

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Standartisation, control and diagnostic of structural materials

УДК 621.793

Канд. техн. наук Семенов Д.В., канд. техн. наук. Таболич А.В., Ратуцкая Д.С.
(ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск)
Д-р техн. наук, проф. Хейфец М. Л. (Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск)
Доцент, канд. техн. наук, Петров О.А. (Белорусский государственный технологический университет, Минск)

Ph.D. Semianenka D.V., Ph.D. Tabolich A.V., Ratutskaya D.S. (Open Joint Stock Company "NPO Center", Minsk)
D.Sc, Prof. Kheifetz M.L. (Institute of Applied Physics of the National Academy of Science of Belarus, Minsk)
Ph.D., Associate professor Piatrou A.A. (Belarusian State Technological University, Minsk)

Контроль и анализ свойств готовых
изделий на основе быстротвердеющих
бетонокомпозитов, удовлетворяющих
требованиям аддитивного формования

Control and analysis of properties of the finished products based on
fast-hardening concrete-composites that meet
the requirements of additive forming

Для контроля и анализа свойств готовых изделий на основе быстротвердеющих бетонокомпозитов, удовлетворяющих требованиям аддитивного формования, использовался цемент и песок в соотношениях 1:2,4. В приготавливаемую смесь воды добавлялось такое количество, чтобы водоцементное (В/Ц) соотношение составляло соответственно 0,5; 0,55; 0,6. Предпочтение этим величинам В/Ц отдано потому, что приготавливаемая смесь должна обладать хорошей подвижностью, а более высокое значение соотношения В/Ц приводит к снижению прочности изделий.

Исследования показали, что для приготовления смесей, удовлетворяющих требованиям процесса аддитивного формования изделий, целесообразнее всего отдавать предпочтение водоцементному соотношению 0,55, при котором химические добавки почти не влияют на прочность готовых изделий. Для приготовления быстротвердеющих бетонокомпозитных составов с целью аддитивного формования готовых изделий рекомендуется выбирать в качестве химических добавок нитрат натрия или нитрат кальция в количестве 3% от массы сухого цемента, что позволит получить требуемую подвижность и скорость схватывания приготавливаемой смеси.

Cement and sand were used in proportion 1:2.4 for control and analysis of properties of the finished products based on fast-hardening concrete-composites that meet the requirements of additive forming. When preparing the mixture, water was added in the amount to keep the water-to-cement (W-C) mass ratio of 0.5, 0.55 and 0.6, respectively. Preference to these W-C ratios is given because the prepared mixture is supposed to possess good flow ability whereas a higher value of the W-C ratio leads to a decrease in the strength of products.

The research have shown that for preparing the mixtures meeting the requirements of additive formation of products it is advisable to use the W-C ratio of 0.55 when chemical additives almost do not affect the strength on of finished products. For producing fast-hardening concrete-composites for the purpose of additive forming of the finished products it is recommended to choose sodium nitrate or calcium nitrate as chemical additives in an amount of 3% wt. of the dry cement, which will allow obtaining the required flow ability and setting rate of the prepared mixture.

Введение

Расходные материалы для печати на строительном 3D-принтере должны быть весьма распространенными, доступными по стоимости и пригодными для производства продукции широкого ассортимента.

Для получения на основе цемента быстротвердеющих бетонов и строительных растворов с необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами, удовлетворяющими требованиям аддитивного формования, требуется одновременное использование различных по своему составу и назначению химических добавок, обеспечивающих коррекцию прочности, пластичности, жесткости, плотности и других свойств рабочей смеси [1–4].

В этой связи актуальна разработка методик контроля и анализа свойств строительных смесей для рационального подбора составов быстротвердеющих бетонокомпозитов.

