

DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740

¹Ярцев В.П., ^{1,*}Репина Е.И.¹Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д

*E-mail: rep-ka@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ АСБОЦЕМЕНТНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. Предложено использовать в качестве наполнителя цементно-песчаных бетонов асбоцементные отходы из строительных изделий и конструкций. Асбоцементные отходы в качестве наполнителей бетонов используются ограничено. При этом основная их часть утилизируется в отвалы, что приводит к загрязнению окружающей среды. Отходы боя шифера и асбоцементных труб разделялись по фракциям 0...5, 10...20 и 20...40 мм. Изучалось влияние асбоцементных отходов на основные физико-механические свойства и долговечность цементно-песчаных бетонов. Установлены оптимальные концентрации и размер зерен наполнителей. Определены значения прочности, предельного водопоглощения и долговечности при заданных параметрах эксплуатации цементно-песчаных бетонов. Изучалось влияние жидких активных добавок на долговечность и морозостойкость бетонов. В качестве активных добавок использовались поливинилацетатный клей (ПВА) и силикат натрия. Разработаны составы бетонов с наиболее высокими эксплуатационными характеристиками. Проведены длительные механические испытания этих составов с позиций термофлуктуационной (кинетической) концепции разрушения. Получены значения термофлуктуационных констант, отражающих физическую и химическую структуру материалов. Дана трактовка механизма разрушения бетонных образцов в широком диапазоне нагрузок и температур. Предложен способ расчета и прогнозирования механической долговечности в реальных условиях эксплуатации. Приведены примеры расчета долговечности для бетонных облицовочных панелей на металлическом каркасе.

Ключевые слова: цементно-песчаный бетон, асбоцементные отходы, оптимальная концентрация, жидкие активные добавки, водопоглощение, морозостойкость, долговечность.

Введение. Утилизация отходов промышленности является одной из приоритетных задач современного строительного материаловедения. Находящийся в отвалах строительный мусор зачастую пригоден для повторного использования в качестве активных или пассивных добавок в новые композитные материалы. Вопросам утилизации асбестоцементных отходов в настоящее время уделяется большое внимание, что связано в первую очередь с нехваткой практически повсеместно сырьевых ресурсов и их удорожанием [1]. В то же время асбестоцементные отходы в своем составе имеют компоненты, пригодные для получения на их основе строительных материалов различного назначения. Проблема утилизации асбестоцементных отходов (АЦО) актуальна и потому, что с ее решением уменьшается загрязнение окружающей среды.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов: вещественного состава отходов, их агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т.д. [2]. Наиболее эффективным решением проблемы промышленных отходов является внедрение безотходной технологии. Из-за отсутствия специального оборудования, энерго- и трудоемкости помола АЦО в асбестоцементном производстве используется редко.

К сожалению, большую часть АЦО в связи с названными выше трудностями использования вывозят в отвалы. На ряде предприятий вопреки запрету влажные АЦО отгружаются строительным организациям и населению для выполнения теплоизоляционных засыпок, сухие – для подсыпки дорог и железнодорожных насыпей. Лишь на некоторых заводах внедрена технология производства мелких стеновых блоков из сухих асбестоцементных отходов (САЦО) для возведения малоэтажных зданий. В этом случае сухие отходы используют в качестве крупного заполнителя, который перемешивают с портландцементом и песком и формируют на виброплощадках.

Методология. Объектом исследования был выбран мелкозернистый бетон марки М100. В качестве вяжущего использовали портландцемент М400. Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении экспериментальных образцов соответствовала ГОСТ 23732-79 [3]. В качестве заполнителя использовали песок с модулем крупности 0,85.

Для изготовления образцов с использованием отходов асбестоцементных материалов применяли бой шифера, разделенный по фракциям 0...5 (рис. 1, а), 10...20 (рис. 1, б) и 20...40 мм (рис. 1, в). Также использовали

осколки асбестоцементной трубы размером 20...40 мм (рис. 1, г).

Для повышения механических характеристик бетонов вводили добавки [4] – поливинилацетатный клей (ПВА) и силикат натрия (производство г. Тамбов).

