

УДК 666.97

Опекунов В.В.,

Академия строительства Украины, г. Киев.

ОБОРУДОВАНИЕ МОДУЛЬНО-БЛОЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В статье рассмотрены научные и технологические основы изготовления монолитных конструкций из плотных и поризованных цементных формовочных смесей, полученных с применением комплектов мобильного оборудования.

У статті розглянуті наукові та технологічні основи виготовлення монолітних конструкцій із щільних та поризованих цементних формувальних сумішей, що отримано із застосуванням комплектів мобільного обладнання.

The article deals with the scientific and technological basis for the production of monolithic structures of dense and porous cement molding compounds produced with the use of mobile equipment sets.

Введение

Технологии монолитного бетонирования с применением поризованных гомогенных бетонных смесей на основе портландцемента в Украине и странах содружества независимых государств (СНГ) стали активно развиваться с 1980-х годов [1, 2]. В то время начали создавать комплекты мобильного оборудования (КМО) различной комплектации для бетонирования с применением разнообразных пористых бетонов (ПБ).

К ПБ могут быть отнесены ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газопенобетон), пористый фибробетон, зернистый бетон (перлитобетон, вермикулитобетон и т.д.) и другие бетоны на основе различных вяжущих систем (ВС) с общей пористостью (П) не менее 50 % [1].

В строительной практике наиболее часто применяют изделия из ячеистых бетонов в виде газобетонов на основе ВС и в виде известково-песчаного вяжущего (ИПВ). После автоклавирования смеси на ИПВ приобретают камневидное состояние за счет синтеза определенной группы долговечных минералов, аналоги которых содержатся и в цементно-камне-продукте гидратационного твердения смесей на основе клинкерного цемента (Ц).

Общая характеристика комплектов мобильного оборудования

В общем случае КМО имеют модульно-блочное исполнение и могут быть использованы для приготовления смесей для изготовления ПБ, в том числе и теплоизоляционных (ТИ) бетонов.

Оборудование КМО позволяет решать следующие задачи [2]:

- изготовление на стройплощадке, в полигонных условиях изделий из ПБ в индивидуальных, кассетных формах, в формах с заложенными струнами (для изготовления крупноразмерного массива-сырца цементного ячеистого бетона с последующей его разрезкой струнами на изделия заданной конфигурации в приобъектных условиях);

- изготовление изделий и конструкций из ПБ различной плотности методом монолитного бетонирования (заливка смеси в опалубку, технологическую пустоту или полость);

- изготовление изделий, например, типа «сэндвич» путем придания улучшенного качества уже применяемым строительным изделиям, конструкциям с неудовлетворительными физико-техническими свойствами (например, нанесение ТИ слоя на плиты покрытия).

Комплектность КМО зависит от номенклатуры изделий, в т.ч. и от разновидности применяемых строительных формовочных смесей для изготовления определенных частей зданий (монолитное строительство) или изделий, конструкций, используемых в качестве монтажных элементов.

Несмотря на актуальность задачи, примеров успешной работы КМО, производящих ПБ, например, в виде ячеистых бетонов на основе цементной (гидратационной) ВС, недостаточно.

Вместе с тем имеющихся научных данных достаточно для начала массового производства изделий из цементных ячеистых бетонов, в том числе и на стационарных заводах ячеистого бетона, использующих ВС на основе ИПВ [3, 4].

Уже более 30 лет на евроазиатском рынке успешно работает фирма NEOPOR, изготавливающая КМО для производства изделий из цементного пенобетона (ЦПБ).

Компания «АЛВИКО», совместно с фирмой NEOPOR System GmbH (Германия), разработала и внедрила полностью автоматизированную стационарную технологическую линию по производству стеновых блоков из пропаренного ЦПБ.

Эта линия аналогична линии фирмы RIMAC GmbH (Германия), содержащей 36 металлических форм объемом по 1,41 м³ для отверждения сырца ЦПБ в естественных условиях.

С 1980-х годов в Украине и СНГ начали разрабатываться, совершенствуются и применяются до настоящего времени несколько разновидностей КМО, основным элементом которых является смеситель, работающий под давлением. Технология приготовления пенобетонной смеси, получившая название «баротехнология», успешно конкурирует в СНГ с технологией фирмы NEOPOR.