Методика проведения исследований

Для приготовления бетонокомпозитных составов, удовлетворяющих требованиям аддитивного формования, использовался цемент (Ц) марки ПЦ500Д0 и песок (П) фракции 1,5÷2,5 мм в соотношениях Ц/П = 1:2,4. При этом воды (В) добавлялось такое количество, чтобы водоцементное соотношение составляло соответственно В/Ц = 0,5; 0,55; 0,6 [5, 6]. Предпочтение этим значениям

В/Ц было отдано потому, что приготавливаемая смесь должна обладать хорошей подвижностью с целью минимизации энергозатрат на ее транспортирование. В тоже время, высокое значение водоцементного соотношения приводит к снижению прочности изделий, изготовленных из такого раствора. Поэтому при проведении исследований бетонокомпозитных составов (цементно-песчаных смесей) следует определить рациональное значение этого параметра.

При подборе компонентов для получения составов быстротвердеющих вязкопластичных бетонокомпозитов, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования, установлено, что наиболее рациональными для применения с точки зрения сокращения сроков схватывания смесей и отсутствия коррозионного воздействия на арматуру (в случае формования железобетонных изделий) являются нитриты и нитраты натрия, кальция. Поэтому для получения опытных партий бетонокомпозитных составов в качестве основных химических добавок (ускорителей схватывания) выбраны нитрат натрия (NaNO_3) и нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), а в качестве альтернативных – хлорид кальция (CaCl_2), сульфат натрия (Na_2SO_4), добавки «Темп» и «Стахимент 3000» [7].

Определение сроков схватывания цементно-песчаных смесей проводилось по ГОСТ 310 [8], для чего использовался прибор Вика (рис. 1). Химические добавки приго-

тавливались с водой затворения. Их расход принимался в количестве $0,5 \pm 3\%$ от массы сухого цемента [9]. В частности, нитрат натрия, нитрат и хлорид кальция вводились в количестве 3% от массы цемента, сульфат натрия – 2%, «Темп» – 0,5%, «Стахимент 3000» – 1,2%. Принятый расход двух последних добавок выбран исходя из максимально допустимых значений согласно рекомендациям фирм-изготовителей.

Исследования подвижности приготовленных смесей проводились по ГОСТ 5802 [10] и СТБ 1307 [11], для чего использовался стандартизированный прибор, представленный на рис. 2.

Исследования физикомеханических свойств изделий (кубиков с длиной ребра 70,7 мм), полученных из цемент-

но-песчаных смесей с добавлением химических добавок, заключались в определении прочности на сжатие готовых образцов согласно ГОСТ 5802.

Механические испытания отформованных кубиков проводились на Тестпрессе ТП-1-100 (РФ), который позволял регулировать скорость роста прилагаемой нагрузки (давления, мПа/с; силы, кН/с), определять ее текущую величину в кН и прочность испытуемых образцов на сжатие в МПа (рис. 3).

Результаты и обсуждение

Основные результаты исследований влияния химических добавок на сроки схватывания приготовленных смесей представлены в таблице.

Влияние химических добавок на сроки схватывания смесей

| Химическая добавка | Срок начала схватывания, мин | | | | | | |
|--------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|------|----------------|-------------|
| | NaNO_3 | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | CaCl_2 | Na_2SO_4 | Темп | Стахимент 3000 | Без добавки |
| В/Ц = 0,5 | 22 | 37 | 52 | 45 | 32 | 48 | 58 |
| В/Ц = 0,55 | 41 | 44 | 64 | 45 | 55 | 56 | 79 |
| В/Ц = 0,6 | 51 | 40 | 59 | 45 | 51 | 55 | 78 |