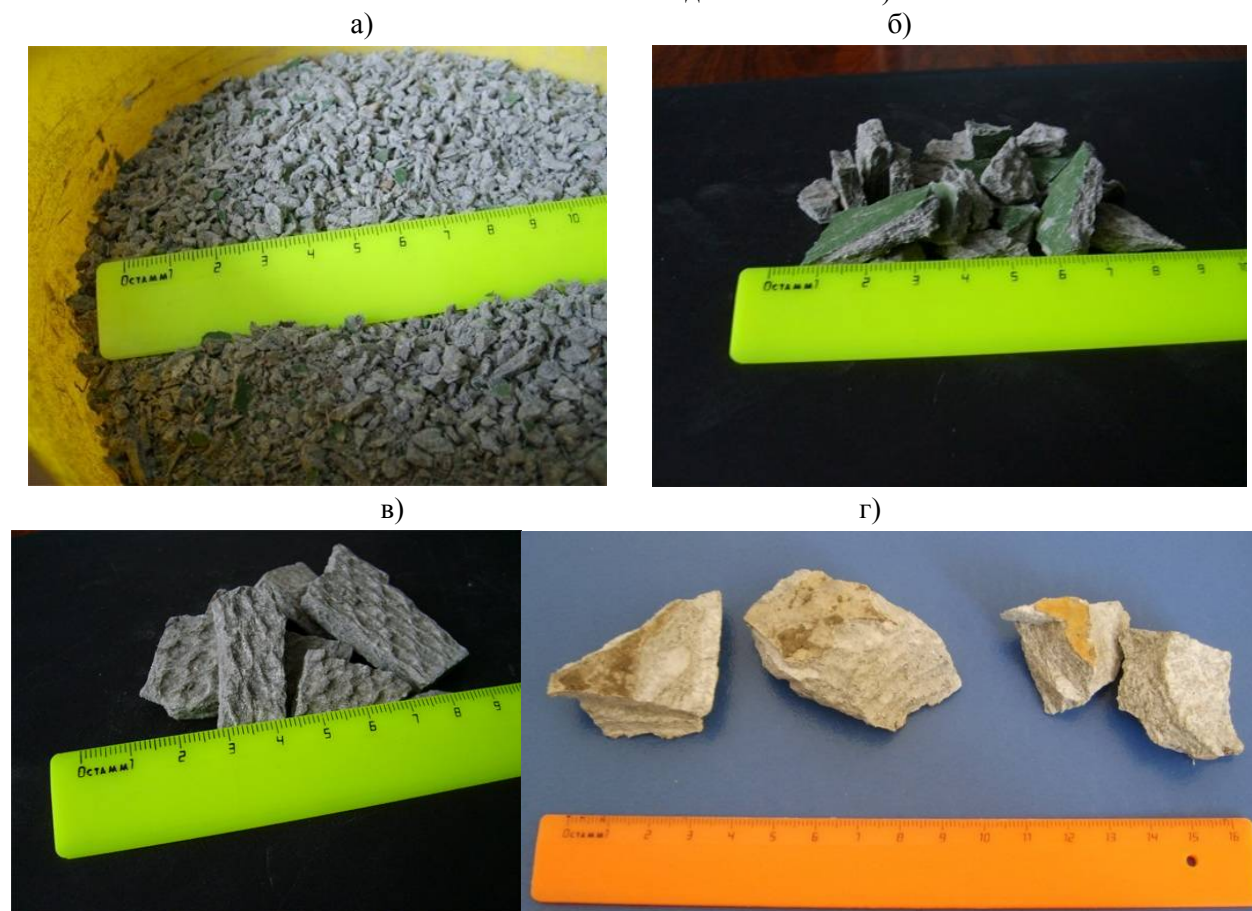


Рис. 1. Асбестоцементный заполнитель в бетон: а) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией <math><5\text{ мм}</math>; б) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией 10...20 мм; в) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией 20...40 мм; г) бой асбестоцементных труб фракцией 20...40 мм

Компоненты бетонной смеси взвешивали на технических весах с точностью до 10 гр. Перед смешиванием бункер смесителя смачивали водой для уменьшения водопотребности бетонной смеси. Вначале производили их смешивание в сухом виде, а затем добавляли воду. Перемешивание выполняли механическим способом [5]. Образцы изготавливали в формах, соответствующих требованиям ГОСТ 226-85, а также в разборной металлической опалубке для испытаний на долговечность. Внутренние поверхности форм покрывали тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов.

