

Якимович Глеб Дмитриевич, магистр технических наук, инженер научно-исследовательской испытательной лаборатории, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Gleb Yakimovich, master of engineering, engineer at research and testing laboratory, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СУХОГО ФОРМОВАНИЯ

PRODUCTION OF SMALL-PIECE PRODUCTS BY THE DRY FORMING METHOD

АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена критическому анализу существующей технологии сухого формования бетона, в изучении возможностей сухого формования в решении проблемы более плотной укладки сухой бетонной смеси, а также нейтрализации негативных эффектов при водонасыщении и формовании смеси. Это позволяет усовершенствовать метод сухого формования с целью внедрения новой, более экономичной технологии в производство мелкоштучных изделий из мелкозернистого бетона. Также в ходе исследований были установлены перспективы применения данного метода для интенсификации процесса производства мелкоштучных изделий. Исследована возможность сухого формования изделий из гипсово-песчаных смесей, позволяющая осуществлять немедленную распалубку крупных изделий (стеновых пазогребневых блоков и т.д.). Тем самым увеличиваются темпы оборачиваемости форм и снижаются капитальные затраты производства. Также перспективные результаты с точки зрения экономики и экологии продемонстрировала технология сухого насыщения чистого гипса. При изготовлении декоративного гипсового камня темпы работ искусственно замедляются введением

добавок-пластификаторов, которые повышают прочность за-медляющих схватывание и позволяют производить качественное уплотнение гипсового теста. Технология сухого формования же, наоборот, позволяет добавление в состав измельчённого двуводного гипса из отбракованных изделий, что при сохранении должного качества конечного изделия сокращает как сроки распалубки, так и затраты на утилизацию отбракованного материала и иных отходов гипса. Серия экспериментов с гипсом позволила выделить наиболее рациональную область использования технологии сухого формования, а именно формование тонкослойных (до 40мм) изделий из быстросхватывающихся смесей. Ведётся работа над проектированием смесей на основе цемента «быстряка», также обладающего крайне короткими сроками схватывания и высокими темпами твердения в суточном возрасте. Предполагается, что реализация такой технологии позволит существенно уменьшить время оборачиваемости форм, а также снизить или полностью избежать энергетических затрат на термообработку мелкостучных изделий.

ABSTRACT

This article is devoted to critical analysis of existent technology of the dry forming of concrete, study of possibilities of the dry forming in the decision of problem of more dense piling of dry concrete mixture, and also neutralization of negative effects at a water saturation and the mixture forming. This allows us to improve the method of dry molding in order to introduce a new, more economical technology in the production of small-piece products from fine-grained concrete. Also in the course of research, the prospects of using this method for intensifying the process of production of small pieces were established. Possibility of the dry shaping of wares is investigational from gypsum sandy mixtures, allowing to carry out immediate form removal of large wares gypsum wall blocks and etc.). The rates of mould reusability increase the same and the capital costs of production go down. Also, perspective results from the point of view of economy and ecology were shown by technology of dry saturation of clean gypsum. At making of gypsum decorative bricks the rates of works are artificially slowed by introduction of addition

plasticizers that promote durability, slowing grasping and allow to produce the quality consolidation of gypsum. The technology of dry molding is the opposite, adding to the composition of grinded gypsum from defective products, which, while maintaining the proper quality of the final production, both the unpacking time and the disposal costs of the rejected material and other wastes of gypsum are reduced. A series of experiments with gypsum made it possible to single out the most rational area of using dry-molding technology, namely, the formation of thin-layered (up to 40 mm) products from fast-setting mixtures. Work is under way on the design of mixtures based on the «flash setting» cement, which also has an extremely short setting time and reaching a curing rate at a diurnal age. It is assumed that the realization of such technologies can reduce the mould reusability, also reduce or avoid the energy costs.

Ключевые слова: сухое формование, вакуумирование, ускорение темпов формования, увеличение прочности, оборачиваемость форм.

