

(13.03.2011):<http://dynamo.geol.msu.ru/personal/VSZ/papers/DPG/7.pdf> – Загл. с экрана.

4. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.

5. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

6. ГОСТ 23161-78 Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности.

УДК 666. 972

ПРИНЦИП ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ БЕТОНОВ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

О.В. Буйко

В статье рассматривается принципиальная возможность получения высококачественных портландцементных материалов путем модифицирования структуры твердеющего цементного камня при помощи комплексных химических добавок.

Ключевые слова: цемент, бетон, прочность, модифицирующие добавки, изоструктурность гидратных фаз.

ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Повышенные требования по морозостойкости, стойкости к различным агрессивным средам, водонепроницаемости, предъявляются к бетонным и железобетонным изделиям производимым на предприятиях ЖБИ для промышленного и гражданского строительства, к бетонам для транспортного и монолитного строительства, гидротехнических сооружений. Кроме того, при постоянном росте цен на энергоносители и потребности ведения бетонных работ в условиях низких температур, возникает реальная потребность в быстротвердеющих непропариваемых бетонах. Решение подобных проблем возможно при модифицировании обычных портландцементов комплексными добавками полифункционального назначения, а также при использовании в бетонах шлакощелочных или безгипсовых вяжущих на основе портландского клинкера.

Особый интерес, вследствие доступности исходного материала и относительной простоты технологических приемов, представляет модифицирование портландцемента. В результате проведенных исследований, нами показана возможность получения быстротвердеющих, высокопрочных и долговечных бетонов на основе обычных портландцементов и рядовых заполнителей, при использовании ряда комплексных добавок.

В основу метода модифицирования портландцементного вяжущего положен принцип стабилизации на ранних этапах гидратации изоструктурных гидратных фаз клинкера. Изоструктурность основных новообра-

зований цемента: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C-S-H-фазы и AFm-фазы, приводит к их тесным взаимным срастаниям и прорастаниям, обеспечивающим высокую плотность упаковки гидратов, а их стабилизация в ранний период структурообразования вяжущего предотвращает первоначальную раздвижку цементных зерен иглами этtringитоподобной AFt- фазы.

Указанные факторы способствуют получению цементного камня с бездефектной, однородной структурой, и, следовательно, с высокими строительно-техническими свойствами. Основным отличием непластифицированных и суперпластифицированных портландцементных систем является их плотность, зависящая, главным образом, от водоцементного отношения. Для непластифицированных цементных систем характерны высокие водоцементные отношения и, следовательно, повышенная пористость камня. В таких “рыхлых” условиях основным фактором, обеспечивающим высокую раннюю прочность материала, является быстрое накопление твердой фазы с возможно большим охватом заполняемого пространства. Как правило, и, особенно в присутствии добавок - ускорителей, это обеспечивается за счет интенсивного синтеза этtringитоподобных AFt-фаз.

Для суперпластифицированного, низкопористого портландцементного камня, где гидратообразование происходит в стесненных условиях, на первое место выступает проблема синтеза таких новообразований, которые обеспечивают тесное взаимное прорастание гидратов по типу смесей $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C-S-H и AFm фаз. Образование в суперпластифицированных системах преимуществен-

ПРИНЦИП ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ БЕТОНОВ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

но AFm-фаз более выгодно по той причине, что даже при одинаковом объеме собственно твердой AFt и AFm фазы, для роста плотноупакованных пластинчатых AFm гидратов необходим меньший объем свободного пространства.

Практически обеспечить приоритет и стабильность AFm-фаз возможно в следующих случаях.

1. При использовании Na_2SO_4 в безгипсовых портландцементных (БГПЦ), где AFm-фаза моногидросульфатоалюминатного типа является основным структурно-активным продуктом гидратации алюминатной составляющей клинкера.

2. При использовании анионоактивных органических замедляющих гидратацию веществ, способных стабилизировать гексагональные AFm-фазы, независимо от того, участвуют ли сульфат-ионы в реакциях гидратации.