Укладку и уплотнение бетонной смеси проводили не позднее, чем через 20 мин после её изготовления [6].

Для изготовления бетона с использованием сухих асбестоцементных отходов (БИСАЦО) применяли бой шифера и асбестоцементных труб, разделенный по фракциям с помощью стандартного набора сит 40, 20, 10, <math><5\text{ мм}</math>.

Образцы изготавливали трех видов:

- в виде кубиков с размерами 100×100×100 мм, для испытаний на центральное сжатие;
- в виде балочек с размерами 40×40×160 мм, для испытаний на поперечный изгиб, а после разрушения половинки испытывали на центральное сжатие.
- в виде балочек с размерами 20×20×100 мм, для испытаний на поперечный изгиб, а после разрушения их нарезали кубиками с размером ребра 20 мм для испытаний на центральное сжатие.

Для изучения влияния добавок на свойства бетонов при изготовлении образцов в смеси вводили водные растворы поливинилацетата и силиката натрия. Количество вводимых добавок (по массе) определяли исходя из пропорции 1/10 (к массе сухой смеси).

Введение добавок осуществляли следующим образом. Сухую смесь разбавляли водой, количество которой принимали равной, половине от требуемой по расчету. Половину оставшегося

количества воды перемешивали с добавкой и небольшими дозами добавляли в бетонную смесь.

Основная часть. Изучение зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе от количества заполнителя и его зернового состава проводили на прессе ИП-500 в режиме заданной постоянной скорости нагружения. Полученные результаты от времени твердения бетона представлены на рис. 2.

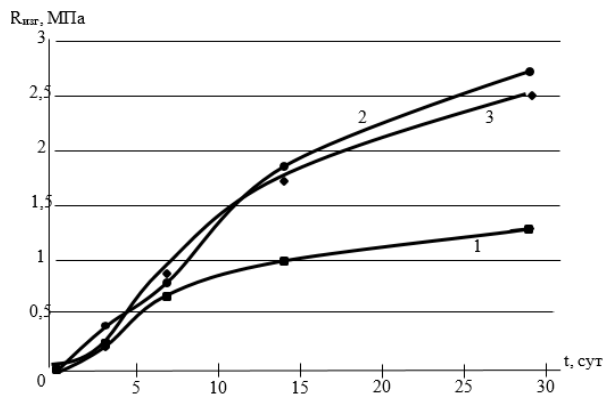


Рис. 2. Зависимость прочности при поперечном изгибе от времени твердения образцов цементно-песчаного бетона (1) с добавлением САЦО размером зерен ≤ 5 мм (2), размером зерен 10...20 мм (3)

Из рисунка видно, что прочность бетона при добавлении в него САЦО увеличивается в 1,5 раза.

Результаты исследования прочности при сжатии для всех составов бетонов представлены на рис. 3. В мелкозернистом бетоне М100 песок частично заменяли измельченными САЦО. Для построения зависимости испытывали образцы с размером зерен ≤ 5 мм и содержанием АЦО 0, 33, 66, 100 % по массе; с размером зерен 10...20 мм и 20...40 мм и содержанием САЦО 0, 20, 40, 60 % по массе. Прочность при сжатии достигала максимального значения при введении 30–40 % наполнителя. При увеличении количества САЦО прочность резко падала, по-видимому, из-за того, что цементное вяжущее не обеспечивало полное сцепление зерен наполнителя.

Для изучения влияния жидких активных добавок были изготовлены мелкозернистые бетоны с добавлением поливинилацетата и силиката натрия (10 % по массе). Модуль крупности зернового состава асбестоцементного наполнителя составил 4,11.

Полученные зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе представлены на рис. 4.

