

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО БЕТОНА

В. П. Ярцев, Е. И. Репина, В. В. Шеверда

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов,
Россия; kzis@mail.nnn.tsu.ru

Ключевые слова: асбоцементные отходы; водопоглощение; оптимальная концентрация; плотность; прочность; размер зерен наполнителя; цементно-песчаный бетон.

Аннотация: Изучено влияние наполнителей из асбестоцементных отходов на основные физико-механические характеристики цементно-песчаного бетона. Получены экспериментальные результаты при испытаниях на прочность и деформированность наполненных бетонов. Определены значения водопоглощения и плотности при вариации размера наполнителей. Установлены оптимальные концентрации и размеры зерен наполнителей из асбестоцементных отходов в цементно-песчаных бетонах.

Зерновой, или гранулометрический, состав заполнителя отражает содержание в нем зерен разной крупности и определяется просеиванием средней пробы заполнителя через стандартные сита, к которым относятся сита с размерами отверстий 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 70 мм и др. [1].

Заполнитель в первую очередь характеризуют наименьшей и наибольшей крупностью. Наименьшей крупностью $D_{\text{наим}}$ принято считать размер отверстий того из стандартных сит, на котором при просеивании остается не менее 95 % пробы заполнителя (по массе), то есть сквозь которое пройдет не более 5 %. Наибольшей крупностью $D_{\text{наиб}}$ считают размер отверстий того сита, сквозь которое проходит не менее 95 % пробы заполнителя, а остается менее 5 %. Соответственно этому зерновой состав по наименьшей и наибольшей крупности характеризуют, например, так: щебень крупностью 5...40 мм ($D_{\text{наим}} = 5$ мм; $D_{\text{наиб}} = 40$ мм).

Заполнитель называют *однофракционным*, если $D_{\text{наим}}$ и $D_{\text{наиб}}$ близки и представляют собой размеры отверстий смежных сит стандартного набора: 5...10, 10...20, 20...40 мм и т. д. Заполнитель крупностью, например, 5 ... 20 мм представляет собой смесь двух фракций.

Стандартами допускаются и в некоторых случаях эффективно применяются более узкие фракции заполнителей [2], например 10...15 или 15...20 мм.

Пустотность заполнителя при смешении различных его фракций, как правило, уменьшается, так как относительно мелкие зерна могут разместиться в промежутках между более крупными и, таким образом, более компактно заполнить объем. Поэтому большое значение для смесей заполнителей имеет их зерновой состав.

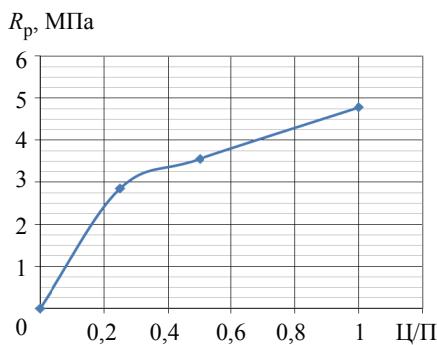


Рис. 1. Зависимость прочности на разрыв R_p асбестоцементного образца с цементно-песчаным раствором

гравия крупностью 5...10 и 20...40 мм (отсутствует промежуточная фракция 10...20 мм). Заполнители с прерывистым зерновым составом находят ограниченное применение, однако область их использования в технологии бетона расширяется.

Перед изготовлением композитного материала с наполнителем из сухих асбестоцементных отходов (**САЦО**) проведены испытания по определению адгезии заполнителя и вяжущего, в ходе которых использовались прямоугольные пластины шифера. Край пластины помещался в раствор вяжущего и удерживался 14 суток. Полученные образцы испытывали на разрывной машине при выдергивании. Результаты испытаний приведены на рис. 1. Для получения одной точки испытывали по 6 образцов, полученные значения усредняли.

По результатам исследований сделан вывод, что асбестоцементные отходы имеют высокую адгезию с цементно-песчаным (**ЦП**) вяжущим и пригодны для использования в качестве активных добавок в разрабатываемый композитный материал.

При разработке оптимального состава наполненного бетона рассматривали заполнители из отходов асбестоцементных материалов с различным размером зерен. На рычажном лабораторном стенде [3] определены зависимости прочности бетона при поперечном изгибе и сжатии от размера зерен наполнителя при вариации процентного содержания САЦО.