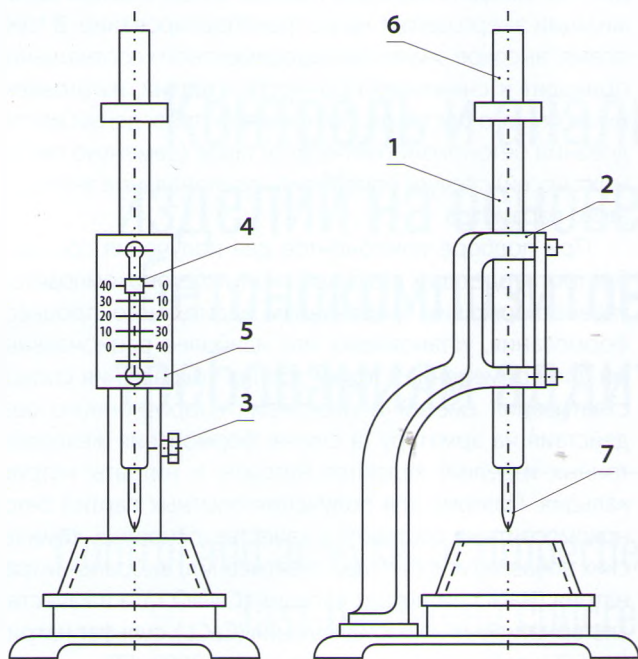


Рис. 1. Прибор Вика

- 1) цилиндрический металлический стержень; 2) обойма станины; 3) стопорное устройство; 4) указатель; 5) шкала; 6) пестик; 7) игла

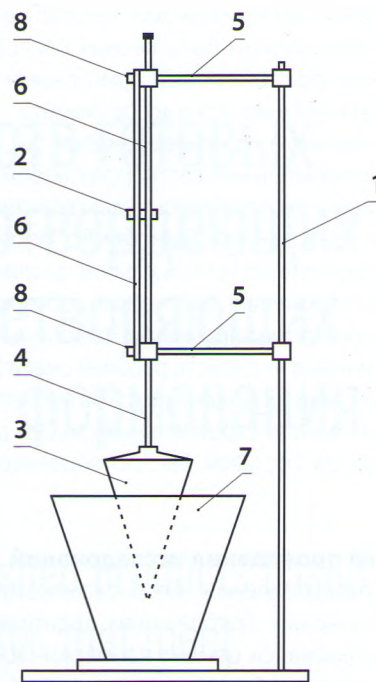


Рис. 2. Прибор для определения подвижности растворной смеси

- 1) штатив; 2) шкала; 3) эталонный конус; 4) штанга; 5) держатели; 6) направляющие; 7) сосуд для растворной смеси; 8) стопорный винт

Результаты проведенных исследований *подвижности приготовленных смесей* показали, что при В/Ц = 0,5 приготовленные смеси соответствуют марке подвижности ПК2 (глубина погружения конуса 7,2 см), а при В/Ц = 0,55 и В/Ц = 0,6 марке подвижности ПК3 (глубина погружения конуса соответственно 8,5 см и 11,3 см).

На рис. 4 приведены результаты исследований прочности на сжатие кубиков возрастом 3, 7 и 28 суток (графики: 1, 2 и 3 соответственно), приготовленных из цементно-песчаного раствора с добавлением нитрата натрия в количестве 3% от массы цемента. Они свидетельствуют о том, что после 28 суток образцы соответствуют марке раствора М200 ГОСТ 5802. При этом снижение прочно-

сти по мере увеличения водоцементного содержания В/Ц от 0,5 до 0,6 составляет 6,8%.

Результаты исследований прочности на сжатие кубиков возрастом 3, 7 и 28 суток, содержащих в своем составе нитрат кальция в количестве 3% от массы цемента, представлены на рис. 5. Из него видно, что в возрасте 28 суток прочность кубиков, приготовленных при В/Ц = 0,5 и В/Ц = 0,55 сопоставима, но при В/Ц = 0,6 снижение прочности составляет 37,7% (по сравнению с В/Ц = 0,5). Т.е. с учетом требований обеспечения достаточной прочности готовых образцов и минимизации энергозатрат на транспортирование приготовленной смеси от смесителя к месту формовки изделий при использовании нитрата