Из рисунка видно, что введение 10 % поливинилацетата существенно повышает характеристики БИСАЦО. Материал становится более

«пластичным», повышаются прочность при сжатии, увеличивается прогиб при изгибающей нагрузке. Введение силиката натрия, напротив, оказывает негативное влияние на физико-механические характеристики композита. Это, по-видимому, связано с тем, что при введении силиката натрия, значительно повышалась водопотребность бетонной смеси. Вследствие этого увеличивалась пористость и неоднородность материала.

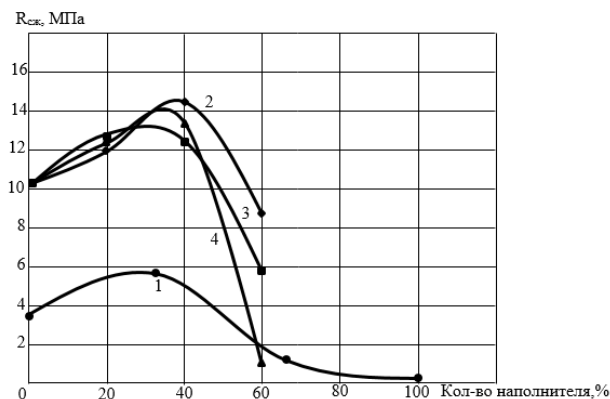


Рис. 3. Зависимость прочности бетона от процентного содержания АЦО размером зерен боя волнистых асбестоцементных листов ≤ 5 мм (1), 10...20 мм (2), 20...40 мм (3) и осколков цементных труб 20...40 мм (4)

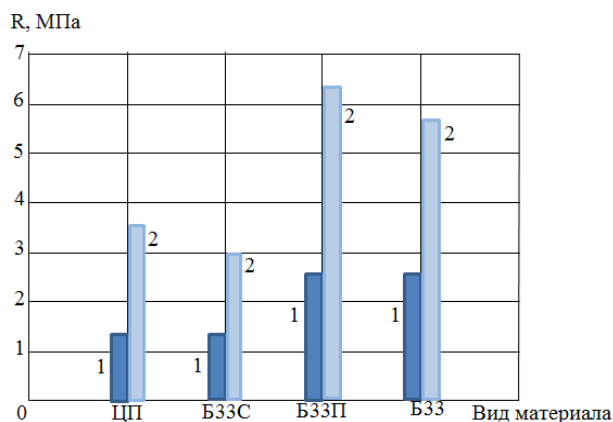


Рис. 4. Зависимость прочности при изгибе (1) и сжатии (2) от вида добавки, где ЦП – образцы цементно-песчаного раствора 1:4; Б33 – бетоны с 33 % САЦО; Б33С – бетоны с 33 % САЦО и 10 % силиката натрия; Б33П – бетоны с 33 % САЦО и 10 % ПВА

Результаты исследования водопоглощения БИСАЦО по массе (W_m) представлены на рис. 5.

Из рисунка 5 видно, что наибольшее водопоглощение наблюдается у материала Б33С (33 % САЦО + 10 % силиката натрия). Причиной этого является наибольшая пористость этого материала. Напротив, материалы с наибольшей поверхностной плотностью и, соответственно, меньшей пористостью, имеют наименьшее водопоглощение (Б33, Б33П).

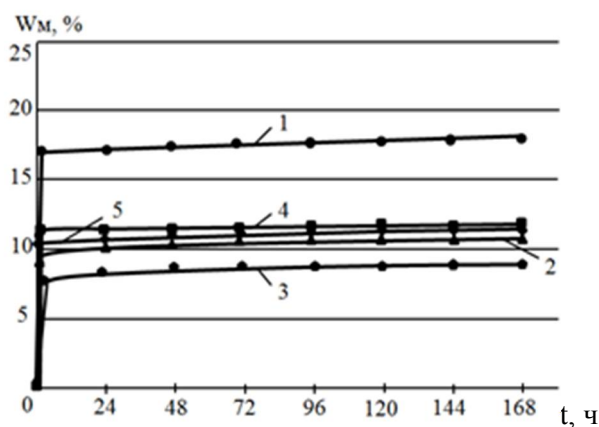


Рис. 5. Зависимость водопоглощения материала по массе от времени замачивания бетона (1 - ЦП, 2 - Б33, 3 - В33П, 4 - Б33С, 5 - Ф2)

Бетоны с сухим асбестоцементным наполнителем составов Б33, Б33С, Б33П, ЦП и Ф2 (фракция 10–20 мм) были подвержены 40 циклам замораживания-оттаивания [7, 8]. Результаты измерения прочности при сжатии сведены в таблицу 1.