Keywords: dry-forming, vacuum saturation, acceleration of molding rates, strength increasing, mould reusability.

ВВЕДЕНИЕ

Свойства бетона в значительной мере зависят от его структуры, которая представлена дисперсным каркасом (носителем прочности материала) и поровым пространством, от величины и характера которого в первую очередь зависит долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций. По мере увеличения плотности упаковки смеси возрастает адгезия цементного камня к поверхности заполнителя, и чем больше площадь контакта, тем прочнее бетон. Вследствие чего мелкозернистый бетон имеет целый ряд преимуществ по сравнению с бетоном на крупном заполнителе. Для мелкозернистых бетонов характерно уменьшение диаметра пор и капилляров, а соответственно и повышение однородности их распределения, что обуславливает повышенную морозостойкость материала и, в конечном счете, его долговечность. Ускоренная кинетика твердения изделий из особо

жестких смесей сокращает длительность тепло-влажностной обработки. При качественном формировании структуры стоимость изделий из мелкозернистого бетона может быть снижена на 25–50% [1, с. 9] по сравнению с крупнозернистым.

Однако на данный момент производство изделий из мелкозернистого бетона сопряжено с большим расходом вяжущего, что влечёт за собой значительное удорожание изделия при относительно низких классах по прочности. Необходимо совершенствование способа формирования изделий из мелкозернистых бетонных смесей. В качестве перспективного направления в проводимом нами исследовании было выбрано сухое формирование бетонной смеси. Данный метод обладает рядом преимуществ.

Сухое формирование в сочетании с вакуумированием позволяет получать бетоны с низким водоцементным отношением порядка 0,27–0,28. При этом укладка и уплотнение легко формируемой сухой бетонной смеси непосредственно до её водонасыщения позволяет избежать традиционных проблем уплотнения жёстких смесей. Применение сухих смесей практически не ограничено временем транспортирования и хранения, они инертны к изменениям температуры, допускают значительные перерывы и остановки при укладке в опалубку. Более плотная укладка зерен твердой фазы при вибрационном воздействии, чем при применении смеси аналогичного зернового и состава при влажном формировании, позволяет получить и более плотную структуру, характеризующуюся меньшей пористостью, что обеспечивает рост плотности, прочности и эксплуатационных характеристик бетона.

В традиционных водозатворенных бетонных смесях вокруг зерен твердой фазы формируются сольватные оболочки разной толщины. При уплотнении бетона происходит перегруппировка зерен твердой фазы в стремлении к более компактному взаиморасположению. Данный процесс ограничен толщиной водной прослойки между ними. Снижение водосодержания сопровождается уменьшением количества свободной жидкости до водоцементного отношения, равного 0,876 от коэффициента нормальной густоты ($K_{нр}$). Однако в данном случае поверхностью твердой фазы цемента будет связана вся жидкость, и цементный гель становится трудноформируемой рыхлой массой [2, с. 13].

Дальнейшее уменьшение содержания воды приводит к формированию на поверхности цементных зерен тонких слоев жидкости, поляризованные молекулы которой ориентированы в силовом поле частиц. Наличие в бетоне заполнителей, в особенности мелкого, обладающего развитой удельной поверхностью, усиливает проявление деструктивного эффекта при водосодержании бетона водоцементного отношения выше 0,22–0,25.

СУХОЕ ФОРМОВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ЦЕМЕНТЕ

В научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов были проведены эксперименты по совершенствованию технологии сухого формования. Для нейтрализации расклинивающего эффекта тонких плёнок было предложено создание в теле изделия пониженного давления и последующее частичное водонасыщение, в результате чего обжигающее усилие будет создаваться непосредственно атмосферой.

Для формования образцов использовались следующие материалы: портландцемент М400 с нормальной густотой 28%; песок с модулем крупности 2,6. Цемент и песок смешивались в соотношении 1,0:3,1. Кроме того, производилось формование образцов, ядро которых заменено зёрнами керамзита.