В Беларуси при разработке технологий получения изделий из ЦПБ предполагается использование формовочных смесей для монолитного бетонирования конструкций (см., например, КМО фирмы «Ниоба», а также установку ПБС-0,25 Волковысского завода строительно-отделочных машин).

В качестве ВС при изготовлении ЦПБ используют поризованные цементные смеси. Дисперсный микрозаполнитель (МЗ) представлен различными материалами, в основном техногенного происхождения. Для поризации формовочных смесей применяют различные пенообразующие поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Для получения ЦПБ были разработаны КМО, выполнявшие бетонирование как с помощью растворонасоса, так и с применением промежуточной емкости, например, в виде бадьи.

Вместе с тем разработанные КМО не позволяли получать смеси с необходимой степенью однородности (D) распределения твердой и газовой фаз при рациональном расходе ПАВ.

Необходимо отметить, что долговременная когезионная прочность (R) ЦПБ и цементного газобетона (ЦГБ) на плотных МЗ может быть качественно описана уравнением

$$R = R(P_{k(k=1+3)}, R_a, R_m, R_c, C, A_R, D_1, D_2, U, L, \tau), \quad (1)$$

где P_1, P_2, P_3 – функции, характеризующие распределение, соответственно, капиллярных, воздушных и газовых или пенных пор в матрице; R_a – функция, характеризующая прочность адгезионного контакта «МЗ – матрица»; R_m – функция, характеризующая когезионную прочность матрицы; R_c – параметр или функция, характеризующие когезионную прочность МЗ; C – степень завершенности структурообразования бетона [1]; A_R – анизотропия прочности; D_1 – параметры однородности микро(нано)структуры межпоровой перегородки газобетона или пенобетона; D_2 – параметры однородности макроструктуры газобетона или пенобетона; U – усадка; L – условия среды эксплуатации; τ – «возраст» цементного бетона.

Прочность ЦПБ и ЦГБ зависит также от уровня эксплуатационной влажности, температуры (Т) эксплуатации, скорости возрастания нагрузки, а также от ползучести (U_p), набухания (U_n) и усадки (U).

В составе КМО не было диспергаторов, поэтому в качестве МЗ, как правило, применяли мелкие немолотые кварцевые и другие пески, не обеспечивающие необходимый уровень D_1 (1) и седиментационную устойчивость формовочных смесей ЦПБ.

При $\rho = 800-900 \text{ кг/м}^3$, коэффициентах вариации (v) прочности, при сжатии $v_R = 0,20-0,25$ и $v_p = 0,08-0,12$, полученный ЦПБ, не мог быть рекомендован для массового безопасного использования.

Области применения такого гидратационного ЦПБ с невысоким уровнем $R_{сж}$ (ориентиром является $R_{сж}$ синтетического бетона на ИПВ с добавкой Ц) ограничивались получением самовыравнивающихся полов и возведением неармированных и армированных стальной арматурой колонн, стен и перегородок, например, одноэтажных домов и хозяйственных построек.

Перед технологами стоит задача: получить из однородной (гомогенной) формовочной смеси монолитный ЦПБ с необходимыми уровнями $R_{сж}$, U и морозостойкостью.

В настоящее время качественный конструкционно-теплоизоляционный ЦПБ с $\rho < 600 \text{ кг/м}^3$ при использовании имеющихся ПАВ-пенообразователей и КМО получить не удается.

Основная причина этого явления – отсутствие КМО с турбулентным смесителем-активатором (ТСА). Смеситель типа ТСА имеет определенные параметры перемешивания компонентов литых плотных или поризованных строительных смесей различного применения.

Наличие ТСА в составе КМО обеспечивает:

1. Приготовление формовочной смеси с высокой степенью однородности (гомогенности) за счет высокого качества перемешивания компонентов.

2. Возможность исключить в некоторых случаях использование в качестве сырьевых смесей товарных сухих строительных смесей (ССС), потому что компоненты ССС могут быть качественно перемешаны в ТСА.

3. Возможность введения в формовочную смесь таких добавок, которые в традиционные ССС ввести технически сложно или невозможно (например, можно будет использовать некоторые виды волокнистых добавок).

В качестве прототипа при создании ТСА может быть принято ранее созданное

устройство-смеситель [5].

