

**ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТАНДАРТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 22–23.05.2013)

УДК 678.067.5

**УВЕЛИЧЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ
СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ**

ТАЛЕЦКИЙ В. В.

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Проблема широкого применения стеклопластиковой арматуры в строительстве заключается в низком модуле упругости.

Модуль упругости стальной арматуры 200×10^3 МПа, модуль упругости стеклопластиковой арматуры 50×10^3 МПа [1], что в четыре раза меньше модуля упругости стальной арматуры и соизмерим с модулем упругости бетона, изменяющегося от 19×10^3 МПа до 45×10^3 МПа в зависимости от класса бетона и марки бетонной смеси по удобоукладываемости [2].

Предлагается увеличить модуль упругости за счет размещения стальных стержней внутри стеклопластиковой арматуры и назвать такую арматуру металлопластиковой.

Предполагаем, что при растяжении металлопластиковой арматуры относительные деформации стального стержня и стеклопластиковой оболочки будут одинаковыми и равными относительным деформациям металлопластиковой арматуры:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ст} = \varepsilon_{пл} = \varepsilon_{мп}, \\ \text{или} \quad \frac{N_{ст}}{E_{ст} A_{ст}} = \frac{N_{пл}}{E_{пл} A_{пл}} = \frac{N_{мп}}{E_{мп} A_{мп}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $N_{ст}$, $N_{пл}$, $N_{мп}$ – внутренние усилия в стальном стержне, стеклопластиковой оболочке и металлопластиковой арматуре; $E_{ст}$, $E_{пл}$, $E_{мп}$ – модули упругости стали, стеклопластика и металлопластиковой арматуры; $A_{ст}$, $A_{пл}$, $A_{мп}$ – площади поперечного сечения стального стержня, стеклопластиковой оболочке и металлопластиковой арматуры.

Очевидно, что $N_{мп} = N_{ст} + N_{пл}$, а усилия $N_{ст}$ и $N_{пл}$, определенные по равенству (1), равны

$$N_{ст} = N_{пл} \frac{E_{ст} A_{ст}}{E_{пл} A_{пл}}, \quad (2)$$

$$N_{пл} = N_{ст} \frac{E_{пл} A_{пл}}{E_{ст} A_{ст}}. \quad (3)$$

Тогда модуль упругости металлопластиковой арматуры легко определяется из равенства (1), заменяя усилия $N_{ст}$ или $N_{пл}$ выражениями (2) или (3).

Модуль упругости металлопластиковой арматуры, выраженный через модуль упругости стали,

$$E_{мп} = E_{ст} \left(1 + \frac{E_{пл} A_{пл}}{E_{ст} A_{ст}} \right) \frac{A_{ст}}{A_{мп}}. \quad (4)$$

Модуль упругости металлопластиковой арматуры, выраженный через модуль упругости стеклопластика,

$$E_{мп} = E_{пл} \left(1 + \frac{E_{ст} A_{ст}}{E_{пл} A_{пл}} \right) \frac{A_{пл}}{A_{мп}}. \quad (5)$$

Проверим полученные зависимости экспериментально.

Во-первых, определим величину сцепления стеклопластика с бетоном. Прочность сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном определяется классическим способом – сопротивлением выдергиванию стержней из бетонного образца. Для оценки используется среднее напряжение по длине заделки, τ_c , которое определяется как отношение выдергивающей силы к боковой поверхности стеклопластиковой арматуры, находящейся в бетоне:

$$\tau = \frac{N}{\pi \varnothing l_{ан}}$$

Образцы для испытаний изготавливались из стеклопластиковых стержней $\varnothing 7,5$ мм. По концам стержни заделывались в бетонные цилиндры $\varnothing 100$ мм на глубину 100, 80 и 60 мм.

Испытания на вырыв выполнялись на разрывной машине. Образцы при испытании устанавливались в специально разработанные захваты оригинальной конструкции, предусматривающие два варианта разрушения:

- за счет нарушения сцепления на границе «стержень–бетон»;
- за счет отрыва бетонного конуса.