Для формования образцов (кубов с ребром 70 мм) использовались перфорированные формы, на каждой грани которых размещается 36 отверстий диаметром 2 мм с шагом 1 см. Расклинивающий эффект тонких плёнок воды нейтрализуется жёсткостью формы и воздействием прижимной пластины. Для предотвращения вымывания раствора из тела образца через отверстия формы её стенки изнутри покрывались слоем фильтровальной бумаги, которая также предотвращает сцепление раствора со стенками формы и разрушение образца при распалубке.

После укладки и уплотнения смеси с пригрузом на форму устанавливается прижимная пластина, и происходит установка формы в вакуум-камеру. После установки формы в ящик устанавливается крышка со шлангом подачи воды и вакуумным шлангом, и включается насос. Благодаря эластичному покрытию на

кромках ящика происходит самофиксация крышки. Из соображений безопасности крышка дополнительно фиксируется болтами. Далее ящик переводится в вертикальное положение для подачи воды. Внутренний упор удерживает форму в верхней части ящика, в которой находится вакуумный шланг. Данное расположение позволяет избежать размывания образца струёй воды, подаваемой в ящик. По достижении разрежения 0,01 МПа насос выключается, и через шланг в ящик подаётся порядка восьми литров воды.

Затем система выдерживается под разрежением в течение 3 минут для деаэрации воды, если таковая не производилась заранее. При попадании воды в камеру с разрежением 0,01 МПа происходит её вскипание, образуется множество пузырьков воздуха, которые собираются в отверстиях формы и препятствуют насыщению образцов, вызывая неравномерность насыщения либо полностью блокируя процесс насыщения.

После деаэрации ящик устанавливается в вертикальное положение, и давление поднимается на 0,01 МПа. При этом давление в ящике становится выше давления в теле бетона, что вызывает немедленный ток воды и насыщение образца. Насыщение длится в течение 30 секунд, после чего ящик возвращается в первоначальное положение. Далее давление уравнивается с атмосферным, при этом происходит раскрытие крышки, и вода из ящика сливается. Ящик приводится в горизонтальное положение, снимаются страховочные болты и извлекается форма с образцом.

Образцы распалубливаются и выдерживаются в течение 24 часов в камере нормально-влажностного твердения. Далее образцы хранятся в воде, чтобы восполнить недостаток в воде ядра образца.

Кинетика роста прочности бетона определялась разрушающим и неразрушающим (метод ударного импульса) методами контроля в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток. Полученные данные выявляют несоответствие прочности поверхностного слоя образца и прочности образца в целом. Так, прочность поверхностного слоя кубов, изготовленных методом сухого формования, в возрасте 28 суток соответствовала классу цемента, в то время как прочность куба в целом оказалась на 30% ниже. Это позволяет судить о ядре образца как о самой слабой зоне. Для подтверждения данного

предположения были отформованы образцы, в которых часть цементно-песчаного раствора в сердцевине заменена на гранулы керамзита. Данный прием не привёл к снижению прочности по сравнению с образцами, изготовленными без замены.

Следующей изученной характеристикой было водопоглощение бетона. Сравнялось водопоглощение образцов наружного слоя образца (толщиной 20 мм), ядра и образцов из водозатворенной смеси. Полученные результаты свидетельствуют о более высоком водопоглощении ядра образца.

Образцы, отформованные способом сухого формования, обладают ровной поверхностью, содержащей пузыри диаметром не более 0,05 мм. Однако в связи с особенностями уплотнения сухих цементно-песчаных смесей наблюдается расслоение смеси, выражающееся в высоком содержании песка на верхней грани образца, а также запесочиванием поверхности. Предполагается ликвидация данных дефектов при применении повторного вибрирования.

Сравнение изломов образцов сухого формования и из водозатворенных смесей показало, что сухое формование обеспечивает создание плотной структуры, характеризующееся малым содержанием пор. Такой же структурой обладают и вибропрессованные блоки. Образцы из водозатворенных смесей характеризуются высоким содержанием пор воздуха.

