

## **Адгезия композитной арматуры с бетоном**

**В данной статье приведены полученные в ходе экспериментальных исследований результаты изучения взаимодействия композитной стеклопластиковой (АКП) и базальтопластиковой (АБП) арматуры с бетоном, а также сравнения полученных данных исследований с соответствующими требованиями к сцеплению металлической арматуры АЗ периодического профиля.**

Арматура композитная представляет собой материал, состоящий из основы в виде стеклянного или базальтового ровинга (тонкие волокна в диаметре 14-16 мкм, соединенные в пучок) и связующего вещества из синтетической термореактивной смолы (пластика).

Арматура композитная изготавливается способом пультрузии: пропитанные связующим веществом, армирующие волокна протягиваются через горячую формообразующую фильеру; нидлтрузии: без применения фильеры.

Периодический профиль в поперечном сечении формируется методом вдавливания в несущий стержень обматывающего жгута, или путем спиральной обмотки обматывающим жгутом уступов несущего стержня. В зависимости от типа ровинга, показатель временного сопротивления композитной арматуры, составляет 800-1200 МПа для базальтового и 650-800 МПа для стеклопластикового, плотность 2,04 т/м<sup>3</sup> модуль упругости 40-45 ГПа, плотность 2,04 т/м<sup>3</sup>.

В последнее десятилетие в России освоено производство и продажа арматуры композитной неметаллической на основе стеклянного и базальтового ровинга – стеклопластиковой и базальтопластиковой. С целью использования композитной арматуры в строительстве были проведены целенаправленные экспериментальные исследования от прочности до качества сцепления с бетоном, жесткости и трещиностойкости конструкции, армированной композитной арматурой

Эта статья является одним из множества подобных исследований и направлена на экспериментальное изучение сцепления арматуры композитной с бетоном.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Для оценки качества сцепления арматуры в бетоне основным методом в мировой практике является балочный RILEM/CEB/FIP [1], предусматривающий проведение испытаний специальных образцов бетонной армированной балки на изгиб.

Бетонная балка состоит из двух частей, которые соединены между собой в растягиваемой зоне испытываемыми стержнями арматуры, а в сжатой зоне установлен шарнир - две закладные детали и стальной цилиндр между ними. Арматурный испытываемый стержень в середине каждой из частей имеет сцепление с бетоном длиной 10d, где d - диаметр стержня, на остальных участках балки стержень расположен в отдельных трубках, исключая сцепление с бетоном.

Критерием соответствия надежности сцепления стержней , с бетоном с требованиями проектирования, включая EN 1992-1-1 [2] для металлической арматуры, при проведении испытаний балочным способом RILEM/CEB/FIP [1] применимы такие условия:

$$\tau_m \geq 0,098(80 - 1,2d) ,$$

$$\tau_r \geq 0,098(130 - 1,9d) ,$$

где

$\tau_m$  - среднее значение касательного напряжения в МПа сцепления при сдвиге одного свободного конца стержня на расстояние 0,001 мм, 0,1 мм и 1 мм по результатам испытаний;

$\tau_r$  - касательные напряжения при разрушении(выдергивании);

$d$  - диаметр стержня в мм.

### Формулирование цели статьи

Целью экспериментальных исследований является определение параметров сцепления арматуры композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры с бетоном и сопоставлении полученных данных с требованиями (1), (2) к стальной арматуре для армирования железобетонных конструкций.

Проведение экспериментальных исследований включали в себя испытания на сцепление композитной базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры с бетоном балочным методом RILEM/CEB/FIP [1].