Наполнитель разделили на четыре фракции, три из которых представляли собой бой волнистых асбестоцементных листов с размерами зерен:

- № 1 – ≤ 5 мм;
- № 2 – 10...20 мм;
- № 3 – 20...40 мм;

а фракция №4 – осколки асбестоцементных труб с размером зерен 20...40 мм.

Зависимость прочности бетона от количества наполнителя представлена на рис. 2. В бетоне М100 песок частично заменялся измельченными САЦО. Для построения графика испытывали образцы фракции №1 с 0, 33, 66, 100 % содержанием САЦО по массе (ЦП, Б33, Б66, Б100 соответственно); фракций №2–4 (Ф2–4) – 0, 20, 40, 60 %.

Зерновой состав называется *непрерывным*, если при последовательном просеивании пробы заполнителя через стандартный набор сит (от сита с отверстиями $D_{\text{наиб}}$ до сита с отверстиями $D_{\text{наим}}$) получают остатки на всех ситах, то есть если в смеси заполнителя имеются зерна всех фракций от $D_{\text{наим}}$ до $D_{\text{наиб}}$. Если какие-либо промежуточные фракции отсутствуют, то зерновой состав называют *прерывистым*. Пример прерывистого зернового состава – смесь фракций щебня или

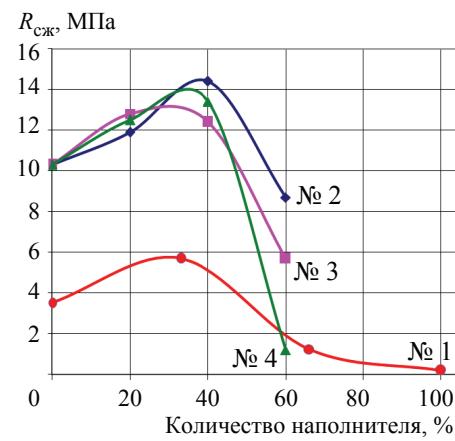


Рис. 2. Зависимость прочности бетона при центральном сжатии R_{csk} от процентного содержания САЦО по фракциям

Прочность при сжатии достигала максимального значения при введении 30–40 % наполнителя. Дальнейшее повышение содержания наполнителя приводит к резкому падению прочности, связанному с тем, что цементное вяжущее не обеспечивает полное сцепление зерен наполнителя.

Зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе от времени твердения материала композита с различными фракциями наполнителя и ЦП раствора изображены на рис. 3. Технология изготовления образцов и методика проведения испытаний представлены в работе [4].

Из рисунка 2 очевидно, что максимальную прочность при сжатии показали образцы с содержанием 40 % асбестоцементных отходов фракции № 4 (осколки асбестоцементных труб размером зерен 20...40 мм) и фракции № 2 (бой волнистых асбестоцементных листов размером зерен 10...20 мм).

Результаты испытаний показали, что прочность бетона при добавлении в него САЦО увеличивается в 1,5...2 раза и при поперечном изгибе возрастает с уменьшением размеров частиц наполнителя.

Для изучения влияния активных добавок на свойства бетонов изготовили и испытали бетоны с добавлением поливинилацетата (Б33П) и силиката натрия (Б33С) 10 % по массе [5–7].

Образцы изготовили в виде балочек с размерами граней $120 \times 20 \times 20$ см. В бетон вводили асбестоцементный наполнитель фракции № 1 с размером частиц ≤ 5 мм в количестве 33 масс частей. Определили зерновой состав асбестоцементного наполнителя. Модуль крупности составил 4,11.

В результате исследований получили зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе образцов с 33%-м процентным содержанием САЦО и 10%-м содержанием ПВА и жидкого стекла, см. табл. 1.