В связи с тем, что изначальная идея насчёт образования герметичного вакуумного «пузыря» в теле бетона и атмосферного обжима себя не оправдала, было принято решение временно отказаться от неё и насыщать блоки целиком.

СУХОЕ ФОРМОВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

Обобщив опыт исследования технологии сухого формования мелкозернистого бетона, было принято решение оценить перспективы метода сухого формования для иных вяжущих помимо цемента. Для первого этапа испытаний был выбран гипс.

Обладая достаточно короткими сроками схватывания и высокими темпами набора прочности, гипс имеет весьма низкие

прочностные характеристики. Для повышения прочности гипса рекомендуется снижать водогипсовое отношение до величины нормальной густоты гипса и ниже при помощи пластификаторов [3, с. 69], что приводит к удорожанию производства гипсовых изделий. Однако применение метода сухого формования позволяет снизить водогипсовое отношение до величины нормальной густоты без применения каких-либо дорогостоящих добавок.

Технология сухого формования основывается на вакуумном насыщении уплотненного вяжущего, находящегося в перфорированной форме. Так как давление в теле образца значительно ниже, чем внешнее, удаётся избежать негативных эффектов, присущих методам насыщения избыточным давлением

При пробных опытах было установлено, что при вакуумном насыщении чистого гипса затворённый слой образует плохо проницаемую для воды оболочку, в результате чего образцы-кубы с ребром 70 мм либо не пропитывались полностью, либо происходило образование свищей и частичное вымывание гипса из тела образца. Данный деструктивный эффект полностью пропал при толщине формуемого образца до 40 мм, что позволило в качестве направления развития технологии выделить формирование тонкослойных изделий, в том числе декоративный камень и гипсовые 3D панели для внутренней отделки.

На начальном этапе исследования формования смесей на гипсовом вяжущем было принято решение использовать гипсово-песчаную смесь. Для формования образцов-кубов из гипсово-песчаной смеси использовались перфорированные формы с ребром 70 мм. Для сухого насыщения гипсовых образцов использовались формы балочек размером 40x40x160 мм.

Для формования образцов из гипсово-песчаной смеси использовались составы с низким расходом вяжущего. Массовое соотношение гипса к песку 1:2,5 1:3 и 1:4. В качестве вяжущего использовался гипс марки Г-16.

Уплотнение смеси осуществлялось путём сочетания вибрирования с временной фиксацией пригруза. При отпуске пригруза гипсово-песчаная смесь более эффективно перераспределялась в объёме формы, а дальнейшая его фиксация возвращала высвободившиеся частички обратно в объём образца. При таком

уплотнении оптимальная плотность образца достигается за 20 секунд вместо 45, после чего процесс уплотнения значительно замедляется.

Время насыщения образцов из гипсово-песчаной смеси толщиной 70 мм для всех составов не отличалось и составило 2 минуты 45 секунд, при этом водогипсовое соотношение составило 0,4, что соответствует нормальной густоте используемого гипса и что гораздо меньше, чем нужно водозатворённой смеси. В отличие от цемента, при добавлении песка к гипсу увеличивается водопотребность смеси. Гипс – воздушное вяжущее, и недостаток воды, вызванный физическим её связыванием частичками песка, приводит к снижению подвижности смеси при сохранении водогипсового отношения. Экспериментально было установлено, что при традиционном формировании гипсово-песчаных образцов оптимальным является водогипсовое отношение 0,75 для состава 1:2,5, 0,77 для 1:3 и 0,85 для 1:4.

Насыщение сухого уплотнённого гипса толщиной 40 мм занимает 5 минут, при этом достигаются более низкие величины водогипсового отношения в границах 0,25–0,30. Попытки формирования водозатворённых образцов с таким водогипсовым отношением привели к увеличению времени уплотнения образцов, а также к ухудшению прочностных характеристик.

