

**КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА ОСНОВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОСФОГИПСОВЫХ
ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В.П. Ярцев, А.Е. Жданов, О.А. Корчагина

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Ключевые слова и фразы: долговечность; термическое расширение; физические константы; фосфогипс.

Аннотация: Предложены и исследованы составы композитных материалов на основе мелкозернистых бетонов с использованием утилизированных фосфогипсовых отходов. Показано, что введение фосфогипса определенной концентрации повышает эксплуатационные характеристики мелкозернистых бетонов (долговечность, сопротивление тепловому расширению) в широком диапазоне нагрузок и температур.

Актуальной мировой проблемой является разработка ресурсосберегающих и безотходных технологий. Проблемы утилизации отходов промышленности являются основной задачей современного строительного материаловедения. Находящиеся в отвалах отходы производства и строительный мусор зачастую пригодны для повторного использования в качестве активных или пассивных добавок в новые материалы. В связи с этим нами было принято решение использовать бой стекла и фосфогипсовые отходы производства минеральных удобрений в качестве компонентов мелкозернистого бетона.

Бой стекла и фосфогипс (ФГ) являются многотоннажными и весьма обременительными отходами. Так, при производстве 1 т минеральных удобрений по дигидратной схеме экстракции фосфорной кислоты образуется до 4,5 т фосфогипсовых отходов, состоящих более чем на 90 % из двухводного гипса. Накопленные запасы отходов в России превысили 200 млн т, ежегодно они увеличиваются более чем на 10 млн т [1]. Также ежегодно в России образуется около 0,5 млн т стекольных отходов, – преимущественно боя бутылок [2].

В мире, в том числе и в России, проведен большой комплекс работ по изучению свойств ФГ, технологий его переработки и направлений его

Ярцев В.П. – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Жданов А.Е. – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: andrey_zhdanov@mail.ru; Корчагина О.А. – кандидат химических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ТамбГТУ, г. Тамбов.

использования в народном хозяйстве. Уровень использования ФГ в прошлые годы достигал порядка 2,5 млн т/год, то есть более 10 % годового выхода. Однако в настоящее время, из-за дороговизны энергоносителей, транспортных перевозок, сокращения объема строительства, потребление ФГ снизилось практически до 0,5 %, это обосновано еще и тем, что Россия входит в число стран-лидеров по запасам природного гипса и ангидрита [3].

В Тамбовской области отвалы ФГ ОАО «Уваровский химический завод» (г. Уварово) занимают площадь более 7 км², ФГ, находящийся в отвалах, не используется. Известны работы исследователей по вовлечению ФГ в строительство, но эти работы немногочисленны, и в них описано использование вяжущих, полученных при обжиге ФГ. Как правило, для того чтобы подвергнуть обжигу ФГ, необходимо его отмыть от примесей. Этот путь далеко не экономичен, но наиболее распространен. Мы же поставили своей целью разработать материалы без дополнительной подготовки ФГ, то есть использовать тот материал, который находится в отвалах химического завода.

Фосфогипс, отобранный с отвала ОАО «Уваровский химический завод», представляет собой бело-серую, рыхлую массу влажностью от 15 до 30 % и слабой реакцией, соответствующей 0,03 N раствору кислоты (рН 4). По дисперсности ФГ подобен пылеватому песку, в гранулометрическом составе которого преобладают частицы крупной пыли (частицы размером 0,05...0,01 мм).

Нами проведены испытания кратковременных и длительных прочностных свойств композитных материалов на основе мелкозернистого бетона с заполнителем из ФГ, в сочетании с песком в различных процентных соотношениях по массе ФГ:П, в качестве вяжущего для изготовления бетона использовался портландцемент. Изучено процентное влияние содержания по массе ФГ в заполнителе мелкозернистого бетона на его прочностные качества. Эффективное содержание ФГ в мелкозернистом бетоне по массе – не более 70 % от массы заполнителя.

По результатам исследований рекомендовано использовать в качестве заполнителя мелкозернистого бетона ФГ в сочетании с песком средней крупности в соотношении 1:1. Для повышения прочности в состав мелкозернистого бетона вводили отходы оконного стекла. Стекло предварительно дробилось и распределялось по фракциям путем просеивания через набор сит. По результатам исследований оптимальным составом являются образцы с содержанием по массе 33 % от фосфогипсо-песчаной (ФГ-П) составляющей и боя стекла с размерами зерен 0,63 мм [1].