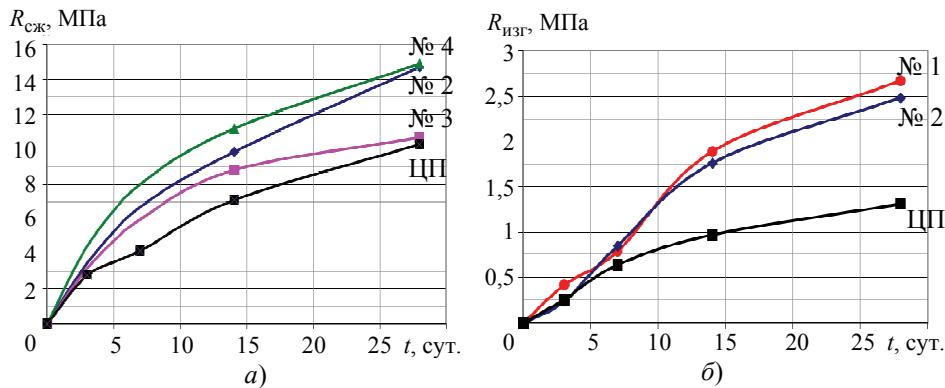


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии $R_{cж}$ (а) и поперечном изгибе $R_{изг}$ (б) от времени твердения образцов t по фракциям

Таблица 1

Значения прочности при сжатии и поперечном изгибе наполненных бетонов

Материал	Количество САЦО	Размер зерен, мм	Добавки	Прочность	
				при сжатии	при изгибе
ЦП	–	–	–	3,6	1,3
Б33	33	≤ 5	–	5,8	2,7
Б33С	33	≤ 5	10 % NaSi	2,2	1,3
Б33П	33	≤ 5	10 % ПВА	6,5	2,7

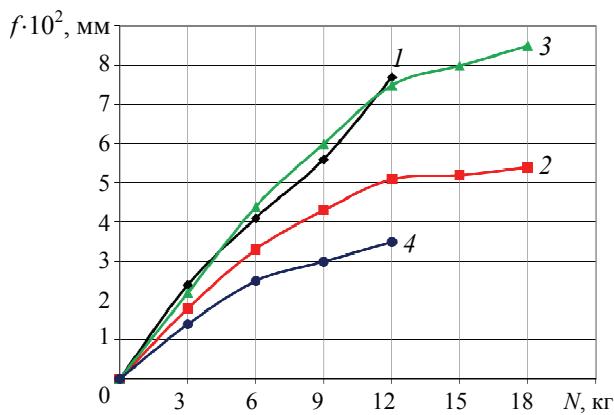


Рис. 4. Зависимость прогиба f от сосредоточенной нагрузки N :
 1 – ЦП; 2 – Б33; 3 – Б33П; 4 – Б33С

Зависимость прогиба от вида материала представлена на рис. 4.

Из таблицы 1 и рис. 4. видно, что введение 10 % поливинилацетата существенно повышает характеристики наполненных бетонов (**БИСАЦО**). Материал становится более «пластичным», повышаются прочность при сжатии, увеличивается предельный прогиб при изгибающей нагрузке. Введение силиката натрия напротив оказывает негативное влияние на физико-механические характеристики композита. Это связано, по-видимому, со значительным повышением водопотребности бетонной смеси. Вследствие чего увеличивалась пористость и неоднородность материала.

Водопоглощение бетона определяли по стандартной методике [8], выдерживая образцы в воде. Температура воды должна быть 20 ± 2 °C. Водопоглощение, определяемое погружением образцов материала в воду, характеризует в основном открытую пористость, так как вода не проникает в закрытые поры. При извлечении образцов из ванны вода частично вытекает из крупных пор, поэтому водопоглощение обычно меньше пористости. Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивается плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость понижаются [9].

В работе проведены исследования водопоглощения БИСАЦО по массе W_m (рис. 5) и объему W_0 , определена плотность рассматриваемых композитных материалов (рис. 6).