3. При использовании таких активных минеральных добавок как высокореакционные пуццоланы. Совместно с суперпластификатором данные АД способствуют получению цементного камня, структуру которого составляют, в основном, пластинчатые мелкодисперсные образования плотно прилегающие друг к другу.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представленные выше положения послужили основой проведенных экспериментальных исследований. В работе использовался портландцемент Голухинского цементного завода (Алтайский край) с содержанием C_3S - 59 %, C_3A - 7 %.

Химический состав добавок - ускорителей твердения является фактором, определяющим степень ускорения твердения портландцементного вяжущего, - как непластифицированного, так и суперпластифицированного. Результаты эксперимента показали, что в непластифицированном портландцементе добавки диссоциирующие на ионы с повышением кислотности жидкой фазы цементной пасты, в основном, мало эффективны в качестве ускорителей твердения. Исключением является CaCl_2 - классический ускоритель твердения цемента

Более высокую эффективность в портландцементных системах без пластификатора имеют добавки диссоциирующие на ионы с повышением щелочности жидкой фазы цементных паст. Однако наибольший прирост прочности обеспечивает в непластифицированных портландцементных системах именно CaCl_2 , а

такие добавки, как Na_2CO_3 и Na_2SO_4 существенно уступают ему (рисунок 1 А).

В суперпластифицированных же портландцементных системах ряд активности указанных ускорителей меняется, и, более эффективным становится Na_2SO_4 (рисунок 1 Б), что также косвенно указывает на правильность выдвинутой концепции.

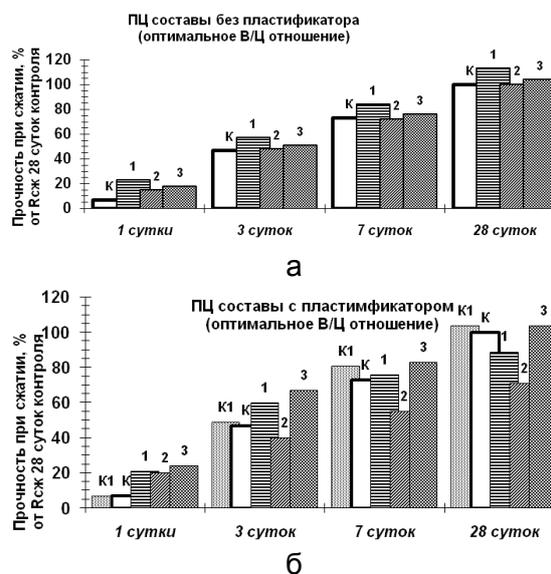


Рисунок 1 – Влияние суперпластификатора С-3 на прочность портландцементных составов с добавками - ускорителями: а - непластифицированные портландцементные составы (ТНГ), б - суперпластифицированные составы (ТНГ); К - портландцементный состав без добавок, К1 - с добавкой С-3, 1 - CaCl_2 , 2 - Na_2CO_3 , 3 - Na_2SO_4

Анализ фазового состава показал, что относительное содержание AFm-фаз в суперпластифицированном составе с Na_2SO_4 через 1 сутки твердения в нормальных условиях возрастает, по сравнению с контрольным портландцементом и непластифицированным составом с Na_2SO_4 (рисунок 2).

Основными компонентами модифицирующих добавок являются суперпластификатор (СП), натрийсодержащая добавка, например Na_2SO_4 , а также активный микрокремнезем (МК). Для стабилизации фазового состава модифицированных цементных систем относительно AFm-фаз применялся дополнительный компонент добавки - КБ, являющийся сильным анионогенным комплексообразователем с ионами кальция и алюминия.

Цементные составы с трехкомпонентной добавкой «СП + Na_2SO_4 + МК» обладают высокими темпами структурообразования. Пики стабилизированной AFm-фазы фиксируются

на рентгенограмме состава через сутки нормального твердения, а также эндоэффектом 141,4 °С на кривой DSC. Содержание AFm-фазы в таких составах превышает относительное содержание AFt гидратов (рисунок 2).

Высокоэффективная композиция на основе СП, МК и Na₂SO₄ не в полной мере обеспечивает стабилизацию желаемых фаз, так как сформировавшиеся в начальный период эттрингитоподобные гидраты приводят к сбросам прочности в промежуток 3 - 10 суток за счет перестройки AFt → AFm. При наличии в составе модификатора дополнительного компонента - КБ происходит изменение в составе гидратных образований цемента соотношения между AFt и AFm фазами в сторону увеличения относительного содержания последней (рисунок 2). Дополнительное использование анионноактивного замедлителя КБ способствует стабилизации высоких прочностных характеристик во времени.