Новым направлением в технологии мелкозернистых бетонов является дисперсное армирование [4, 5]. В качестве дисперсного армирования нами было решено применять стеклянные волокна марки ЕС13-840-ПА-6. Такое армирование позволяет создавать и эксплуатировать несущие конструкции в условиях высокоагрессивной среды и при значительной нагрузке, а также создавать конструкции новых форм для особых условий эксплуатации [5].

Армирование бетона стекловолокном представляет собой дисперсное армирование, которое равномерно распределено по объему образцов в виде отрезков волокон. Для выбора оптимального состава изготавливали образцы с содержанием 0, 5, 10, 15, 20, 25 % стекловолокна ЕС13-840-ПА6

по массе. По результатам исследования оптимальным составом являются образцы с содержанием по массе 15 % стекловолокна марки ЕС13-840-ПА-6.

Длительные испытания проводили в режиме заданных постоянных напряжений σ и температур T (18, 40, 80 °С), фиксируя время от момента нагружения до разрушения образца τ .

При длительных испытаниях в режиме заданных постоянных напряжений и температур экспериментальные результаты обрабатывали в координатах $\lg\tau$ – σ при указанных температурах. Полученные зависимости представляют собой семейства веерообразных прямых (рис. 1) и описываются уравнением [6, 7]

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

где τ_m , U_0 , γ и T_m – физические константы; τ_m – период колебания кинетических единиц; U_0 – максимальная энергия активации разрушения; γ – структурно-механическая константа; T_m – предельная температура существования твердого тела; R – универсальная газовая постоянная; σ – напряжение; T – температура; τ – долговечность (время до разрушения).

Величины констант определяли графоаналитическим способом (см. рис. 1). Их значения представлены в табл. 1. Для классического мелкозернистого бетона (заполнитель песок) величина смещения температуры полюса близка 0, то есть закономерности разрушения мелкозернистого

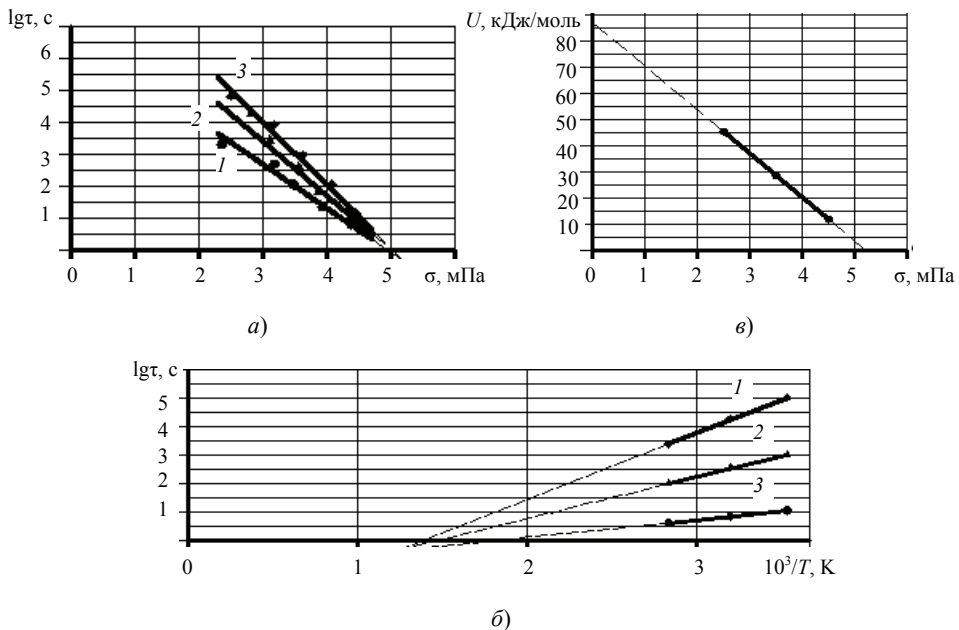


Рис. 1. Зависимости времени до разрушения образца от напряжения (а), обратной температуры (б) и эффективной энергии активации от напряжения (в) при центральном сжатии бетонного композита с фосфогипсо-песчаным заполнителем Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5: а – T , °С: 1 – 10; 2 – 40; 3 – 80; б – σ , МПа: 1 – 2,5; 2 – 3,5; 3 – 4,5