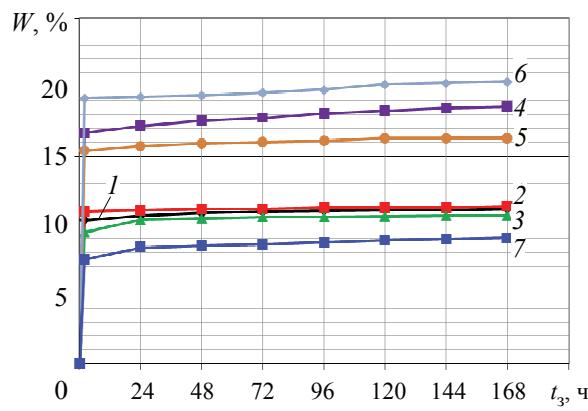


Рис. 5. Зависимость водопоглощения материала W по массе от времени замачивания t_3 :
 1 – ЦП; 2 – Б33; 3 – Б33П; 4 – Б33С; 5 – Б66; 6 – Б100; 7 – БФ(2–4)

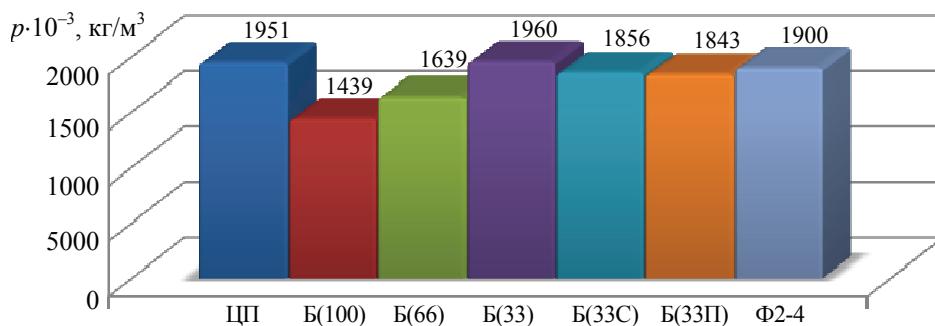


Рис. 6. Диаграмма плотности p видов БИСАЦО

Из рисунков 5 и 6 видно, что наибольшее водопоглощение наблюдается у материала Б33С (33 % САЦО + 10 % силиката натрия). Причиной этого является наибольшая пористость данного материала. Напротив, материалы с наибольшей поверхностной плотностью и, соответственно, меньшей пористостью имеют наименьшее водопоглощение (Б33П, Ф2).

В ходе экспериментальных работ сделаны следующие выводы:

- изучена зависимость прочности бетона с наполнителем из утилизированных асбестоцементных отходов от зернового состава наполнителя. Показано, что оптимальным является состав с фракцией наполнителя 0...5 мм и концентрации 33;
- определено влияние добавок поливинилацетата и жидкого стекла на физико-механические характеристики бетона. Положительное воздействие оказывает добавка 10% ПВА;
- исследовано влияние состава на физические свойства бетона (водопоглощение, плотность). Установлено, что наиболее оптимальным является состав с 33%-м содержанием САЦО и 10%-м ПВА по массе.

Список литературы

1. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение / И. А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 2003. – 701 с.
2. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов / учебное пособие для вузов / Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1974. – 560 с.
3. Ярцев, В. П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений : учеб. пособие / В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – 149 с.
4. Пучин, А. В. Влияние асбестоцементных отходов на прочностные характеристики мелкозернистых бетонов / А. В. Пучин, В. П. Ярцев // Материалы и технологии XXI века: перспективные материалы, их структура и свойства : сб. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф., г. Пенза, 27–28 марта. – Пенза, 2008. – С. 33 – 35.
5. Ярцев, В. П. Композиты на основе полиэфирной смолы с полимерными добавками / В. П. Ярцев, М. А. Подольская // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 3. – С. 557 – 563.
6. Ярцев, В. П. Композитные материалы на основе мелкозернистых бетонов с использованием фосфогипсовых отходов производства минеральных удобрений / В. П. Ярцев, А. Е. Жданов, О. А. Корчагина // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2010. – № 1-3(28). – С. 46 – 51.

7. Никифоров, А. Н. Добавки для бетона. Состояние и перспективы / А. Н. Никифоров // Капстроительство. – 2002. – № 5. – С. 13–14.
 8. ГОСТ 24452–80 Бетоны. Метод испытаний. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 16 с.
 9. Лещинский, М. Ю. Испытания бетона / М. Ю. Лещинский. – М. : Стройиздат, 1980. – 360 с.
-

The Effect of the Grain Structure of Asbestos-Cement Waste Fillers on Physical and Mechanical Properties of Cement-Sand Concrete

V. P. Yartsev, E. I. Repina, V. V. Sheverda

Department of Structure of Buildings and Constructions,
TSTU, Tambov, Russia; kzis@mail.nnn.tstu.ru

Keywords: asbestos cement waste; cement-sand concrete; grain size of filler; optimal concentration; strength; density; water absorption.