Рис. 3. Тестпресс ТП-1-100 для испытания кубиков из бетонокомпозитных цементно-песчаных смесей

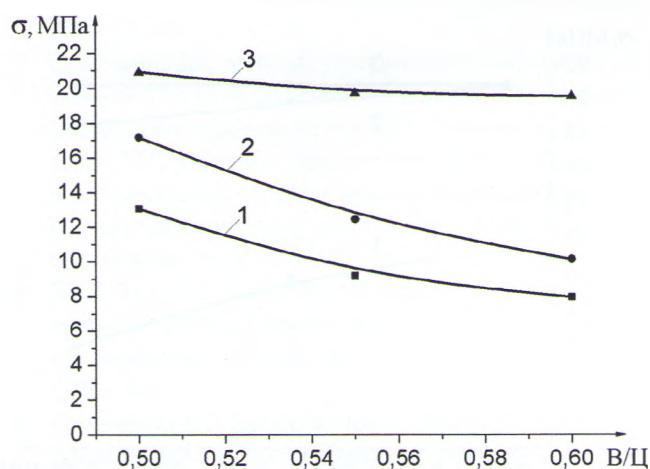


Рис. 4. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания нитрата натрия

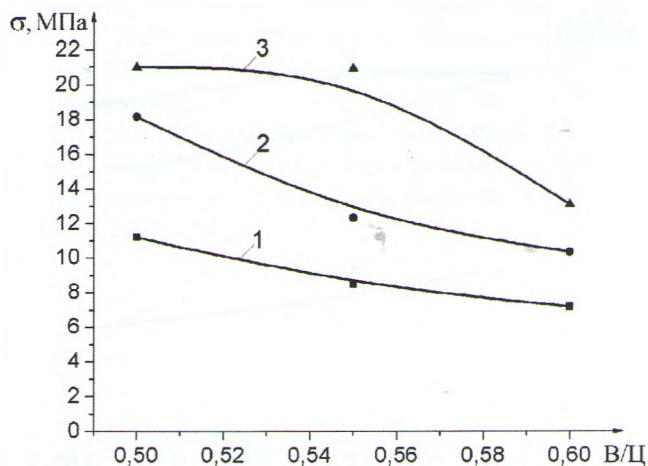


Рис. 5. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания нитрата кальция

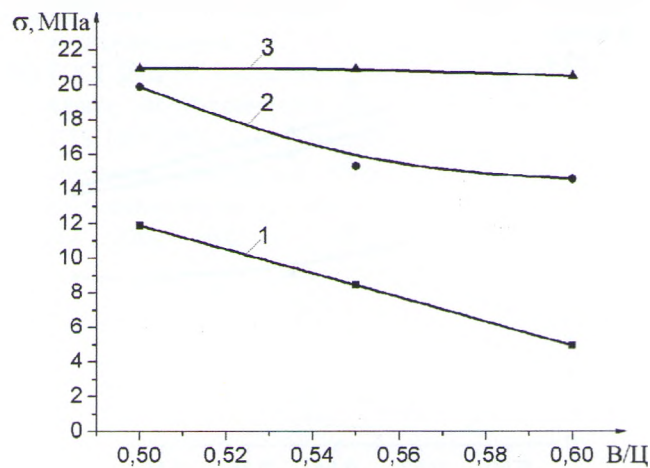


Рис. 6. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания хлорида натрия

кальция в качестве химической добавки предпочтительным является $V/C = 0,55$.

Аналогичное заключение можно сделать и для случаев использования в качестве ускорителя схватывания 3% хлорида кальция (рис. 6), 2% сульфата натрия (рис. 7) и 0,5% добавки «Темп» (рис. 8).

Также следует помнить, что хлорид кальция и сульфат натрия нежелательно использовать без ингибиторов коррозии в производстве железобетонных изделий. Более того, как ускоритель схватывания бетонных и цементно-песчаных смесей хлорид кальция и сульфат натрия показывают не самые лучшие результаты (см. таблицу).