В качестве исследуемых образцов для проведения испытаний были приняты стержни стеклопластиковой арматуры диаметром 8 мм, 12 мм и базальтопластиковой арматуры диаметром 8 мм, 10 мм и 12 мм. Композитная арматура была изготовлена методом пультрузии, общий вид образцов арматуры приведен на рис. 1



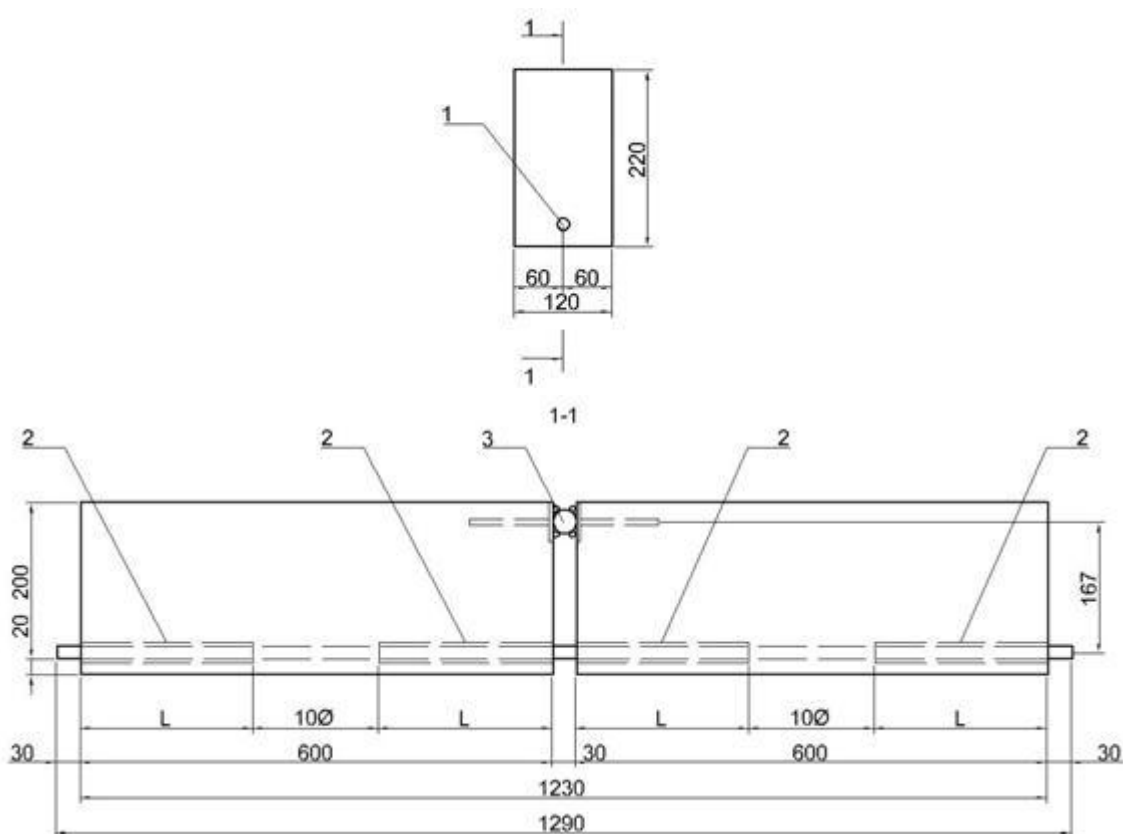
**Рис.1** Общий вид образцов стеклопластиковой (а) базальтопластиковой (б) арматуры.

## Изложение основного материала

Испытуемые образцы (балки) для проведения эксперимента имели прямоугольное поперечное сечение 120x220 мм, полную длину - 1230 мм, длина половинок - 600 мм, зазор между половинками балки - 30 мм (см. рис. 2).

Плечё внутренней пары (расстояние от оси испытуемого стержня до оси цилиндра в сжатой зоне) составляло 167 мм (см. рис. 2). На участках без сцепления испытуемый стержень находился в пластиковых трубках.