Компонент КБ позволяет усилить на раннем этапе твердения стабилизацию AFm-фазы портландцементной системы, содержащей Na₂SO₄ и МК (рисунок 2), что подтверждается увеличением эндоэффекта с пиком 140 °С - DSC, с пиком 138,5 °С - DSC-DTG, относящихся к разложению гидратов типа AFm, а кроме того существенно увеличить продолжительность сроков схватывания. При этом уменьшается первоначальная раздвижка цементных зерен и предотвращаются деструктивные явления, связанные с перекристаллизацией AFt фаз, что способствует стабилизации высоких прочностных характеристик бетонов во времени (рисунок 3).

Активный микрокремнезем, входящий в состав комплексных добавок «СП + Na₂SO₄ +

МК» и «СП + Na₂SO₄ + МК + КБ», способствует повышению плотности, а следовательно - прочности и других строительно-технических свойств модифицированных портландцементных систем, благодаря образованию дополнительного количества C-S-H фазы, о чем свидетельствуют экзоэффекты от потери воды из C-S-H фазы на кривой DSC: от 420 °С до 530 °С, при температуре пика 462,6 °С (комплексная добавка без КБ) и в интервале от 210 °С до 420 °С с пиком при 415,4 °С (комплексная добавка с КБ). По сравнению с контрольным составом, у указанных портландцементных композиций уменьшаются эндоэффекты, относящиеся к Ca(OH)₂, что подтверждает факт активного связывания данного соединения кремнегелем.

Быстрый рост прочности составов модифицированных «СП + Na₂SO₄ + МК» отразился на сокращенных сроках схватывания, что является характерным признаком для любых смесей, содержащих ускоритель твердения. Кроме наличия подобной добавки, на сокращение времени живучести бетонных смесей, как модифицированных, так и не содержащих добавок, значительное влияние оказывают загрязняющие примеси в заполнителе, количество которых в местных материалах достигает в щебне 4-6 %, в песке 6-8 % от массы. На рисунке 4 проиллюстрированы результаты эксперимента по определению сохранения подвижности бетонными смесями, в зависимости от количества загрязняющих примесей. Дополнительное применение в составе модификатора компонента КБ устраняет эффект быстрого загустевания бетонных смесей с комплексными добавками.

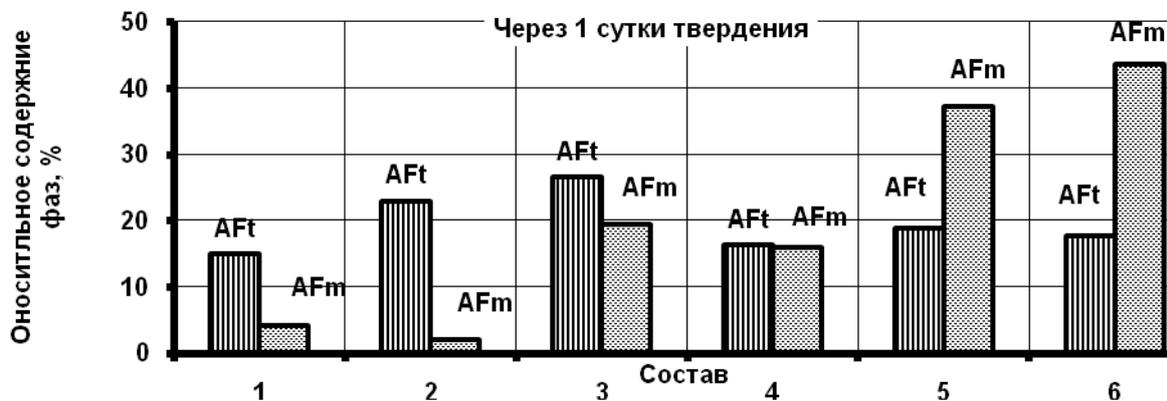


Рисунок 2 – Относительное содержание AFt и AFm подобных фаз в портландцементных составах через 1 сутки твердения в нормальных условиях. Составы: 1 - контрольный ПЦ, 2 - Na₂SO₄, 3 - СП + Na₂SO₄, 4 - КБ + Na₂SO₄, 5 - СП + Na₂SO₄ + МК, 6 - КБ + Na₂SO₄ + МК