Контроль прочности образцов осуществлялся в двухчасовом возрасте согласно ГОСТ 23789–79 и при одинаковой влажности образцов, составляющей 5%. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Прочность образцов при сжатии

Состав		Прочность образцов при сжатии, МПа	
		в возрасте 2 ч	при влажности 5 %
1:2,5	Сухое формование	10,13	13,57
	Водозатворённая смесь	9,74	13,52
Гипс	Сухое формование	17,71	22,53
	Водозатворённая смесь	15,22	16,52

Прочность гипсовых образцов-балочек при изгибе

Состав	Прочность образцов при изгибе, МПа
	при влажности 5 %
Водозатворённая смесь	8,96
Сухое формование	10,78

Гипсово-песчаные образцы, полученные способом сухого формования, показали увеличение прочности на сжатие по сравнению с водозатворёнными образцами. Образцы из чистого гипса показали увеличение прочности на 16% по сравнению с чистым гипсом. При 5%-й влажности образцов превышение составило 36%. Прирост прочности гипса при изгибе составил 20%.

С увеличением содержания песка при сухом формовании увеличивалась доля дефектных образцов, обладающих низкой прочностью. Образцы из водозатворенной смеси при этом показали аналогичный результат по прочности и нулевую выбраковку. Массовое соотношение гипса к песку 1:2,5 продемонстрировало наилучшую стабильность качества образцов в партии и было принято для дальнейших исследований в качестве основного состава.

Главным преимуществом данной технологии по сравнению с литьевой на данном этапе стала возможность моментальной распалубки гипсовых и гипсово-песчаных изделий, что значительно ускоряет темпы оборачиваемости форм.

СУХОЕ ФОРМОВАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ГИПСА

На этапе исследовании технологии сухого формования мелкозернистого бетона для ликвидации последствий расслоения цементно-песчаной сухой смеси осуществлялись попытки послойного уплотнения. Однако при распалубке насыщенные образцы распадались по границам слоёв укладки. Было сделано предположение, что данный эффект можно использовать для одновременной формовки нескольких плит в одной форме.

В связи с быстрым схватыванием гипса возникли проблемы с разделением слоёв, поэтому на границе слоёв укладывался полимерный материал. Изготовленные способом горизонтального разделения слоёв плитки представлены на рисунке 1. Фактуры получены трафаретным методом, а также методом «рисования» гипсом по песку.



Рисунок 1. Плитки после разделения горизонтальных слоёв

Также были проведены эксперименты по вертикальному разделению слоёв внутренними перегородками. Получившиеся таким образом плитки размером 100x100 мм (рисунок 2) имели равную толщину, определённый разделяющими вкладышами фактурный оттиск, а также «выветренные» зоны (рисунок 3), полученные увеличением содержания песка и последующим его удалением.

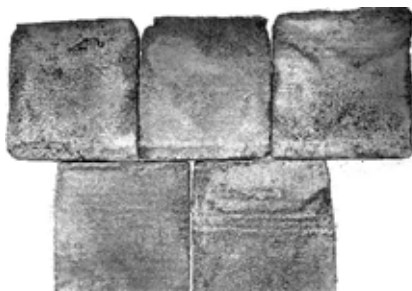


Рисунок 2. Плитки после разделения вертикальных слоёв

Сегодня на рынке представлены декоративные камни различных форм и конфигураций, которые невозможно или чрезвычайно трудно реализовать при помощи вышеизложенной методики. В связи с чем были намечены пути реализации технологии сухого формования на основании самой распространённой на данный

момент технологии формования декоративного камня в силиконовых формах. Исследовалась возможность одно- и двустороннего насыщения уплотнённой смеси, а также ускоренное формование с использованием двухводного гипса в качестве ускорителя твердения. Двустороннее насыщение реализовывалось на перфорированных силиконовых формах (рисунок 4). Гипсовая смесь укладывалась в формы, после чего происходило её ручное уплотнение, сверху укладывался лист газетной бумаги, предотвращающий размытие материала и засорение отверстий формы. Далее формы зажимались между двумя перфорированными пластинами и помещались в вакуумную камеру для последующего насыщения.