Морозостойкость материала непосредственно связана с его водопоглощением, поэтому материалы с наибольшим водопоглощением выдержали наименьшее количество циклов «замораживания-оттаивания». Наибольшую марку по морозостойкости показали материалы Б33 и Б33П, поэтому дальнейшие исследования проводили с данными материалами. Б33С в дальнейшем не изучался, в связи с нерациональностью дополнительных исследований.

Таблица 1

Результаты определения морозостойкости

Наименование материала	Количество циклов «замораживания-оттаивания»	Снижение прочности на сжатие, %	Уменьшение массы материала, %	Марка морозостойкости согласно ГОСТ 10060.0-95
ЦП	25	19,4	2,56	F20
Б33	30	20	3,12	F30
Б33П	40	22,3	2,75	F40
Б33С	15	22,4	3,15	F15
Ф2	25	19,8	4,21	F25

Закономерности разрушения БИСАЦО при поперечном изгибе были также изучены в широком диапазоне постоянных напряжений и температур. В результате испытаний фиксировали время до разрушения (долговечность). Исследования основаны на термофлуктуационной (кинетической) концепции. При этом долговечность материалов с позиции термофлуктуационной концепции разрушения описывается уравнением [9]:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right]$$

τ_m , U_0 , γ и T_m – физические константы материала: τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(моль·МПа); T_m – предельная температура существования твёрдого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); τ – время до разрушения (долговечность), с; σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

Полученные экспериментальные результаты обрабатывали в координатах логарифм долговечности ($\lg \tau$) от напряжения (σ) при указанных постоянных температурах, см. рис. 6.

По полученным зависимостям графоаналитическим методом [10] были определены физические константы, значения которых представлены в табл. 2.

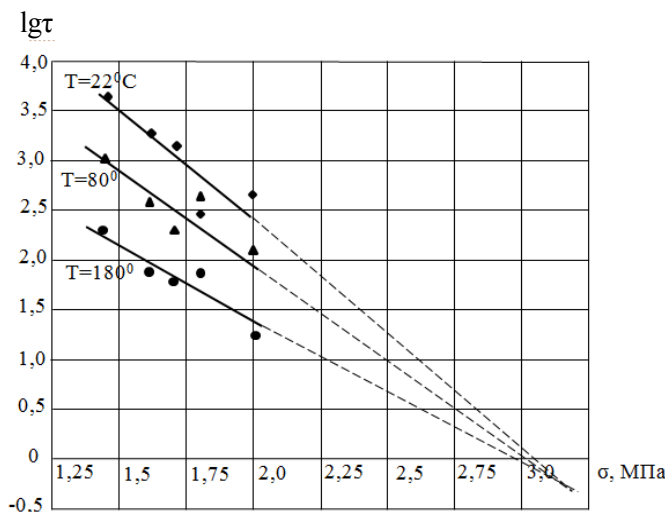
Подставив значения констант в уравнение можно прогнозировать долговечность исследуемых материалов при заданных параметрах эксплуатации [11].

Плиты из БИСАЦО можно использовать в качестве облицовочных панелей на металлическом каркасе, прикрепляемые к наружным стенам зданий. Ориентировочные геометрические размеры данных панелей можно принять 600×600×20 мм. Основным воздействием, образующим поперечный изгиб из плоскости панели, является ветровая нагрузка. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли следует определять по формуле [12]

$$w_m = w_0 k c$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления, для II ветрового района равно 0,3 кПа; k – коэффициент, учитывающий изменение давления по высоте, для типа местности «А» на 10-метровой высоте равен 1,0; c – аэродинамический коэффициент, для наветренной стороны равен +0,8. Отсюда следует, ветровая нагрузка на панель равна $w_m = 0,3 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,24$ кПа.