ПРИНЦИП ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ БЕТОНОВ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

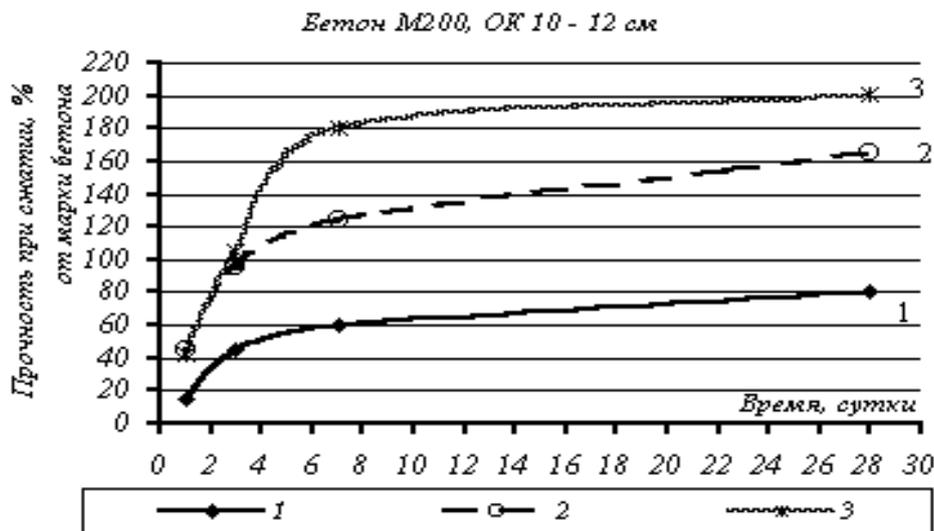


Рисунок 3 – Прочность модифицированных бетонов при наличии в заполнителях 14 % загрязняющих примесей. Составы: 1 - контрольный ПЦ, 2 - СП + Na₂SO₄ + МК, 3 - КБ + Na₂SO₄ + МК