Базовая схема КМО модульно-блочного исполнения на основе ТСА представлена на рис. 1. Элементы системы энергообеспечения (возможны различные варианты) на рис. 1 не показаны.

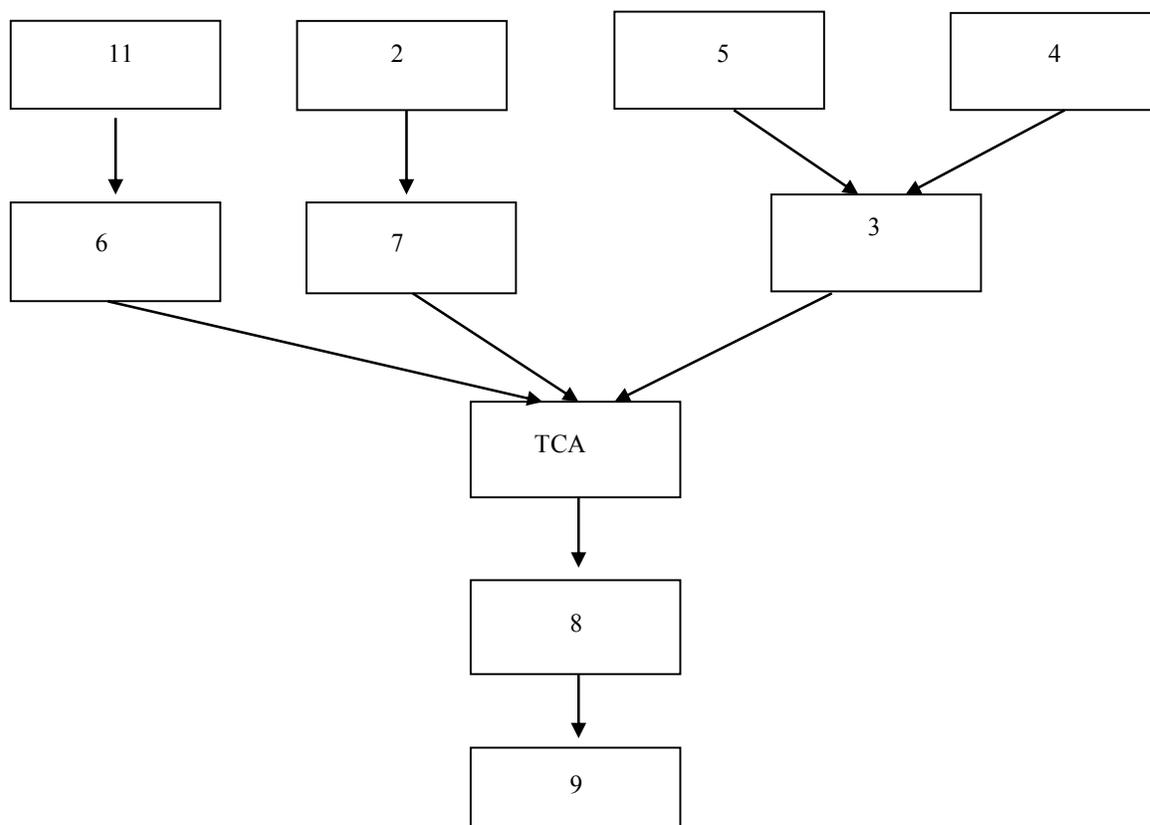


Рис. 1. Базовая блок-схема КМО модульно-блочного исполнения

(© Опекунов Вадим Викторович, 1998; Скорина Юрий Витальевич, 2016):

1 - бункер (расходная емкость) для Ц; 2 - бункер (расходная емкость) для МЗ; 3 - расходная емкость для чистой и/или дозируемой воды (жидкой фазы); 4 - расходная емкость для воды (жидкой фазы), получаемой после промывки смесителя и системы подачи смеси; 5 - емкость с чистой водой; 6 - винтовой конвейер-питатель для Ц; 7 - винтовой конвейер-питатель для МЗ; 8 - промежуточная расходная емкость между смесителем и насосом (необязательный элемент КМО), форма или опалубка; 9 - растворонасос (необязательный элемент КМО).