а)



б)

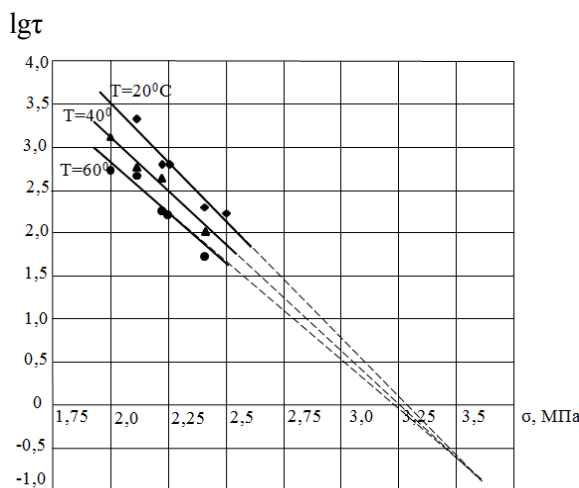


Рис. 6. Зависимости времени до разрушения от напряжения при поперечном изгибе БИСАЦО Б33 (а), БИСАЦО Б33П (б)

Таблица 2

Значения физических констант уравнения при поперечном изгибе для БИСАЦО

Вид материала	U_0 , кДж/моль	T_m , К	$lg\tau_m$	γ , кДж/(моль·МПа)
Б33	45,6	3125	-0,32	13,9
Б33П	70,5	1401,9	-0,906	19,3

Определяем напряжение [13], действующее в плите

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{w_m l^2}{t^2} = \frac{3}{2} \frac{0,24 \cdot 0,6^2}{0,02^2} = 0,324 \text{ МПа} .$$

При данной нагрузке и температуре +5 °С, что соответствует среднегодовой для Тамбова [14], продолжительность работы составляет:

- Б33 – 5,8 лет;
- Б33П – 62,5 года.

Выводы.

- 1) Разработан композитный материал с использованием в качестве наполнителя утилизированных асбестоцементных отходов.
- 2) Изучена, зависимость прочности от зернового состава наполнителя. Показано, что

оптимальным составом для работы при сжатии являются составы с фракцией наполнителя 0...5 мм и 10...20 мм, концентрации 33 и 40 % соответственно. Для работы при поперечном изгибе оптимальным является состав с фракцией наполнителя 0...5 мм концентрации 33 % по массе.

3) Определено влияние добавок поливинилацетата и жидкого стекла на физико-механические характеристики бетона. Положительное воздействие оказывает добавка 10 % ПВА.

4) Исследовано влияние климатических факторов (циклов «замораживания-оттаивания») на прочностные свойства бетона. Установлено, что наибольшее количество циклов выдержал материал с 33 % содержанием САЦО и 10 % ПВА

по массе. Прочность данного материала незначительно уменьшилась только после 40 циклов «замораживания-оттаивания».

5) Изучены закономерности разрушения БИСАЦО в широком диапазоне заданных постоянных напряжений и температур с позиции кинетической (термофлуктуационной) концепции прочности. Выявлены аналитические зависимости связывающие основные параметры работоспособности – время эксплуатации, напряжение и температуру. Получены величины физических констант материалов, входящие в данные зависимости и определяющие эти параметры. Определены продолжительности работы материала в реальных условиях в качестве навесных облицовочных панелей фасадов здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко С.И. Мелкозернистые бетоны из отходов промышленности. М.: изд-во АСВ, 1997. 176 с.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979. 476 с.
3. ГОСТ 23732-79 (1993) Вода для бетонов и растворов. Технические условия
4. Ратинов В.Б., Розенберг Г.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1973. 207 с.
5. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высш. шк., 2003. 701 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
7. ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования.
8. ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости.
9. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Химия, 1992. 320 с.
10. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. Издательство: М.: Наука. 1974. 536 с.
11. Ярцев В.П., Репина Е.И., Шверда В.В. Влияние зернового состава наполнителей из асбестоцементных отходов на физико-механические характеристики цементно-песчаного бетона. Вестник ТГТУ. 2018. Том 24. №1. С. 165–170.
12. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. Москва. 2003.
13. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции (Общий курс). Учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991. 767 с.
14. СНиП 23-01-99*Строительная климатология. Москва. 2003.