Таблица 1

**Значения физических констант уравнения (1)
для бетонных композитов различного состава**

Состав	Вид нагружения	U_0 , кДж/моль	T_m , К	$\lg \tau_m$	γ , кДж/(моль·МПа)
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5	Центральное сжатие	87	806,45	-0,36	16,73
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5; 33 % стекла с размером частиц 0,63 мм		67,8	2590,67	-0,5	7,60
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5; 15 % стекловолокна	Поперечный изгиб	84	900,9	-1,48	17,46
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5; 33 % стекла с размером частиц 0,63 мм		69,8	3067,48	-1,46	12,22

бетона описываются уравнением С.Н. Журкова в чистом виде [6, 7], для мелкозернистого бетона с использованием утилизируемых фосфогипсовых отходов и отходов боя стекла по формуле (1).

Подставив величины констант в формулу (1), можно рассчитать долговечность бетонных композитов с фосфогипсо-песчаным заполнителем при сжатии и поперечном изгибе в широком диапазоне основных эксплуатационных параметров – температур и нагрузок.

При воздействии повышенных температур происходит изменение размеров бетона, вызывающее в материале значительные термические напряжения. В связи с этим возникает необходимость изучения поведения материала в свободном состоянии при нагревании с заданной скоростью.

Исследования проводили в линейном dilatометре на образцах бетона при определенной скорости нагрева.

В табл. 2 представлены коэффициенты термического расширения для бетонов различного состава.

Таблица 2

**Значения коэффициента термического расширения
для бетонных композитов различного состава**

Состав бетона	$\alpha \cdot 10^{-4}$, °C ⁻¹
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5	14,1
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5; 15 % стекловолокна	15,7
Ц:ФГ-П = 1:3; В/Ц = 0,5; 33 % стекла с размером частиц 0,63 мм	18,2

По результатам проведенных исследований рекомендованы различные составы композитных материалов на основе мелкозернистых бетонов с использованием утилизируемых фосфогипсовых отходов, боя стекла в качестве компонентов заполнителя бетона, дисперсным армированием стекловолокном, плотностью 1350...1750 кг/м³, морозостойкостью F35...F75 [1, 8, 9].

Список литературы

1. Жданов, А.Е. Повышение прочности мелкозернистого бетона с заполнителем из фосфогипса введением отходов стекла / А.Е. Жданов // Тр. Тамб. гос. техн. ун-та: сб. науч. статей молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – Вып. 21 – С. 185–188.
2. Ильин, В.О. Повышение прочности мелкозернистого бетона введением отходов стекла / В.О. Ильин, А.В. Жирков, В.П. Ярцев // Эффектив. строит. конструкции: теория и практика : сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 262–264.
3. Ферронская, А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) справочник / А.В. Ферронская. – М. : АСВ, 2004. – 488 с.
4. Хрулев, В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства : учебник / В.М. Хрулев. – Уфа : ТАУ, 2001. – 168 с.
5. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции : монография / Ф.Н. Рабинович. – М. : АСВ, 2004. – 560 с.
6. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел : учебник / В.Р. Регель. – М. : Наука, 1974. – 500 с.
7. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
8. Жданов, А.Е. Мелкозернистые бетоны из фосфорсодержащих отходов производства минеральных удобрений / А.Е. Жданов, В.П. Ярцев // XI Междунар. науч.-практ. конф. «Экономика природопользования и природоохраны» : сб. ст. науч.-практ. конф. – Пенза, 2008. – С. 134–136.
9. Жданов, А.Е. Влияние многотоннажных отходов промышленности на прочность и долговечность мелкозернистого бетона / А.Е. Жданов, А.В. Пучин, В.П. Ярцев // VI-ая Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. «Состояние современной строительной науки – 2008». – Полтава, 2008. – 193 с.

Composite Materials Based on Fine Grain Concrete Using Phosphogypsum Waste of Mineral Fertilizers

V.P. Yartsev, A.E. Zhdanov, O.A. Korchagina

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: durability; phosphogypsum; thermal; expansion; physical constants.

Abstract: The paper proposes and studies the composition of composite materials based on fine grain concrete using utilized phosphogypsum waste; it is shown that introduction of phosphogypsum of certain concentration improves the working characteristics of fine grain concrete (durability, heat expansion resistance) in a wide range of load and temperature.

© В.П. Ярцев, А.Е. Жданов, О.А. Корчагина, 2010