения количества вяжущего при изготовлении высокоподвижных бетонных смесей, а также при производстве малоклинкерных многокомпонентных портландцементов специального назначения, рекомендуемых для самоуплотняющихся бетонных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brameshuber, W. Selbstverdichtender Beton. Dusseldorf. Verlag Bau + Technik GmbH, 2004. – S. 67.
2. Петрова, Т. М. Свойства пластифициро-

ванных композиций портландцемент – доменный шлак / Т. М. Петрова, О. М. Смирнова, С. Т. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 2. – С. 118.

3. Смирнова, О. М. Расход и дисперсность молотого известняка для самоуплотняющегося бетона / О. М. Смирнова, О. Е. Макаревич // Цемент и его применение. – 2014. – № 4. – С. 76.

4. Овчаренко, Г. И. Высокоподвижные бетонные смеси для монолитного строительства / Г. И. Овчаренко, Д. В. Бойков, М. В. Нагель // Международный сборник научных трудов «Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении». – Новосибирск, 2017. – С. 200.

5. Штарк, И. Некоторые аспекты химии цемента в самоуплотняющемся бетоне / И. Штарк, М. Фриберг // Цемент и его применение. – 2005. – № 6. – С. 58.

6. Козлова, В. К. Состояние и перспективы развития производства многокомпонентных вяжущих веществ / В. К. Козлова, Е. В. Шкрабко, Е. Ю. Малова // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 72.

7. Калашников, В. И. Расчет состава высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В. И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 4-6.

Вольф А.В. – доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: volf.anna@mail.ru.

Божок Е.В. – аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: dmbozhok@gmail.com.

Козлова В.К. – д.т.н., профессор кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: kozlova36@mail.ru.