Длительность приготовления формовочной смеси (τ_c) включает длительность приготовления смеси в ТСА (τ_1) и длительность выгрузки смеси из ТСА (τ_2). Параметр τ_1 существенно зависит, например, от скорости (ω) вращения вала ТСА, конструкций и

местоположения мешалки и отбойных пластин на корпусе смесителя. Параметр τ_2 существенно зависит, например, от уровня смеси в ТСА, диаметра разгрузочного клапана, плотности и консистенции смеси. Для газобетонной смеси желательно обеспечить $\tau_2 < 30$ с.

Дисперсные сухие компоненты, например, ячеистобетонной смеси – цемент (Ц) и микрозаполнитель (МЗ) – находятся в бункерах (расходных емкостях) 1 (для Ц) и 2 (для МЗ). Вода чистая (ВЧ) находится в емкости 5 (может быть выполнена из полимера). Вода обратная (ВО), получаемая после промывки ТСА и рукава, находится в емкости 4. Емкость 4 может иметь разгрузочный люк в днище для периодического (например, раз в смену) извлечения твердого осадка, содержащегося в ВО.

При объеме $\approx 0,6$ м³ производительность ТСА составляет до 8 м³/час строительных смесей различной плотности. При соотношении Ц:МЗ=1:1 и $\rho \approx 600$ кг/м³ расход на 1 м³ бетона: Ц ≈ 300 кг и МЗ ≈ 300 кг (без учета гидратационной воды). Например, для 20 м³ бетона потребуется Ц ≈ 6 т и МЗ ≈ 6 т. Эта масса сырья может содержаться в двух, например, одинаковых расходных бункерах 1 и 2 объемом по $\sim 1,9-2,0$ м³ каждый (рис. 1).

Из бункеров 1 и 2 с помощью независимых винтовых конвейеров-питателей 6 (для Ц) и 7 (для МЗ) по независимым трактам подают Ц и МЗ в ТСА через технологические отверстия в крышке 7 смесителя.

Для повышения производительности процесса приготовления строительной смеси возможно применение промежуточной расходной емкости (емкость 8) между ТСА и растворонасосом 9. Объем емкости 8 – до 0,6 м³.

Угол наклона и диаметр винтового конвейера-питателя 6 может отличаться от угла наклона и диаметра винтового конвейера-питателя 7.

Максимальный объем замеса в ТСА-0,6 плотной газобетонной смеси с $\rho \sim 2200$ кг/м³ (аналог плотной смеси для устройства наливных полов) $V_{\max} = 0,5$ м³ при В/Т=0,56 (вязкая смесь с массой твердых компонентов Т ~ 640 кг (Ц ~ 320 кг и МЗ ~ 320 кг). Общий объем воды на замес В ~ 360 кг.

Вода дозируется первой, мешалка ТСА должна быть в воде. Длительность цикла приготовления формовочной смеси (τ_c) включает:

τ_v – длительность дозирования и заливки воды;

$\tau_{ц}$ – длительность дозирования и подачи Ц;

$\tau_{мз}$ – длительность дозирования и подачи МЗ;

τ_d – длительность дозирования и подачи добавок;

$\tau_{см}$ – длительность совместного перемешивания компонентов смеси;

$\tau_{выгр}$ – длительность выгрузки смеси из ТСА.

Вал ТСА включают через τ_v , т.е. после окончания дозирования воды. После подачи воды подача остальных сырьевых компонентов может осуществляться в любой последовательности.

При включенном вале ТСА дозирование Ц и МЗ может происходить параллельно (может быть $\tau_{ц\sim\tau_{мз}}$). Одновременно могут вводиться и некоторые добавки. Добавка газообразователя должна вводиться в ТСА за 30-40 с до окончания смешения компонентов.

Практически $\tau_c = \tau_v$ ($\tau_v < 60$ с) + $\tau_{ц}$ (при $\tau_{ц\sim\tau_{мз}} < 60$ с) + $\tau_{см}$ ($\tau_{см} < 60$ с) + $\tau_{выгр}$. В зависимости от состава сырьевой смеси может быть $\tau_c < 240$ с.

Параметры $\tau_{ц}$ и $\tau_{мз}$ должны обеспечиваться за счет применения винтовых конвейеров-питателей соответствующей производительности.

