

УДК 691.322.7

**ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ, ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЕ ОТХОДАМИ
ЩЕЛОЧЕСТОЙКОЙ СТЕКЛОСЕТКИ****канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЁНОВА; В.А. ХВАТЫНЕЦ
(Полоцкий государственный университет)**

Приведены данные по влиянию дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на прочность и плотность пено-, газо- и полистиролбетонов. Определено оптимальное количество и длина волокон щелочестойкой стеклосетки. Показано, что длина волокон в составе стеклосетки должна составлять 20...30 мм. Количество щелочестойкой стеклосетки для пенобетонов плотностью 300...400 кг/м³ должно быть не более 1% от массы вяжущего, для полистиролбетона плотностью 400...500 кг/м³ – 10%; для газобетона плотностью 1050 кг/м³ – 5...8%. Установлено, что дисперсное армирование отходами щелочестойкой стеклосетки увеличивает прочность пенобетонов на 42,9%, газобетонов – на 15,4 и полистиролбетонов – на 5,9%. Методами микроскопического анализа определено наличие гидратационных образований на площади от 10 до 20% поверхности волокон стеклосетки, извлеченных из пенобетона.

Ключевые слова: пенобетон, газобетон, полистиролбетон, прочность, щелочестойкая стеклосетка, длина волокон, дисперсное армирование.

Введение. Развитие малоэтажного и каркасного домостроения требует постоянного совершенствования стеновых материалов, изготавливаемых по ресурсо- и энергосберегающим технологиям. К числу таких материалов относятся блоки и монолитные конструкции стен из неавтоклавных легких бетонов: пенобетонов, газобетонов, полистиролбетонов. Факторами, сдерживающими применение неавтоклавных легких бетонов, являются низкая прочность и усадка при твердении, трещинообразование.

В качестве мер, позволяющих исключить возможность проявления усадочных деформаций и повысить прочность легкого бетона при низких показателях плотности, широко применяется дисперсное армирование волокнами, отличающимися по своему составу от материала матрицы и способными в процессе работы бетона воспринимать более высокие по сравнению с матрицей растягивающие напряжения. Дисперсное армирование может осуществляться базальтовой, полиамидной, стеклянной, полимерной фиброй или смесью разных волокон.

Эффективность фибрового армирования зависит от объемного содержания фибры и их механических и термохимических свойств, от соотношения между параметрами фибровой арматуры и параметрами структуры бетонной матрицы, длины фибры и уровня дисперсности армирования. Длина и дозировка волокон оказывают существенное влияние на прочностные свойства бетона [1].

Практика показывает, что при производстве и эксплуатации конструкций из дисперсно-армированных бетонов сталкиваются с проблемами низкой химической стойкости волокон в среде твердеющего цементного теста, высокой стоимости и дефицита волокон, ухудшения технологических характеристик бетонной смеси. В этой связи представляют практический интерес отходы щелочестойкой стеклосетки ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

Материалы и методика проведения исследований. Отходы представляют собой обрезки кромки щелочестойкой стеклосетки ССШ-160(100)-1800/1800. Номинальная масса стеклосетки составляет 160 г/м²; разрывная нагрузка – 1800 Н; стеклосетка характеризуется высокой химической устойчивостью и низкой электрической проводимостью. Для получения фибры кромку нарезали на отдельные отрезки, получая «мини-сетки» размером 15×15 мм; 15×20 мм; 10×15 мм; 10×20 мм (рисунок 1).

Для изучения влияния дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на макроструктуру и прочность легких бетонов были изготовлены образцы пенобетона плотностью 300...400 кг/м³, полистиролбетона плотностью 400...500 кг/м³ и газобетона плотностью 1050 кг/м³. Образцы формировались с различным процентным содержанием стеклосетки относительно массы цемента. Образцы в форме куба с ребром 100 мм через 28 суток нормально-влажностного твердения испытывались на сжатие по ГОСТ 10180-2012 [2] на испытательном прессе ПГМ-500МГ4А, скорость нагружения 0,2 кН/с.

Для изготовления легких бетонов использовались: портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» СЕМ I 42,5Н; песок карьера «Боровое»: модуль крупности $M_{кр} = 2,1$, насыпная плотность 1650 кг/м³, плотность зерен 2650 кг/м³, содержание пылеватых и глинистых частиц 2,8%, пустотность 39,2%, влажность 0,01%; протеиновый пенообразователь FoamInC с показателем кратности пены, равным 80; воздухововлекающая добавка – алюминиевая пудра ПАП-2 и пенополистирольная крошка фракции 1...7 мм.