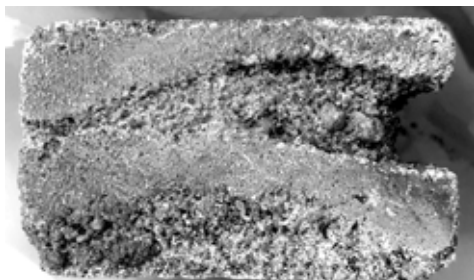


Рисунок 3. Эффект «выветренного песчаника»

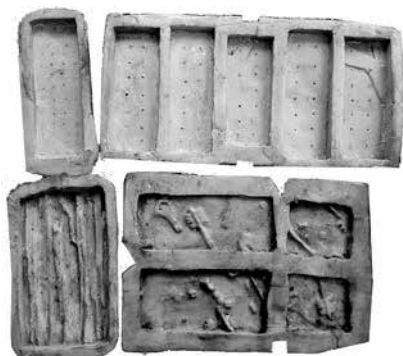


Рисунок 4. Экспериментальные формы

Наилучшее качество изделий достигнуто при двустороннем насыщении, позволившем добиться равномерной степени пропитки и избежать перенасыщения контактного слоя. При

технологии формования водозатворённых смесей добавление ускорителей твердения не рекомендуется в связи с ускорением схватывания, что приводит к высокой выбраковке изделий в конце заливки. На данный момент все производители гипсовых изделий пользуются добавками-пластификаторами. Их применение позволяет дольше работать с гипсовой смесью и получатьлицевую поверхность высокого качества, однако значительно снижает оборачиваемость дорогостоящих силиконовых форм и повышает стоимость материалов.

Производство гипсовых изделий в зависимости от навыков формовщиков даёт определённую долю выбраковки. Использование минеральной добавки молотого двуводного гипса, получаемого из отбракованных изделий, в сочетании с технологией сухого формования позволяет сократить затраты на утилизацию бракованных изделий, повысить экологичность производства, а также значительно уменьшить время оборачиваемости форм за счёт ранней распалубки. При использовании технологии сухого формования данная добавка позволила производить распалубку изделий уже через 5 минут после начала насыщения, в противовес 30–40 минутам твердения изделий с добавкой-пластификатором.

Однако были выявлены серьёзные недостатки данного метода. При двустороннем насыщении требуется, чтобы на лицевой поверхности формы находились отверстия для притока воды. Проходя через них, вода вымывает гипс и оставляет на лицевой поверхности следы (рисунок 5). Ликвидация данных следов возможна только при укладке разделительного слоя газетной бумаги между формой и гипсом. Это накладывает значительные ограничения и не позволяет формировать сложные фактуры. Одностороннее же насыщение не позволяет достичь равномерности пропитки. Кроме того, гипс весьма требователен к уплотнению. Разнотолщинность декоративных камней не всегда позволяет равномерно уплотнить смесь в форме. При пропитке смеси в недоуплотнённых участках происходило проседание смеси, образуется пузырь, препятствующий дальнейшему насыщению нижележащей зоны. При значительном увеличении времени пропитки и одностороннем насыщении удалось достичь жидкой консистенции смеси, высокого качества

лицевой поверхности и произвести распалубку через 15 минут от начала насыщения, что всё равно значительно быстрее, чем у смесей с пластификатором.