Информация об авторах

Ярцев Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций зданий и сооружений. E-mail: jarcev21@rambler.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д.

Репина Елена Ивановна, аспирант кафедры конструкции зданий и сооружений. E-mail: rep-ka@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д.

Поступила в марте 2018 г.

© Ярцев В.П., Репина Е.И., 2018

¹Yartsev V.P., ^{1,*}Repina E.I.

¹Tambov State Technical University

Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D

*E-mail: rep-ka@yandex.ru

EFFECT OF ASBESTOS WASTE FILLERS ON PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CEMENT-SAND CONCRETE

Abstract. It is proposed to use asbestos-cement waste of constructive products and designs as a cement-sand concrete filler. The use of asbestos-cement waste as a concrete aggregates is limited. The main part of waste is disposed into dumps which leads to the environmental pollution. Waste of broken slate and asbestos-cement pipes are separated in fractions of 0...5, 10...20 and 20...40 mm. The effect of asbestos-cement wastes on the physico-mechanical properties and durability of cement-sand concrete is investigated. The optimal concentration and the grain size of the fillers are established. The values of strength, water absorption limit and durability under specified operating parameters of the cement-sand concrete are determined. The effect of liquid supplements on the durability and frost resistance of concrete is investigated. Polyvinyl acetate glue (PVA) and sodium silicate are used as active additives. Compositions of concrete with the highest performance

are developed. The long-term mechanical testing of compositions from the standpoint of the thermofluctuational (kinetic) concept of destruction is conducted. Values of the thermofluctuational constants, which reflect the physical and chemical structure of materials are obtained. The interpretation of the mechanism of concrete samples destruction in a wide range of loads and temperatures is given. The method of calculation and prediction of mechanical durability in actual operating conditions is proposed. Examples of the durability calculation for concrete cladding panels on a metal frame are given.

Keywords: cement-sand concrete, asbestos-cement waste, optimum concentration, the liquid active additive, water absorption, frost resistance, durability.

REFERENCES

1. Pavlenko S.I. Fine-Grained concrete from industrial waste. M.: publishing house DIA, 1997, 176 p.
2. Volzhensky A.V., Burov Yu.S., Kolokolnikov V.S. Mineral binders. M.: Stroyizdat, 1979, 476 p.
3. GOST 23732-79 (1993) water for concrete and mortar. Technical conditions.
4. Ratinov V.B., Rosenberg I.G. concrete and concrete products. M.: Stroyizdat, 1973, 207 p.
5. Rublev I.A. Construction materials. M.: Higher. SHK., 2003, 701 p.
6. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete and reinforced concrete products. M.: Stroyizdat, 1984, 672 p.
7. GOST 10060.0-95 Concrete. Methods for determining frost resistance. General requirements.
8. GOST 10060.1-95 Concrete. The basic method for the determination of frost resistance.
9. Ratner S.B., Yartsev V.P. Physical mechanics of plastics. How to predict the performance? M.: Chemistry, 1992, 320 p.
10. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E. Kinetic nature of solids strength Publisher: M.: Nauka, 1974, 536 p.
11. Yartsev V.P., Repina E.I., Sheverda V.V. Influence of grain composition of asbestos-cement waste aggregates on physical and mechanical characteristics of cement-sand concrete. Vestnik TGTU, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 165–170.
12. SNiP 2.01.07-85 * Loads and impacts. Moscow. 2003.
13. Baikov V.N., Sigalov E.E. Reinforced Concrete structures (General course). Studies' for universities. 5th ed.. M.: Stroyizdat, 1991, 767 p.
14. SNiP 23-01-99 Building climatology. Moscow, 2003.

Information about the author

Yartsev, Viktor P. PhD, Professor. E-mail: jarcev21@rambler.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D.

Repina, Elena I. Postgraduate student. E-mail: rep-ka@yandex.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D.

Received in March 2018

Для цитирования:

Ярцев В.П., Репина Е.И. Влияние наполнителей из асбоцементных отходов на физико-механические свойства и долговечность цементно-песчаных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 16–22. DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740

For citation:

Yartsev V.P., Repina E.I. Effect of asbestos waste fillers on physico-mechanical properties and durability of cement-sand concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 16–22. DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740