Рисунок 1. – Отходы щелочестойкой стеклосетки

Экспериментальные исследования. Расход материалов для получения образцов пенобетона составил: цемент – 300 кг/м^3 ; вода – 120 кг/м^3 ; пенообразователь – $3,3 \text{ кг/м}^3$, содержание отходов стеклосетки – 1%, 1,5 и 2% от массы цемента. Влияние дисперсного армирования отходами стеклосетки на прочность и плотность пенобетона представлено на рисунках 2 и 3.

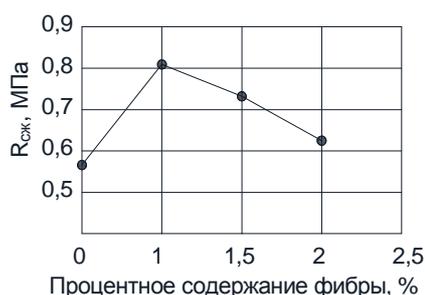


Рисунок 2. – Влияние дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на прочность пенобетона

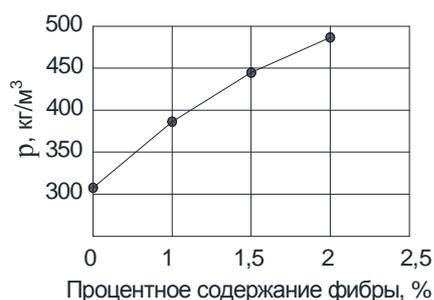


Рисунок 3. – Влияние дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на плотность пенобетона

Экспериментально установлено увеличение плотности с увеличением в составе пенобетона количества стеклосетки. Данный эффект связан с тем, что плотность стеклосетки превышает плотность пенобетона. Прочность пенобетона на сжатие увеличилась при содержании стеклосетки в количестве 1% на 42,9%, при дальнейшем увеличении процентного содержания стеклосетки до 2% прочность снижается, но при этом остается выше значение прочности контрольного неармированного образца на 10,4%. Очевидно, что дальнейшее увеличение количества стеклосетки нецелесообразно.

Дисперсное армирование отходами стеклосетки изменило характер разрушения образцов пенобетона – оно стало менее хрупким. После силового воздействия образцы сохраняли свою первоначальную форму тем лучше, чем больше содержалось стеклосетки в их составе. Волокна стеклосетки тормозили развитие микродефектов в цементном камне. Это происходило до тех пор, пока не было преодолено сопротивление волокон на разрыв или не нарушено их сцепление с цементной матрицей.

Для изучения степени сцепления волокон стеклосетки с цементным камнем пенобетона из образца механическим путём было извлечено волокно. Исследование волокон под микроскопом Альтами ПОЛАРЗ с 200-кратным увеличением показало наличие гидратационных образований, которые в результате адгезии покрывают от 10 до 20% поверхности (рисунок 4). Данный показатель является косвенной характеристикой величины сцепления стеклосетки с цементной матрицей и свидетельствует о его низком значении.

Для получения газобетона использовались: портландцемент – 267 кг/м^3 ; песок – 333 кг/м^3 ; вода – 267 кг/м^3 ; алюминиевая пудра ПАП-2 – $0,8 \text{ кг/м}^3$. Содержание отходов стеклосетки – 2%, 5 и 8% от массы цемента. Порядок приготовления раствора для получения газобетона включал два этапа: сначала в одной

чаше смешивались цемент, песок, стеклосетка и 80% объема воды, а в другой – алюминиевая пудра и оставшиеся 20% объема воды. Затем в содержимое второй чаши добавлялось содержимое первой и тщательно перемешивалось в течение двух минут. После перемешивания смесь разливалась по формам, при этом наблюдался процесс увеличения в объеме. После выдержки 24 часа срезался верхний слой образцов.

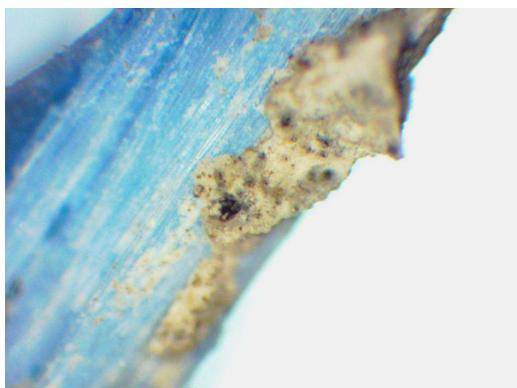


Рисунок 4. – Скопление продуктов гидратации на поверхности волокон стеклосетки

Результаты определения прочности газобетона, дисперсно-армированного отходами стеклосетки, представлены на рисунке 5.