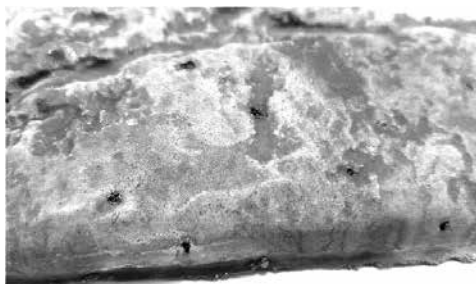


Рисунок 5. Дефекты лицевой поверхности изделий

СУХОЕ ФОРМОВАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ГИПСОЦЕМЕНТНО-ПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО (ГЦПВ)

Несмотря на высокую скорость набора прочности, гипс непригоден для применения во влажных эксплуатационных средах, в том числе и для наружной отделки. Профессором А. В. Волженским было предложено решение, позволяющее сочетать достаточно высокие темпы набора прочности гипса с улучшенными характеристиками долговечности медленно твердеющего цемента [4, с. 458]. Гипсо-цементно-пуццолановое вяжущее является смесью гипсового вяжущего (50-75 %), портландцемента (15-25 %) и пуццолановой добавки (микрокремнезём, метакаолин). Введение минеральной добавки позволяет связать излишек $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в гидросиликаты и избежать образования «цементной бациллы», приводящей к разрушению изделия. Изделия из ГЦПВ имеют достаточно высокую прочность (15-20 МПа) и морозостойкость до 50 циклов, что позволяет использовать их для наружной декоративной отделки.

Высокое содержание гипса в смеси приводит к тому, что кинетика водонасыщения образцов на основе ГЦПВ не отличается от гипсовых. Однако высокая дозировка пуццолановой добавки серьёзно повышает изделий из ГЦПВ.

Ускорение темпов набора прочности изделий на основе цемента возможно и без применения добавок. Например цемент, получаемый при помолу клинкера без добавления гипса, называется «быстряк» и схватывается сразу при контакте с водой, что стало серьёзным препятствием для его широкого распространения в строительной сфере. Однако такие малые сроки схватывания в сочетании с быстрыми темпами набора прочности в начальный период времени являются оптимальными для технологии сухого формования. В настоящий момент осуществляются эксперименты по поиску оптимального быстротвердеющего состава бетона на «быстряке».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скрупулёзное изучение технологии недооценённой и малоизученной методики сухого формования позволило раскрыть её новые грани, направления и перспективы развития. Проведённые эксперименты доказали эффективность данного метода, позволили выделить его сильные и слабые стороны. В ходе исследований была создана и апробирована методика формования и установка, развитие которых позволит использовать метод сухого формования в промышленном производстве. Были выделены проблемы технологии и предложены пути их решения.

Данный метод позволяет усовершенствовать процесс производства гипсовых изделий, повысить скорость формования изделий и сделать производство более экологичным за счёт вторичной переработки отбракованных изделий.

Также в ходе экспериментов было найдено перспективное направление использования быстросхватывающегося молотого портландцементного клинкера в технологии сухого формования изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Львович, К. И. Песчаный бетон и его применение в строительстве / К. И. Львович. – СПб.: Строй-Бетон, 2007. – 323 с.

2. Батяновский, Э. И. Особо плотный бетон сухого формования / Э. И. Батяновский. – Минск: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.
3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник / Ассоциация строительных вузов; Под ред. А. В. Ферронской; Сост. В. Ф. Коровяков [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
4. Минеральные вяжущие вещества : учеб. / А. В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

REFERENCES

1. Lvovich K.I. *Peschaniy beton i ego primeneniye v stroitelstve* [Sand concrete and its application in construction]. St. Petersburg: Stroy-Beton, 2007. 323 p. (rus)
2. Batyanovskiy E. I. *Osobo plotnyiy beton suhogo formovaniya* [Especially dense concrete of dry molding]. Minsk: NPOOO «Strinko», 2002. 224 p. (rus)
3. *Gipsovyie materialyi i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye): spravochnik* / Assotsiatsiya stroitelnyih vuzov [Gypsum materials and products (production and use): reference book / Association of Construction Universities]; ed. A.V. Ferronskaya. Moscow: ASV, 2004. 488 p. (rus)
4. *Mineralnyie vyazhuschie veschestva : ucheb.* [Mineral binders: Textbook] / A. V. Volzhenskiy. Moscow : Stroyizdat, 1986. 464 p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 20.09.2017.