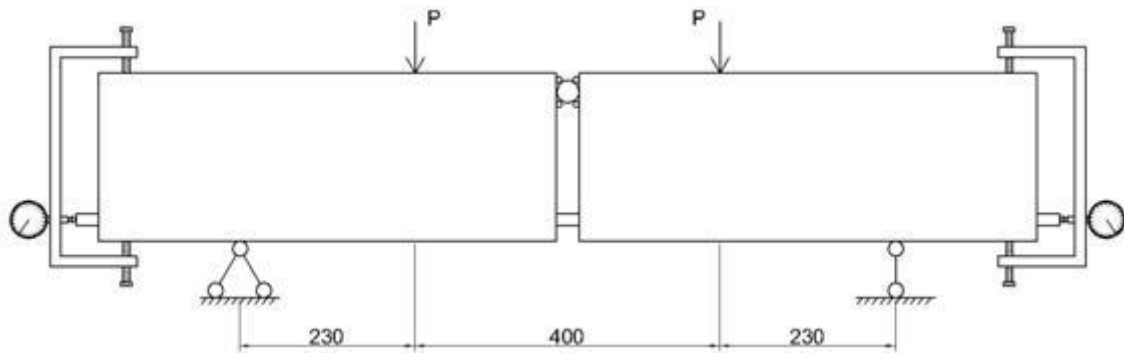
Конструкция балок приведена на рис. 2. Всего испытывалось по 5 балок-близнецов каждого из диаметров стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры.



**Рис.2** Конструкция экспериментальных образцов.

- 1 - композитная арматура
- 2 - пластиковая трубка
- 3 - стальной цилиндр

Балки испытывались двумя сосредоточенными силами. В процессе испытания измерялись перемещения расположенных на торце балок свободного конца исследуемого стержня. Схема испытания балок приведена на рис. 3.



**Рис.3** Схема испытания исследуемых образцов.

Касательные напряжения сцепления с бетоном на длине  $10d$  вычисляются по функции осевого усилия в стержне в середине балки, которое определяется по формуле:

$$N_s = \frac{M}{z}, \quad (3)$$

где

- $M$  - общий момент в сечении, который разделяет балку на половинки;
- $z$  - плечо внутренней пары в сечении, разделяющему балку на две половины, которое равно расстоянию от оси исследуемого стержня до оси цилиндра в сжатой зоне.

Касательные напряжения между исследуемыми арматурными стержнями и бетоном вычисляются по формуле:

$$\tau = \frac{N_s}{A_s - l}, \quad (4)$$

где

- $A_s$  - фактическая площадь поперечного сечения арматурного стержня;
- $l$  - плечо внутренней пары в сечении, разделяющему балку на две половины, которое равно расстоянию от оси исследуемого стержня до оси цилиндра в сжатой зоне.

Исследуемые образцы изготавливались из бетона класса В30 с фракцией крупного заполнителя 10-20 мм.

Схватывание образцов происходило в нормальных условиях, разопалубка производилась на 3-4 сутки после бетонирования. Для контроля прочности бетона на давление (класс бетона) изготавливались кубические образцы размерами 100x100x100 мм.

Испытания образцов (балок и кубов) проводились в возрасте 30-38 суток.

Загрузка образцов осуществлялась пошагово по 0,1 от предполагаемой граничной нагрузки вырыва арматурного стержня из бетона. Величина нагрузки контролировалась опытным динамометром с индикатором стрелочного типа.

Сдвиг свободных концов исследуемого арматурного стержня измерялся индикатором стрелочного типа с границей измерения 1 мм и точностью 0,001 мм.