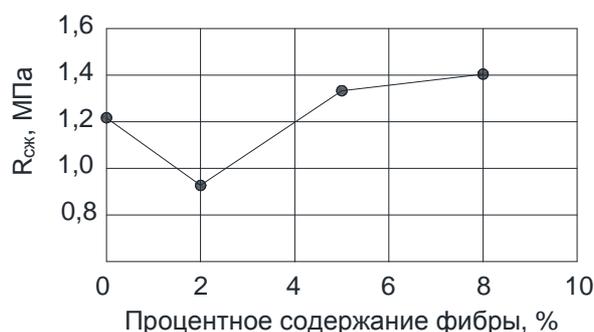


Рисунок 5. – Влияние дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на прочность газобетона

Экспериментально установлено, что при содержании стеклосетки в газобетоне в количестве 2% от массы цемента прочность на сжатие уменьшается на 23,8%. При дальнейшем увеличении процентного содержания стеклосетки прочность газобетона на сжатие увеличивается и достигает максимального значения 1,4 МПа при содержании стеклосетки в количестве 8% от массы цемента, что превышает прочность контрольного образца на 15,4%.

Таким образом, определено, что введение отходов производства стеклосетки в газобетонную смесь в количестве не менее 5% от массы цемента позволяет увеличить прочность на сжатие газобетона, при этом плотность газобетона, которая составляла для контрольного образца 1050 кг/м³, осталась без изменений.

Изучение влияния дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки на прочность при сжатии и плотность полистиролбетона выполнялось путем проведения двухфакторного эксперимента. В качестве варьируемых параметров приняты: длина волокон в составе стеклосетки (X1) и процентное содержание стеклосетки по отношению к массе цемента (X2) (таблица 1).

Таблица 1. – Уровни варьирования факторов

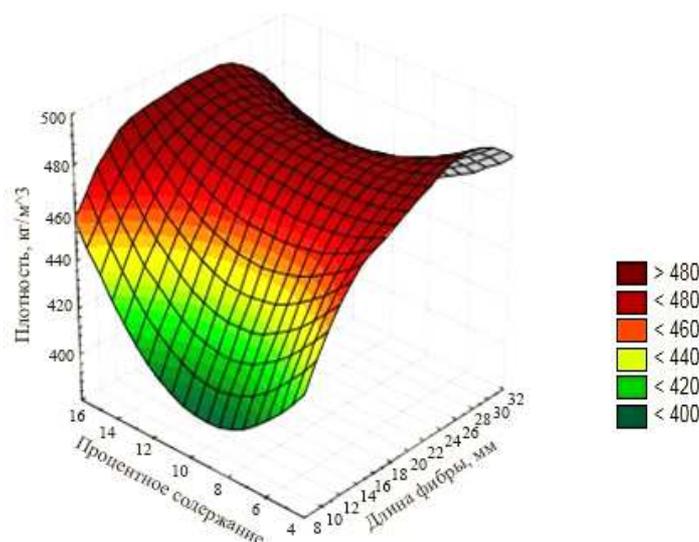
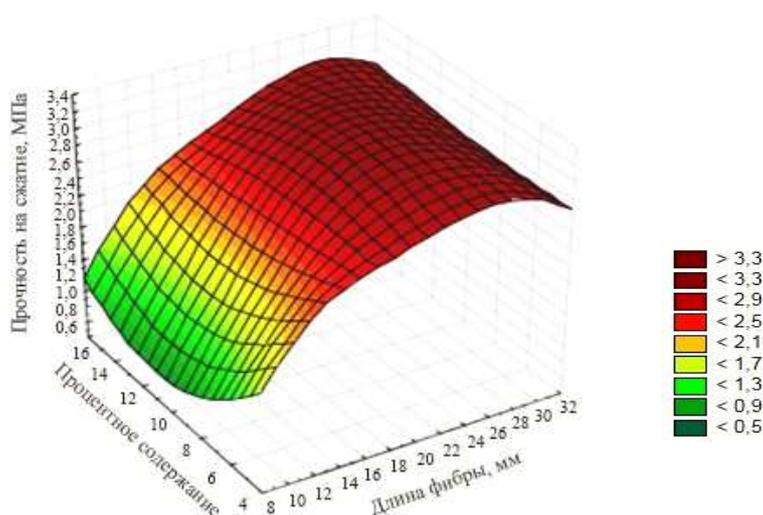
| Уровни варьирования | Входные параметры | |
|---------------------|--|--|
| | длина волокон в составе стеклосетки (X1), мм | процентное содержание стеклосетки по отношению к массе цемента (X2), % |
| -1 | 10 | 5 |
| 0 | 20 | 10 |
| +1 | 30 | 15 |