Химическая добавка «Стахимент 3000» характеризуется хорошей скоростью набора прочности на сжатие сформованных изделий (рис. 9), но сроки схватывания приготовленных с ее использованием смесей (см. таблицу) не позволяют рекомендовать ее для использования в аддитивном производстве бетонных и железобетонных изделий.

Для анализа результатов испытаний опытных образцов изделий (кубиков), полученных при использовании различных химических добавок, с эталонными образцами приготавливались смеси, в которых не использовались ускорители схватывания. Предел прочности на сжатие последних показан на рис. 10.

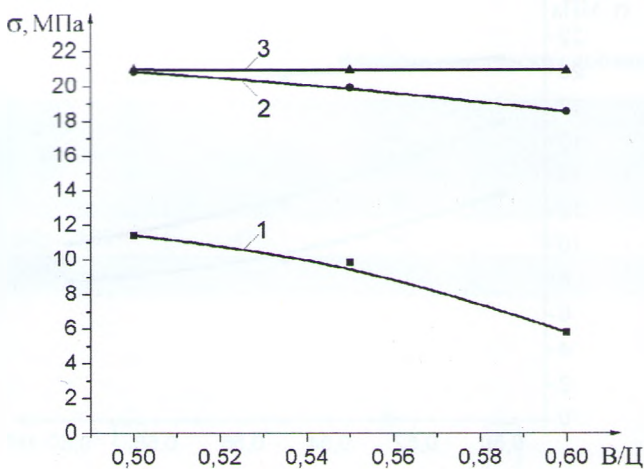


Рис. 7. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания сульфата натрия

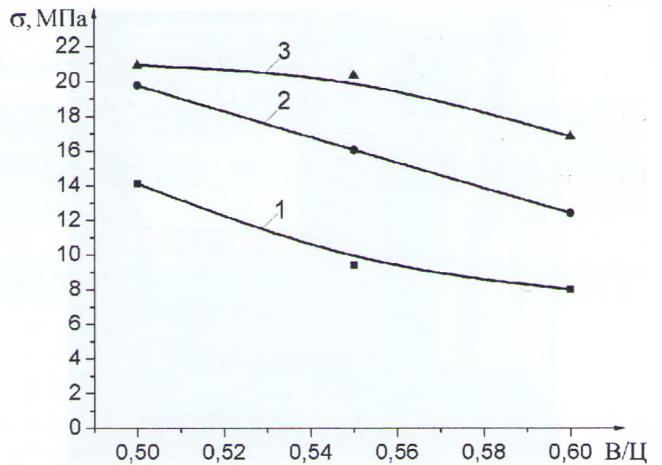


Рис. 8. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания добавки «Темп»

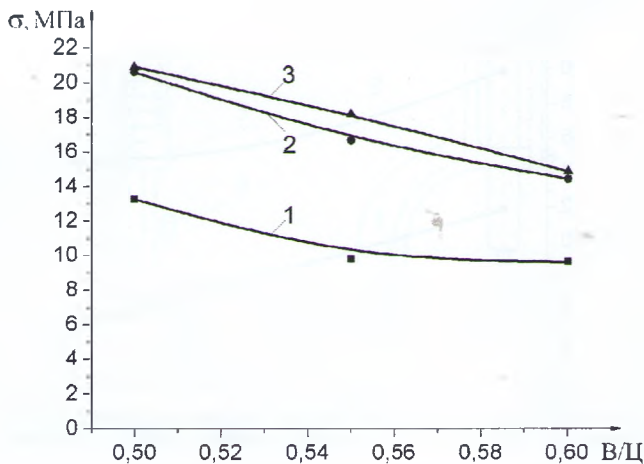


Рис. 9. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в качестве ускорителя схватывания добавки «Стахимент 3000»