Цементные ячеистые бетоны

В работах [3,4] показано, что при возведении стен и перегородок допустимо использование изделий из конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного ЦПБ и ЦГБ естественного твердения.

В технологиях производства традиционного ячеистого бетона на ИПВ (содержит синтетические новообразования) и ЦГБ естественного твердения (содержит новообразования гидратационного типа) применены различные ВС, твердение которых предполагает реализацию различных механизмов микро(нано)структурообразования искусственного камня.

В работе [4] показано, что основной причиной пониженной кратковременной прочности и повышенной деформативности ЦПБ и ЦГБ естественного твердения, по сравнению с синтетическим бетоном, является качество его CSH-геля.

В результате исследований, выполненных в 1938-1940 гг. на кафедрах вяжущих материалов МХТИ им. Менделеева и Технологического института им. Ленсовета, было установлено, что к 28 суткам твердения при обычных способах перемешивания в реакцию вступает 40-60 % цемента.

В синтетическом ячеистом бетоне автоклавного твердения параметры «кратковременная когезионная прочность после автоклавирования» и «долговременная когезионная прочность» (R) тождественны. В отличие от деформаций усадки (U) и ползучести (U_p), деформация набухания (U_n) в процессе эксплуатации изделий из такого бетона практически не развивается.

В зависимости от ρ , условий твердения и других факторов, процесс набора прочности у ЦГБ и ЦПБ происходит в течение 1-2 лет, т.е. $R=R(\rho, \tau)$.

Отсюда следует, что U, U_n , U_p , теплопроводность (λ), коэффициент размягчения

($K_{\text{разм.}}$) и морозостойкость ЦГБ и ЦПБ также изменяются во времени.

Уровень кратковременной прочности в «возрасте» 28 суток (R_{28}) следует рассматривать, как важную характеристику монолитного ЦГБ и ЦПБ, связанную с возможностью нагружения конструкции.

При монолитном бетонировании практическое значение имеет установление, например, значений R_3 , R_6 , R_{10} , R_{14} и т.д. для ЦГБ и ЦПБ конкретного состава.

Параметры U , U_n и U_{II} следует устанавливать после прекращения роста прочности монолитного ЦГБ и ЦПБ, т.е. в «возрасте», существенно превышающем 28 суток.

При оценке качества ЦПБ и ЦГБ проводят испытания образцов с целью определения, прежде всего, прочности при сжатии ($R_{сж}$). Вместе с тем следует контролировать и прочность на растяжение при изгибе по схеме, приведенной в работе [4].

Уровень R всех видов ячеистых бетонов может быть существенно повышен путем использования прочных щелочестойких волокнистых наполнителей (ВН). Наличие ВН способствует уменьшению усадки ЦГБ и ЦПБ [3].

У ЦГБ имеет место

$$A_R = R_{сж}^B / R_{сж}^Г < 1, \quad (2)$$

где $R_{сж}^B$, $R_{сж}^Г$ - прочности при сжатии в вертикальном и горизонтальном направлениях.

В общем случае значения $A_R = A_R(\rho)$ уменьшаются (анизотропия возрастает) по мере уменьшения плотности бетона. Наименьшие значения A_R имеет у ЦГБ с $\rho = 200-300$ кг/м³. При $\rho = 800-1500$ кг/м³ у ЦПБ, как правило, $A_R = 0,95-0,98$.

В работах [3, 4] показано, что усадка при высыхании сопровождается уменьшением размеров образца (изделия). При этом характер напряженного состояния бетона конструкции оказывает существенное влияние на скорость усадки.

Влияние фазового состава клинкера и контракции на уровень U в целом установлено. В производстве ЦПБ и ЦГБ следует применять портландцемент с высоким содержанием C_3S при минимальном количестве C_3A [4].

Уменьшение контракции возможно, если в процессе производства изделий из ЦПБ и/или ЦГБ будет обеспечена высокая однородность (D) исходной ячеистобетонной смеси ($D \rightarrow D_{\text{max}}$). Для этого следует применять ТСА, приводящие к физико-химической активации компонентов формовочной смеси.

В формовочных смесях для приготовления ЦПБ и ЦГБ, как правило, имеет место расход (n) цемента, существенно отличающийся от оптимального ($n_{\text{оптим}}$), т.е. фактически

в ЦПБ и ЦГБ $n > n_{\text{оптим}}$.