Для приготовления полистиролбетона использовался портландцемент – 600 кг/м³, вода – 300 кг/м³ и пенополистирольная крошка – 1 м³. План эксперимента и полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. – План эксперимента и результаты определения прочности и плотности полистиролбетона, дисперсно-армированного отходами стеклосетки

| Состав | План эксперимента | | Плотность, кг/м ³ | Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 28 сут |
|--------|-------------------|----|------------------------------|---|
| | X1 | X2 | | |
| 1 | -1 | -1 | 437,8 | 1,838 |
| 2 | -1 | 0 | 416,0 | 1,227 |
| 3 | -1 | +1 | 457,1 | 1,498 |
| 4 | 0 | -1 | 479,5 | 2,870 |
| 5 | 0 | 0 | 480,6 | 3,071 |
| 6 | 0 | +1 | 486,9 | 2,755 |
| 7 | +1 | -1 | 479,5 | 2,864 |
| 8 | +1 | 0 | 461,4 | 2,861 |
| 9 | +1 | +1 | 471,3 | 2,946 |
| 10 | 0 | 0 | 520,5 | 2,901 |

По полученным данным в программе STATISTICA 10 построены поверхности отклика прочности на сжатие (рисунок 6) и плотности полистиролбетона (рисунок 7).



Экспериментально установлено (см. рисунок 6), что при армировании полистиролбетона стеклосеткой с длиной волокон 20 мм в количестве 10% от массы вяжущего прочность на сжатие достигла максимального значения и составила 3,07 МПа. Армирование полистиролбетона стеклосеткой с длиной волокон 10 мм не только не дает положительного эффекта, а, наоборот, приводит к потере прочности на сжатие. Оптимальной является длина волокон, равная 20...30 мм.

Результаты эксперимента показали, что армирование полистиролбетона отходами стеклосетки может приводить как к снижению, так и к увеличению плотности полистиролбетона (см. рисунок 7). При введении 10% стеклосетки с длиной волокон 10 мм получена плотность, равная 416 кг/м³. При введении 15% стеклосетки с длиной волокон 20 мм плотность составила 485 кг/м³.

Заключение. Отходы производства щелочестойкой стеклосетки ОАО «Полоцк-Стекловолокно» могут использоваться для дисперсного армирования лёгких бетонов.

Дисперсное армирование отходами щелочестойкой стеклосетки *увеличивает прочность пенобетонов* плотностью 300...400 кг/м³ на 42,9%, газобетонов плотностью 1050 кг/м³ – на 15,4% и полистиролбетонов плотностью 400...500 кг/м³ – на 5,9%.

Оптимальное для повышения прочности легких бетонов количество щелочестойкой стеклосетки для пенобетонов плотностью 300...400 кг/м³ составляет 1% от массы вяжущего; для полистиролбетона плотностью 400...500 кг/м³ – 10% от массы вяжущего; для газобетона плотностью 1050 кг/м³ – 5...8% от массы вяжущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенова, Л.М. Эффективность армирования бетонов волокнами нитрона / Л.М. Парфенова // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 72–77.
2. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.07.2013. – М. : НИИЖБ – филиал ФГУП «НИЦ “Строительство”», 2013. – 37 с.

Поступила 04.06.2018

LIGHTWEIGHT CONCRETE DISPERSED-REINFORCED WASTE ALKALI-RESISTANT GLASS MESH

L. PARFENOVA, V. KHVATYNEC

The article presents data on the effect of disperse reinforcement with alkali-wool glass waste on the strength and density of foam, gas and polystyrene concrete. The optimal number and length of fibers of alkali-resistant glass mesh is determined. It is shown that the length of the fibers in the glass mesh should be 20...30 mm, the amount of alkali-resistant glass mesh for foam concrete density 300...400 kg/m³ should be no more than 1% of the binder mass, for polystyrene concrete, density 400...500 kg/m³ – 10% of the weight of the binder; for aerated concrete, with a density of 1050 kg/m³ – 5...8% of the mass of the binder. It has been established that disperse reinforcement with waste of alkali-resistant glass mesh increases the strength of foam concrete by 42,9%, aerated concrete by 15,4% and polystyrene concrete by 5,9%. By the methods of microscopic analysis, the presence of hydration formations on an area of 10 to 20% of the surface of the fiber glass fibers extracted from the foam concrete was determined.

Keywords: foam concrete, aerated concrete, polystyrene concrete, strength, alkali-resistant fiberglass mesh, fiber length, dispersed reinforcement.