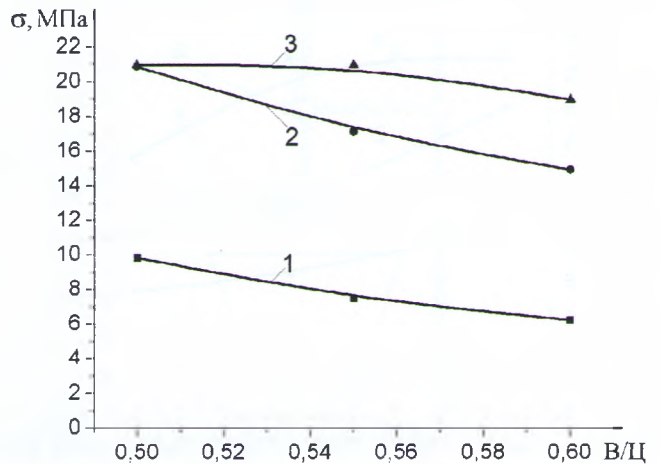


Рис. 10. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных без использования химических добавок

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что прочность образцов на сжатие в диапазоне $V/C = 0,5 \div 0,55$ почти не зависит от количества воды, добавляемой при приготовлении бетонокомпозитной (цементно-песчаной) смеси, чего нельзя сказать о более высоких величинах соотношения V/C .

Заключение

Таким образом, для приготовления смесей, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования, с точки зрения обеспечения высокой прочности готовых изделий и минимизации энергозатрат на перемещение приготовленной смеси от смесителя до места формовки целесообразнее всего отдавать предпочтение соотношению $V/C = 0,55$. Также можно сделать вывод о том, что при $V/C = 0,5 \div 0,55$ химические добавки почти не влияют на прочность готовых изделий в возрасте 28 сут.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для приготовления бетонокомпозитных составов с целью аддитивного формования изделий выбирать в качестве химических добавок нитрат натрия или нитрат кальция в количестве 3% от массы сухого цемента, а водоцементное соотношение $V/C = 0,5 \div 0,55$. Это позволит получить требуемую подвижность и скорость схватывания приготавливаемой смеси при одновременном обеспечении требуемых прочностных характеристик готовой продукции.

Литература

1. Изотов В.С. Химические добавки для модификации бетона / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.
2. Афанасьев Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – К.: Будивзльнык, 1989. – 128 с.
3. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
4. СТБ 1307-2002. Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2002. – 14 с.
5. Хейфец М.Л. Влияние гранулометрического состава исходных компонентов цементно-песчаной смеси на прочность готовых изделий, получаемых методом аддитивного производства [Текст] / М.Л. Хейфец, Д.В. Семененко, Д.В. Котович, О.А. Петров // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сборник докладов Международного научно-практического симпозиума. – Минск: Беларуская навука, 2020. – С.149–153.
6. Хейфец М.Л. Прочность изделий, полученных из цементно-песчаных смесей методом аддитивного производства / М.Л. Хейфец, Д.В. Семененко, А.В. Таболич, Д.С. Ратуцкая // Акуловские чтения: сборник аннотаций докладов Международного семинара / редкол.: А. П. Ласковнев [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2020. – С. 33–34.
7. Семененко Д.В. Влияние ускорителей схватывания цементного теста на физические свойства строительных растворов и изделий из них / Д.В. Семененко, Д.В. Котович, М.Л. Хейфец // Перспективы развития аддитивных технологий: сборник докладов Международного научно-практического симпозиума. – Минск: Беларуская навука, 2019. – С.75–77.
8. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 8 с.
9. Семененко Д.В. Выбор и приготовление химических добавок для быстротвердеющих строительных растворов, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования / Д.В. Семененко, М.Л. Хейфец // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сборник докладов Международного научно-практического симпозиума. – Минск: Беларуская навука, 2017. – С.141–146.
10. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 16 с.
11. СТБ 1307-2002. Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2002. – 14 с.