Abstract: The effect of asbestos-cement waste fillers on the basic physical and mechanical characteristics of cement-sand concrete is studied. Experimental results in tests on the strength and deformability of filled concrete were obtained. The values of water absorption and density were determined with a variation in the size of the fillers. Optimum concentrations and sizes of asbestos-cement waste filler grains in fine-grained cement-sand concretes were found.

References

1. Ryb'ev I.A. *Stroitel'noe materialovedenie* [Construction Material Science], Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 701 pp. (In Russ.)
2. Bazhenov Yu.M. *Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnykh vidov* [Methods for determining the composition of concrete of various types], Moscow: Stroiizdat, 1974, 560 p. (In Russ.)
3. Yartsev V.P. *Prognozirovaniye rabotosposobnosti polimernykh materialov v detalyakh i konstruktsiyakh zdaniy i sooruzhenii* [Forecasting the efficiency of polymer materials in the details and structures of buildings and structures], Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2001, 149 p. (In Russ.)
4. Puchin A.V., Yartsev V.P. [The influence of asbestos-cement waste on the strength characteristics of fine-grained concrete], *Materialy i tekhnologii XXI veka: perspektivnye materialy, ikh struktura i svoistva* [Materials and technologies of the XXI century: promising materials, their structure and properties], Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference, Penza, 27-28 March 2008, pp. 33-35. (In Russ.)
5. Yartsev V.P., Podolskaya M.A. [Composites based on polyester resin with polymer additives], *Transactions of Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 3, pp. 557-563. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Yartsev V.P., Zhdanov A.E., Korchagina O.A. [Composite Materials Based on Fine Grain Concrete Using Phosphogypsum Waste of Mineral Fertilizers], *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V.I.Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2010, no. 1-3 (28), pp. 46-51. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Nikiforov A.N. [Additives for concrete. State and prospects], *Kapstroitel'stvo* [Capital Construction], 2002, no. 5, pp. 13-14. (In Russ.)
 8. Gosudarstvennyi komitet SSSR po delam stroitel'stva, *GOST 24452-80 Betony. Metod ispytaniy* [Russian Interstate Standard 24452-80. Concretes. Test method], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1980. (In Russ.)
 9. Leschinsky M.Yu. *Ispytaniya betona* [Tests of concrete], Moscow: Stroizdat, 1980, 360 p. (In Russ.)
-

Der Einfluss der Körnerzusammensetzung von Füllstoffen aus Asbestzementabfällen auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Zement-Sand-Betons

Zusammenfassung: Es ist der Einfluss von Füllstoffen aus Asbestzementabfällen auf die grundlegenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Zement-Sand-Beton untersucht. Experimentelle Ergebnisse sind in Tests für die Festigkeit und Verformbarkeit von gefülltem Beton erhalten. Die Werte der Wasseraufnahme und Dichte sind mit einer Variation der Größe der Füllstoffe bestimmt worden. Optimale Konzentrationen und Größen von Füllstoffkörnern aus Asbestzementabfällen in Zement-Sand-Betonen sind festgestellt.

Influence de la composition des grains des agents de remplissage à partir des déchets d'amiante-ciment sur les propriétés physico-mécaniques du béton ciment-sable

Résumé: Est étudiée l'influence des agents de remplissage à partir des déchets d'amiante-ciment sur les principales propriétés physico-mécaniques du béton ciment-sable. Sont obtenus les résultats expérimentaux lors des essais sur la résistance et la déformation des bétons remplis. Sont définies des valeurs de l'absorption d'eau et de la densité lors de la variation de la taille des agents de remplissage. Sont établies les concentrations optimales et les dimensions des grains des agents de remplissage à partir des déchets d'amiante-ciment dans les bétons de ciment et de sable à grain fins.

Авторы: Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»; Репина Елена Ивановна – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Шеверда Вадим Викторович – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: Монастырев Павел Владиславович – доктор технических наук, доцент, директор института «Архитектура, строительство и транспорт», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