В настоящее время большинство исследователей устанавливает для ЦПБ и ЦГБ уровень $n = n_{\text{оптим}}$, исходя из значений R_{28} , т.е. без учета зависимости $R = R(\rho, \tau)$. Для обеспечения условия $U \rightarrow U_{\text{мин}}$ в ЦПБ и ЦГБ при заданном ρ необходимо уменьшать количество негидратированных частиц цемента, что возможно при использовании ТСА

Необходимо отметить, что проектировщики оперируют не прочностью (R), а классом бетона по прочности на сжатие (B). При $\rho = 350-800 \text{ кг/м}^3$ как правило имеет место $R_{\text{ЦГБ}} > R_{\text{ЦПБ}}$, где $R_{\text{ЦГБ}}$ - среднее значение прочности с учетом анизотропии свойств ЦГБ (см. формулу (2)).

Допустимо принять, что $R_{\text{ЦГБ}} = (R_{\text{сж}}^B + R_{\text{сж}}^Г) / 2$ при $R_{\text{сж}}^B < R_{\text{сж}}^Г$.

У ЦПБ имеет место $v_{\rho} \rightarrow v_{\rho \text{мин}}$. При послойной заливке ЦГБ на высоту до 400-450 мм также будет $v_{\rho} \rightarrow v_{\rho \text{мин}}$. Среднее значение параметра v_R при нормальных условиях эксплуатации несколько больше у ЦГБ. Как правило, $V_{\text{ЦГБ}} > V_{\text{ЦПБ}}$.

При $\rho > 800 \text{ кг/м}^3$ имеет место $V_{\text{ЦГБ}} \approx V_{\text{ЦПБ}}$.

При $\rho = 350-500 \text{ кг/м}^3$ сборные изделия из ЦГБ предпочтительнее изделиям из ЦПБ еще и потому, что могут быть изготовлены с меньшей себестоимостью на современных технологических линиях (при этом $v_R \rightarrow v_{R \text{мин}}$).

Информация о монолитном возведении конструкций из ЦГБ крайне ограничена.

В газобетонах всегда есть не только A_R (см. формулу (2)), но и анизотропия теплопроводности (A_{λ}). При отсутствии осадки смеси в опалубке, вследствие наличия A_{λ} в монолитном ЦГБ, в горизонтальной плоскости имеет место $\lambda \rightarrow \lambda_{\text{мин}}$, а $R_{\text{сж}}^Г > R_{\text{ЦГБ}}$ ($R_{\text{сж}}^B < R_{\text{сж}}^Г$).

Под прочностью монолитного ЦГБ в конструкциях, работающих на сжатие, следует понимать $R_{\text{сж}}^B$ ($R_{\text{сж}}^B < R_{\text{ЦГБ}}$).

В армированных конструкциях (плитах перекрытия, покрытия), работающих на изгиб и изготовленных, например, в индивидуальных формах высотой до 400 мм, в сжатой зоне имеет место $R_{\text{сж}}^Г > R_{\text{ЦГБ}}$.

Гибкость монолитного способа изготовления изделий и конструкций из ЦПБ и ЦГБ состоит в том, что с помощью КМО в условиях строительной площадки оперативно могут быть получены как конструкционно-теплоизоляционные, так и ТИ ЦПБ и ЦГБ с $\rho = 300-1500 \text{ кг/м}^3$.

Установлено, что пропаренные ЦГБ, применяемые для заводского производства стеновых блоков и других сборных изделий (естественное твердение заводских изделий из ЦГБ используют редко) по резательной (струнной) технологии (ЦГБ 1 группы, изделия отформованы в виде крупноразмерных массивов; рис. 2) несколько отличаются от ЦГБ,

полученных в процессе монолитного возведения конструкций в построечных условиях с применением КМО (ЦГБ 2 группы; изделия отформованы в объеме опалубки, существенно меньшем объема заводской формы).

Эти различия в значительной мере обусловлены использованием различного смесительного оборудования, а также условиями вспучивания, схватывания, твердения сырца и протекания тепломассообменных процессов.

Испытания показывают, что ЦГБ 1 группы имеют более высокий уровень основных физико-технических свойств по сравнению с ЦГБ 2 группы.



Рис. 2. Заводское производство сборных изделий из пропаренного цементного газобетона

Несмотря на долговечность исходных синтетических структурообразующих минералов, по ряду причин у заводских синтетических (автоклавных) бетонов на ИПВ в

процессе их эксплуатации может произойти несущественное уменьшение значений $K_{\text{разм}}$.

У цементных ячеистых бетонов $K_{\text{разм}} = K_{\text{разм}}(\rho, \tau)$.

В работе [4] рассмотрены варианты применения несъемной опалубки из сборных изделий из ПБ, например, толщиной 80-120 мм.

Показано, что при возведении монолитной стены из ЦГБ целесообразно применять съемное (извлекаемое) антиадгезионное покрытие, например, в виде пластины или пленки.

Для повышения сопротивления теплопередаче (R_T) монолитная или сборно-монолитная слоистая стена из ПБ (ЦПБ, ЦГБ или других бетонов), в зависимости от ее размеров, может содержать несквозные и/или сквозные технологические пустоты различной конфигурации, которые могут быть заполнены термовкладышами из различных материалов, в т.ч. и из сборных или монолитных ТИ бетонов [8].

В зависимости от R_T стены, ρ и R материала ПБ возможны различные конструктивные решения узла сопряжения монолитной или сборно-монолитной стены с колоннами. Колонны могут быть выполнены из монолитного армированного ПБ (например, из ЦПБ с $\rho=1000-1500 \text{ кг/м}^3$).

Нормативная база на возведение несущих и ограждающих конструкций монолитным способом из ЦПБ и ЦГБ представлена технологическими инструкциями различного уровня. Так, например, разработаны: технологический регламент на производство цементного (неавтоклавного) ячеистого бетона (ООО «СПО Синтез»); технологический регламент по приготовлению и твердению пенобетона (ООО «СОТРИМ плюс») и другие.

Выводы

Оборудование модульно-блочного исполнения может быть применено для приготовления плотных и поризованных строительных смесей.

Развитие технологии производства армированных и неармированных конструкций из монолитного цементного (клинкерного) ячеистого бетона с $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ способствует практическому решению задач в области ресурсосбережения при возведении различных энергосберегающих объектов.

Для повышения качества монолитного цементного ячеистого бетона целесообразно в формовочную смесь вводить щелочестойкие микрофибры.

Наличие в ячеистобетонной смеси волокнистого микронаполнителя не изменяет качество макроструктуры (структуру макропор) бетона.

Вследствие использования бездобавочного портландцемента и дисперсного кристаллического микрозаполнителя при наличии волокнистого щелочестойкого

наполнителя (микрофибр) существенно повышается прочность цементного ячеистого бетона в «возрасте» 28 суток, снижается его усадка.

Актуальной является научно-техническая задача по установлению зависимости $R=R(\rho, \tau)$, отражающей процесс упрочнения цементного пено- и газобетона различной средней плотности ($\rho=300-1200 \text{ кг/м}^3$), твердеющего в естественных условиях строительной площадки.

Монолитные конструкции из цементного газобетона или пенобетона с $\rho < 1200 \text{ кг/м}^3$ целесообразно изготавливать в построечных условиях с использованием комплектов мобильного оборудования.

Перечень ссылок

1. Опекунов, В.В. Вирішення задач ресурсозбереження в будівництві шляхом використання якісних виробів із пористих бетонів / В.В. Опекунов, О.М. Ободович, О.М. Недбайло // *Керамика: наука и жизнь*. – 2010. - № 2(8). - С. 45-57.
2. Опекунов, В.В. Мобільні технології виробництва будівельних композитів / В.В.Опекунов // *Будівництво України*. - 1999. - № 1. - С. 27.
3. Опекунов, В.В. Бетонные изделия с техногенными волокнами / В.В. Опекунов, Ю.В.Скорина // *Керамика: наука и жизнь*. – 2013. - № 3/4 (21). – С. 36-46.
4. Опекунов, В.В. Монолитные конструкции из цементного газобетона / В.В. Опекунов // *Керамика: наука и жизнь*. – 2015. - № 1(26). – С. 21-34.
5. Патент № 10528 Україна, В 28 С5/38. Змішувач / В.В. Опекунов. - № u2004 0503746; заявл. 13.05.04; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. – 2 с.