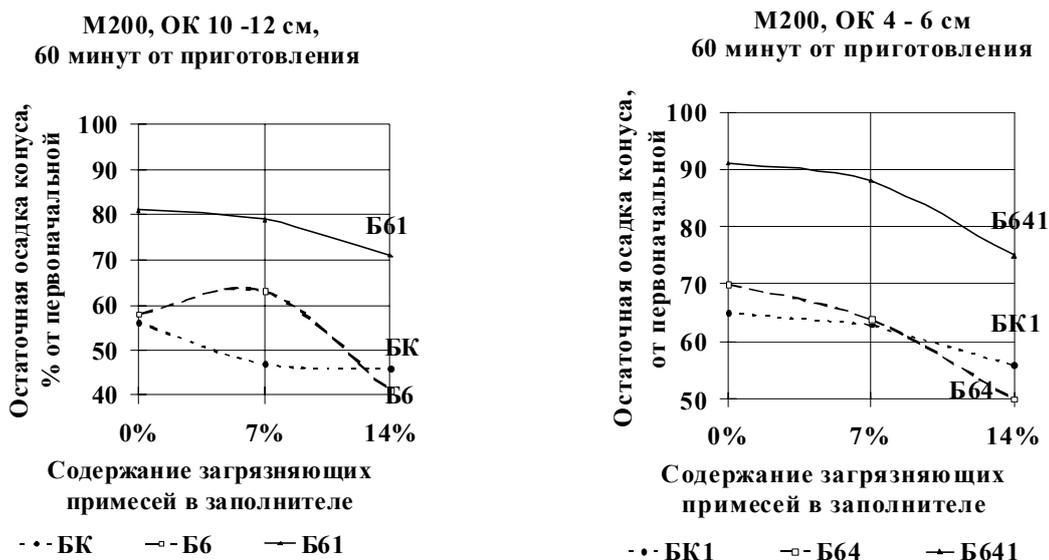


Рисунок 4 – Потеря подвижности модифицированными бетонными смесями во времени, в зависимости от содержания загрязняющих примесей в заполнителе. Бк, БК1 - контрольные составы; Б6, Б64 - модификатор без КБ; Б61, Б641 - модификатор с КБ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные заводские испытания показали, что при использовании рядовых заполнителей и портландцемента М400 Д 5 - Д 20 можно получить быстротвердеющие бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками. Изделия, изготовленные в производственных условиях из модифицированных бетонных смесей за сутки твердения без дополнительной тепловой обработки, в зависимости от исходной марки, набирали от 60 - до 90 % проектной прочности. Комплексные мо-

дификаторы придают бетонным изделиям сульфатостойкость, повышают водонепроницаемость до 14 - 16 атмосфер, морозостойкость - до 500 циклов попеременного замораживания - оттаивания. К двадцативосьми суткам твердения в естественных условиях прочность изделий из модифицированных бетонов составляет 130 - 200 % от проектной.

Разработанные бетоны прошли успешные испытания как в условиях заводов ЖБИ, так и при экспериментальном строительстве мостов. Сегодня это одни из наиболее эффективных композиций для дорожного строи-

тельства, позволяющие получать долговечные бетонные конструкции, существенно снижать энергозатраты при заводском их производстве, а также быстро и качественно выполнять работы в полевых условиях.

Кроме того, следует отметить, что в последнее время многие исследователи получают прирост прочности в суперпластифицированных бетонах при содержании глинистых примесей до их количества в 7-10 %. Этот

факт находится в рамках выдвинутой концепции и позволяет сегодня совершенствовать технологию бетона в том числе и при специальном введении различных глинистых добавок.

Исследование выполнено на кафедре Строительных материалов Строительно-технологического факультета Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

УДК 621.926.519

СИНЕРГЕТИКА И ЕЕ АДАПТАЦИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Ю.А. Веригин, Я.Ю. Веригина

В работе излагаются основные принципы синергетики и ее адаптивный аппарат, применительно к технологическим процессам строительства. Даются примеры энергетического анализа процессов устойчивости стержневых строительных конструкций, нагруженных осевой силой. На основе силовых характеристик измельчительного устройства строится синергетическая модель процесса измельчения, позволяющая оптимизировать процесс помола различных материалов на любой стадии измельчения.

Ключевые слова: синергетика, строительные технологии, конструкции, измельчаемые материалы, разрушение структуры, энергия процессов, оптимизация параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы строительства, производства строительных материалов, гидротехники, металлургии, фармакологии и других отраслей, а также рабочие процессы строительно-дорожных машин и оборудования являются весьма энергоемкими и непосредственно необратимыми в закономерностях течения которых властвует нелинейность

К сожалению, существующие математические модели используемые для для описания и оптимизации подобных процессов созданы на линейной основе, где изменениям одной независимой переменной величины непременно отражают перемены в зависимой. Столь упрощенное представление реально сложных процессов не позволяет объединить и описать широкий круг разрозненных явлений, обнажить их глубинную сущность и оптимизировать процесс за счет совершенствования его физики, структуры и способа производства механических воздействий.

Отсутствие четкого математического аппарата для теоретического описания сложных

необратимых процессов поставило многие отрасли технологической деятельности на уровень эмпирической линейности, например, такие, как законы дробления, измельчения, бурения и переработки горных пород, закономерности смешивания материалов при приготовлении строительных бетонов, различные принципы оптимизации строительных конструкций, термодеформативных трансформаций фракционного состава структуры мерзлых грунтов и многие другие, которые развиваются под действием непрерывного потока негэнтропии, минуя состояния равновесия.

На сегодняшний день наиболее синтезирующей наукой, способной абсолютизировать рассматриваемую реальность, является термодинамика необратимых процессов (**синергетика**), основы которой разработаны нидерландско-бельгийской школой Де Донде с участием И. Пригожина и Г. Николаса. Будучи молодой наукой, термодинамическая теория необратимых процессов уже нашла применение в биологии, астрофизике, метеорологии и других сферах деятельности человека.

На основе этого стало возможным решение таких задач как: