

**Список литературы:** 1. Романков П. Г. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов. – Ленинград: «Химия», Ленинградское отделение, 1990. – 384 с. 2. Франтишек Шилл. Пеностекло / Франтишек Шилл; [пер. с чешского Г. М. Матвеева]. – Москва: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 307 с. 3. Беспалов А. В. Гидравлические свойства регулярных, нерегулярных структур и структур типа высокопористых ячеистых материалов (ВПЯМ) при малых скоростях фильтрации жидкости / [А.В. Беспалов, В.Н. Грунский, А.И. Козлов и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2005. – № 3. – С. 9 – 12. 4. Шаймарданов А. С. Гидродинамические процессы, протекающие в высокопроницаемых пористых ячеистых материалах / [А.С. Шаймарданов, Э.М. Кольцова, А.И. Козлов и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2007. – Т. 41, № 2. – С. 148 – 153. 5. Спиридонов Ю. А. Проблемы получения пеностекла / Ю. А. Спиридонов // Стекло и керамика. – 2003. – № 10. – С. 70 – 71. 6. Балугев А.В. Отходы переработки ядерных материалов и вещества матрицы для их иммобилизации (аналитический обзор) / [А.В. Балугев, Б.Я. Галкин, В.С. Митяхина, В.К. Исупов] // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 4. – С. 295 – 307.

*Поступила в редколлегию 12.06.09*

УДК 693.546.5

**В.Я. БАБИЧЕНКО**, канд. техн. наук; **В.И. ДАНЕЛЮК**; **С.Р. МОЖИНА**,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## **УПЛОТНЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ И ДРУГИХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВИДЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МЕТАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Інтенсивне ущільнення жорстких дрібнозернистих бетонних та інших сумішей, так необхідне при виготовленні бетонних, залізобетонних та інших тонкостінних конструкцій в будь-яких виробничих умовах, досягається за рахунок їх укладання за допомогою нового технологічного обладнання у вигляді еластичних металевих пристроїв.

Intensive compression hard fine-grained concrete and other mixtures, so necessary at making of concrete, reinforce-concrete and other thin-walled constructions in any production terms, arrived at due to their piling by a new technological equipment as elastic missile devices.

Одной из важнейших характеристик мелкозернистого бетона и других строительных материалов является плотность их структуры, от которой в

значительной мере зависят их основные физико-механические свойства. Важнейшей задачей технологии бетона тонкостенных конструкций является изыскание условий, обеспечивающих возможность получения максимальной его плотности. Как известно, решить эту проблему возможно при уменьшении  $V/C$  до значений, при которых вода затворения полностью взаимодействует с вяжущим, и одновременно обеспечивается предельное уплотнение бетонной смеси, практически исключаящее наличие газовой фазы в ней [1].

Однако между  $V/C$  и степенью уплотнения бетонной смеси существует противоречие: с уменьшением  $V/C$  (особенно в области низких его значений) уплотнение смеси резко затрудняется. Чтобы обеспечить необходимую удобоукладываемость смеси, в нее вводят значительно больше воды, чем требуется, и таким образом, заранее определяют снижение плотности бетона. С другой стороны, при уплотнении бетонной смеси после затворения ее водой в ней происходит защемление воздуха, и тем большее, чем смесь жестче, что также снижает плотность бетона. Пористость обычного бетона составляет 12 – 20 %. В классификации по плотности пористость 15 – 20 % имеют бетоны повышенной плотности, 10 – 15 % – бетоны высокой плотности и до 10 % – бетоны особо плотные.

Существующие способы повышения плотности бетона часто основаны на применении пластификаторов либо на применении жестких смесей с одновременной интенсификацией их уплотнения. Однако снизить водосодержание бетонной смеси с помощью пластификаторов обычно удается лишь на 10 – 15 %, а интенсификация процесса уплотнения связана с увеличением затрат энергии. Поэтому проблема повышения плотности бетона продолжает оставаться актуальной. Известно, что в свежееуложенном бетоне зерна цемента находятся на расстояниях, которые определяются  $V/C$  укладываемой бетонной смеси и степенью (интенсивностью) ее уплотнения, контролируемой коэффициентом уплотнения  $K_y$  [2].

Наши исследования и технологические расчеты базируются на влиянии степени (интенсивности) уплотнения жесткой мелкозернистой бетонной смеси на получение высокоплотной структуры мелкозернистого бетона. Прежде всего было проанализировано влияние степени (интенсивности) уплотнения мелкозернистой бетонной смеси при оптимальном  $V/C_{opt}$  на структуру цементного теста в свежееуложенном мелкозернистом бетоне.

При высокоплотной структуре свежееуложенного с интенсивным уплотнением бетона при  $V/C_{opt}$  зерна цемента находятся между собой на мини-

мальных расстояниях и пустоты между ними заполнены только водой. При  $B/C$  бетонной смеси менее оптимального значения и том же уплотнении зерна цемента также будут находиться на минимальном расстоянии, но пустоты между ними могут быть заполнены как водой так и воздухом. При  $B/C$  бетонной смеси более оптимальных, т.е. при определенном избытке воды в составе перерабатываемой бетонной смеси, пустоты между зернами цемента также будут заполнены только водой, но зерна цемента будут свободно расположены в водной среде цементного теста на различных расстояниях друг от друга.

Границей, характеризующей минимальное (оптимальное) расстояние между зернами цемента в свежееуплотненном бетоне и полное (оптимальное) заполнение водой пустот между ними, является нормальная плотность цементного теста, характеризующаяся слитностью водяных оболочек, состоящих из адсорбированных пленок воды на твердой поверхности зерен цемента.

В процессе исследований для оценки начальной степени упаковки зерен цемента в процессе интенсивного уплотнения цементного теста в составе свежееуплотненного мелкозернистого бетона нами было введено понятие «пустотности» цемента  $\Pi_{ц}$ , как доли пустот в общем объеме уплотненного цементного теста. Пустотность цемента  $\Pi_{ц}$ , которая определяет объем, не занятый зернами цемента, и от которой зависит начальная пористость цементного камня бетона и в значительной степени ее конечное значение, определяется в объемных или массовых частях по следующим формулам:

$$\Pi_{ц} = \frac{V_T - V_{ц}}{V_T} = 1 - \frac{C r_T}{r_{ц} (C + B)} = 1 - \frac{r_T}{r_{ц} \left(1 + \frac{B}{C}\right)}, \quad (1)$$

где:  $V_m$  – общий объем цементного теста;  $V_{ц}$  – объем твердой фазы зерен цемента в объеме цементного теста;  $C$  – масса цемента в объеме цементного теста;  $B$  – масса воды в объеме цементного теста;  $\rho_{ц}$  – истинная плотность цемента;  $\rho_m$  – средняя плотность цементного теста;  $B/C$  – водоцементное отношение цементного теста.

С учетом коэффициента уплотнения цементного теста –  $K_y$  в составе свежееуложенного бетона, представляющего собой отношение средней плотности цементного теста к ее расчетному значению при максимальном уплотнении, получим формулу для определения пустотности цемента в процессе уплотнения бетонной смеси в зависимости от  $K_y$  и  $B/C$  цементного теста:

$$P_{\text{ц}} = 1 - \frac{K_y}{1 + \frac{r_{\text{ц}} \cdot B}{r_B} / \text{Ц}}, \quad (2)$$

где:  $\rho_v$  – плотность воды.

Из выражения (2) следует, что пустотность цемента в цементном тесте свежееуложенного бетона представляет собой некоторый обобщенный параметр, учитывающий наличие пустот, заполненных водой и воздухом в объеме уплотненного цементного теста, который непосредственно указывает на плотность упаковки зерен цемента в уплотненном цементном тесте и в большей степени характеризует физическое состояние порового пространства цементного теста, чем  $B/\text{Ц}$ . Таким образом, было подтверждено положение [1], что для получения структуры высокоплотного бетона необходимо особое внимание уделять созданию плотной структуры цементного теста в процессе укладки и уплотнения бетонной смеси, так как в дальнейшем плотность бетона зависит от плотности упаковки частиц цемента в пустотах заполнителя.

Нами было установлено, что конечную минимальную пористость цементного теста в составе высокоплотного свежееуложенного мелкозернистого бетона можно получить с помощью разработанного нами нового технологического оборудования в виде эластичных метательных устройств (рис. 1) [3], и ее необходимо рассматривать как первичную функцию, влияющую на основные физико-механические свойства бетона.

Таким образом, пустотность цемента, предложенная нами как интегральная характеристика, описывает количественно физическое состояние цементного теста в процессе его уплотнения и в значительной степени определяет начальную пористость цементного камня в составе мелкозернистого бетона, изменение которой в дальнейшем зависит от состава и свойств цемента, а также степени его гидратации.

В расчетной модели, определяющей зависимость пустотности цемента от коэффициента уплотнения, представленной на графике (рис. 2) для мелкозернистой бетонной смеси состава 1 : 3, жирными линиями изображено изменение пустотности цемента в зависимости от интенсивности уплотнения мелкозернистой бетонной смеси и тонкими линиями изображены кривые «водной» пустотности цемента.

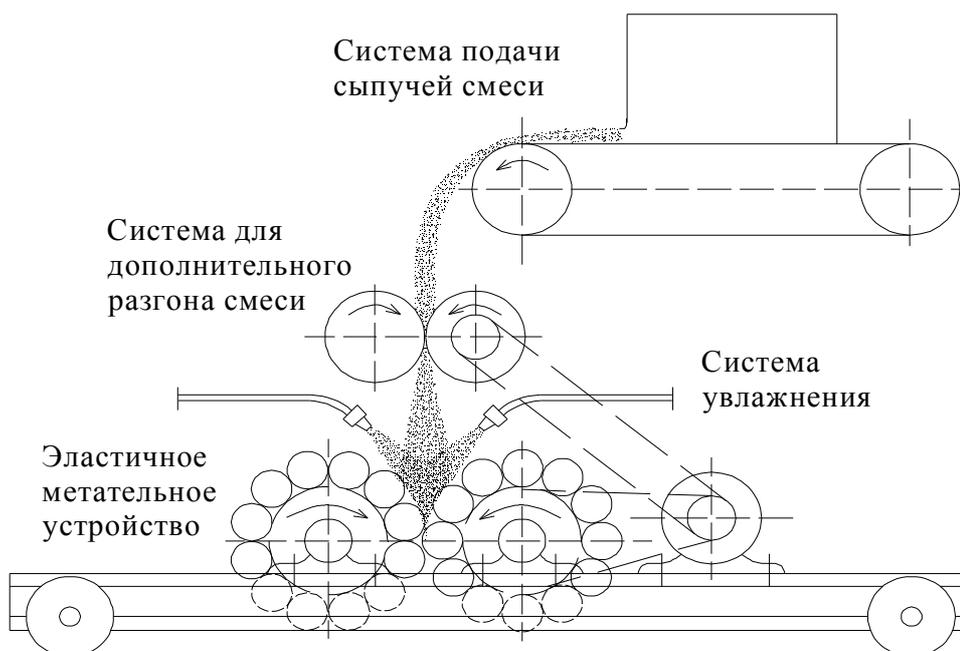


Рис. 1. Схема агрегата формирования тонкостенных конструкций

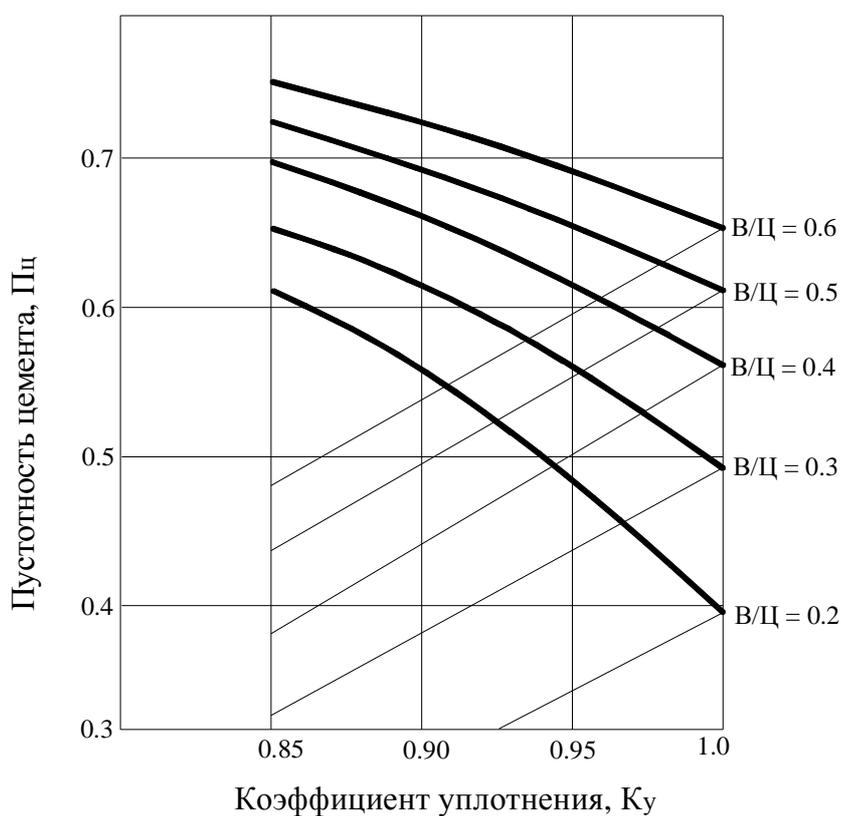


Рис. 2. Расчетная модель зависимости пустотности цемента от коэффициента уплотнения мелкозернистой бетонной смеси состава 1 : 3 – жирные линии, «водная» пустотность цемента – тонкие линии

Как следует, из результатов наших исследований, для других количественных массовых соотношений заполнителя и цемента в перерабатываемых

мелкозернистых бетонных смесях и при коэффициенте уплотнения, близкому к единице, получаются аналогичные результаты.

**Выводы.** Таким образом, из результатов исследований можно сделать вывод, что минимальная пустотность цемента, в составе свежесжатого бетона, может достигаться только при коэффициенте уплотнения мелкозернистой бетонной смеси  $K_y = 1$  и ее  $V/C < 0,3$ , т.е. при укладке и уплотнении жесткой или сверхжесткой мелкозернистой бетонной смеси с применением такой технологии, при которой весь объем между зернами заполнителя должен быть заполнен цементным тестом и все пустоты в цементном тесте должны быть заполнены только водой. Только при этом условии возможно получение высокоплотного мелкозернистого бетона с повышенными физико-механическими свойствами.

Нашими расчетами установлен оптимальный интервал интенсивности механических воздействий, прилагаемых к мелкозернистой бетонной смеси в процессе ее технологической переработки (укладка и уплотнение) струйной технологией бетонирования с применением эластичных метательных устройств, в пределах которого (скорость укладки в соответствии с расчетом должна составлять 50 – 80 м/с) обеспечивается получение высокоплотного мелкозернистого бетона при изготовлении тонкостенных конструкций.

**Список литературы:** 1. *Симонов М.З.* Основы технологии легких бетонов. / *Симонов М.З.* – М.: Стройиздат, 1973. – 584 с. 2. *Горчаков Г.И.* Состав, структура и свойства цементных бетонов. / *Горчаков Г.И.* – М.: Стройиздат, 1976. – 145с. 3. *Бабиченко В.Я.* Металлический пристрій для укладання та ущільнення бетонних сумішей / *В.Я. Бабиченко, В.І. Данелюк* // В28В 1/30. Патент на винахід № а 2008 12967 від 07.11.2008.

*Поступила в редколлегию 15.06.09*