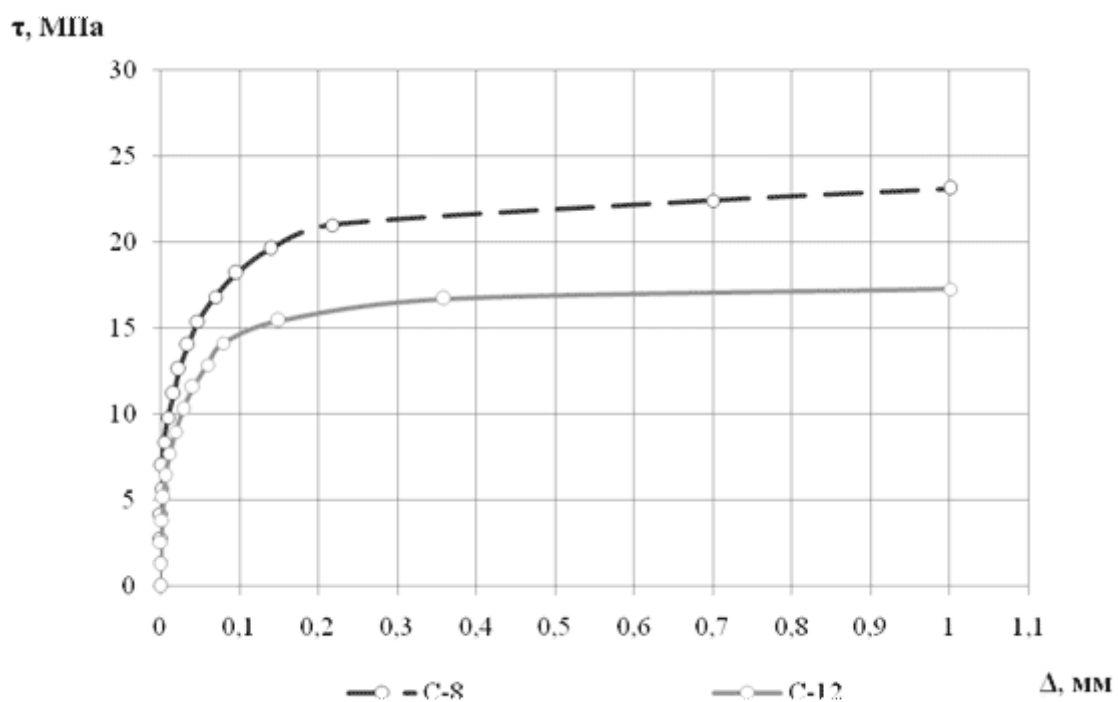
На каждом шаге нагрузки выдерживалось 15 секунд, во время которых снимались показания индикаторов.

Средние данные результатов проведенных экспериментальных исследований по пяти образцам-балкам каждого диаметра и типа арматуры приведены в табл.1 и на рис. 4-7 в виде:

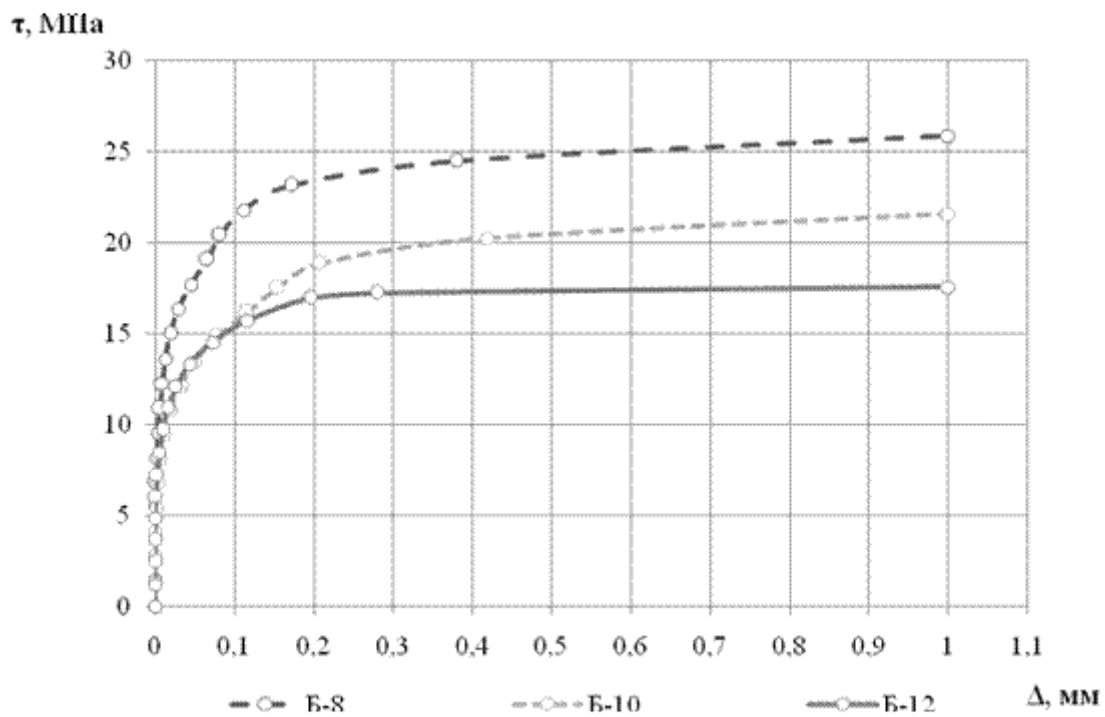
- средних значений исследуемых касательных напряжений  $\tau_m$ ,  $\tau_r$  и нормированных по (1) и (2) (см. табл.1);
- графики средних зависимостей касательных напряжения-деформации сдвига для композитной стеклопластиковой арматуры диаметром 8, 12 мм (см. рис.4);
- графики средних зависимостей касательных напряжения-деформации сдвига для композитной базальтопластиковой арматуры диаметром 8, 10, 12 мм (см. рис.5);
- графики средних зависимостей касательных напряжения-деформации сдвига для композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 8 мм (см. рис.6);
- графики средних зависимостей касательных напряжения-деформации сдвига для композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 12 мм (см. рис.7).

Таблица 1

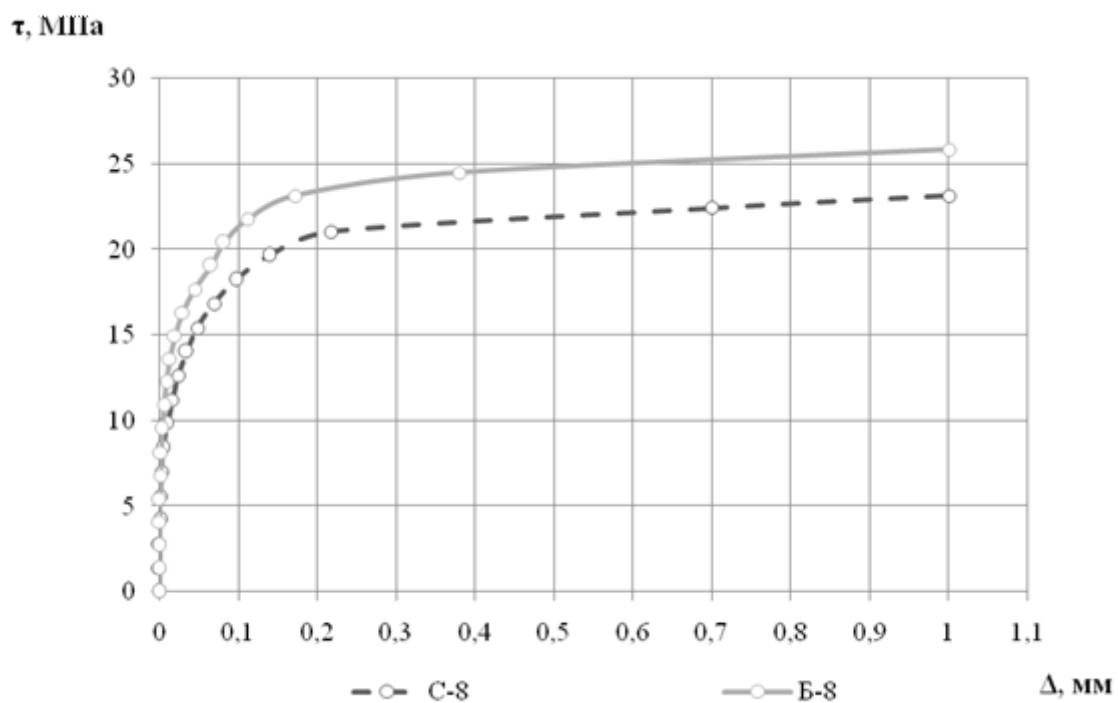
№	Диаметр образца, мм	Тип волокна основы	Средние экспериментальные значения касательных напряжений, МПа		Нормированные значения касательных напряжений по (1) и (2), МПа	
			$\tau_m$	$\tau_r$	$\tau_m$	$\tau_r$
1	8	Стекло	16,00	23,15	6,90	11,25
2		Базальт	18,02	25,84	6,90	11,25
3	10	Базальт	13,84	21,55	6,66	10,88
4	12	Стекло	11,54	17,30	6,43	10,51
5		Базальт	13,34	18,08	6,43	10,51



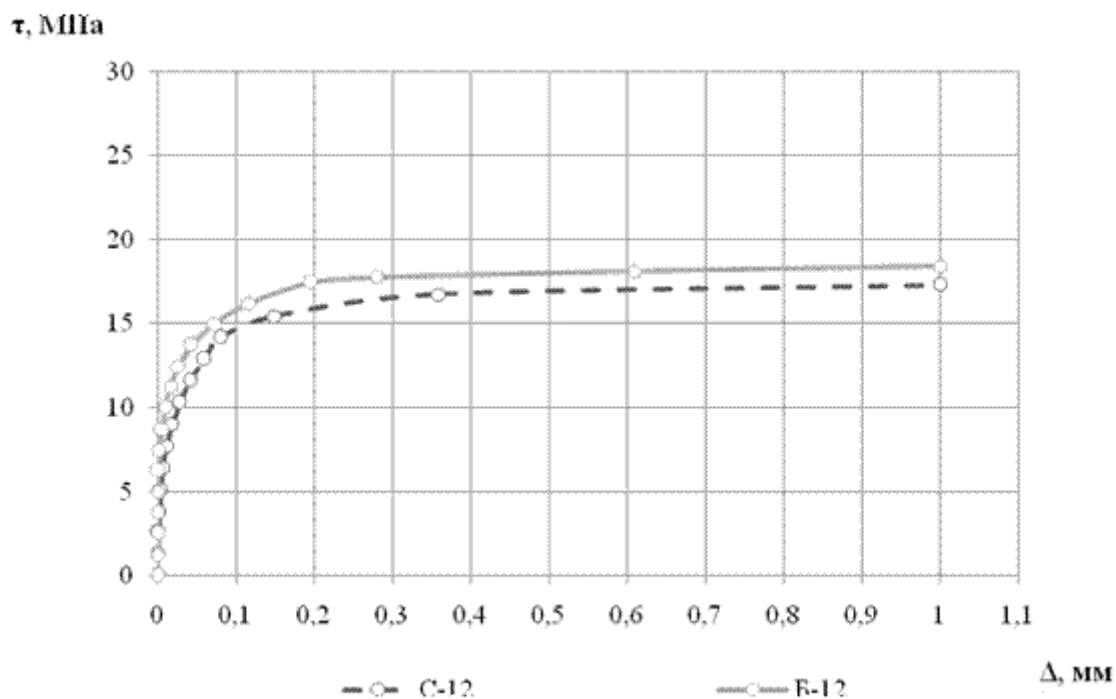
**Рис.4** Зависимость касательных напряжения-деформации сдвига для стеклопластиковой арматуры диаметрами 8, 12 мм.



**Рис.5** Зависимость касательных напряжения-деформации сдвига для базальтопластиковой арматуры диаметрами 8, 10, 12 мм.



**Рис.6** Зависимость касательных напряжения-деформации сдвига для стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 8 мм.



**Рис.7** Зависимость касательных напряжения-деформации сдвига для стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 12 мм.

### Выводы

1. Внешний вид кривых зависимостей касательных напряжения-деформации сдвига для композитной базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры периодического профиля, изготовленного методом пултрузии (см. рис. 4-7), отвечают аналогичным кривым для стальной арматуры традиционного периодического (серповидного) профиля.
2. Полученные контролируемые экспериментальные значения касательных напряжений, (см. табл. 1) для композитной стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры удовлетворяют требованиям EN 1992-1-1 [2] к профилю арматуры, которая применяется для армирования бетонных конструкций.
3. Параметры сцепления с бетоном композитной базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры, полученной методом пултрузии, при других равных условиях, близки (см. рис.1-7), что позволяет использовать для расчета анкерования этой арматуры в бетоне общие зависимости.
4. Учитывая вышеприведенное, для расчета анкерования в бетоне композитной базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры периодического профиля, полученной методом пултрузии, могут быть применены зависимости для стальной арматуры периодического (серповидного) профиля.