При первом варианте разрушения вырыв осуществлялся через отверстие в сдерживающей пластине захвата диаметром, большим диаметра стержня всего в два раза – $\varnothing 15$ мм. Таким образом, искусственно сдерживалось образование отрыва по бетонному конусу, и разрушение происходило по границе «стержень–бетон». Во втором варианте отверстие в сдерживающей пластине захвата имело диаметр в 10 раз больше диаметра стержня $\varnothing 75$ мм, то есть, не сдерживалось разрушение с образованием отрыва по бетонному конусу.

Результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Определение сцепления стеклопластиковых стержней и отверстия в сдерживающей пластине $\varnothing 15$ мм

№ п/п	\varnothing , мм	$l_{ан}$, мм	$A, \text{м}^2 \times 10^{-4}$	N, кН	τ , МПа	$\tau_{ср}$, МПа
1	7,5	60	13,188	15,2	10,76	10,82
2	7,5	60	13,188	16,0	11,48	
3	7,5	60	17,584	20,4	10,83	
4	7,5	80	17,584	21,8	11,57	
5	7,5	80	17,584	21,0	11,14	
6	7,5	107	23,519	24,4	9,68	
7	7,5	107	23,519	26,0	10,31	

Таблица 2. Определение сцепления стеклопластиковых стержней и отверстия в сдерживающей пластине $\varnothing 75$ мм

№ п/п	\varnothing , мм	$l_{ан}$, мм	$A, \text{м}^2 \times 10^{-4}$	N, кН	τ , МПа	$\tau_{ср}$, МПа
1	7,5	100	21,98	24,0	10,19	10,14
2	7,5	98	21,54	24,2	10,48	
3	7,5	107	23,52	24,6	9,76	

В результате проведенных испытаний установлено, что наименьшая величина усилия вырыва получается при варианте, обеспечивающем разрушение с образованием отрыва по бетонному

конусу. Величина сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном составляет 9,68 МПа и более, то есть, примерно такая же, как и у стальной арматуры периодического профиля.

Во-вторых, для работы при деформировании металлопластиковой арматуры необходимо знать величину сцепления стальных стержней и эпоксидного компаунда, склеивающего стеклоармированный. С этой целью были изготовлены образцы из гладкой арматуры Ø4 мм и арматуры периодического профиля Ø5 мм. С одного конца стержни помещались в стальные трубки Ø32 мм на глубину до 100 мм и заливались эпоксидным компаундом.

Прочность сцепления стальной арматуры с эпоксидным компаундом также определялась сопротивлением выдергиванию стержней из образца.

Результаты испытаний приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Определение сцепления гладких стержней с эпоксидным компаундом

№ п/п	Ø, мм	$l_{ан}$, мм	$A, м^2 \times 10^{-4}$	N, кН	τ , МПа	$\tau_{ср}$, МПа
1	4	91	11,43	13,4	11,70	11,08
2	4	94	11,80	13,6	11,53	
3	4	94	11,80	11,8	10,00	

Таблица 4. Определение сцепления стержней периодического профиля с эпоксидным компаундом

№ п/п	Ø, мм	$l_{ан}$, мм	$A, м^2 \times 10^{-4}$	N, кН	τ , МПа	$\tau_{ср}$, МПа
1	5	95	14,92	18,4	12,33	13,04
2	5	98	15,39	19,2	12,48	
3	5	90	14,13	20,2	14,30	

В результате испытаний установлено, что величина сцепления стержней периодического профиля на 20 % больше величины сцепления гладких стержней. Сцепление стальных стержней с эпоксидным компаундом немного больше сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном, что будет положительно влиять на работу металлопластиковой арматуры в бетонных конструкциях.

Проведенные испытания подтверждают предположения о равенстве относительных деформаций стального стержня и стеклопластиковой оболочки металлопластиковой арматуры.

В-третьих, проведены испытания стержней стеклопластиковой и металлопластиковой арматуры на растяжение с наклеенными на образцы тензодатчиками (рисунок 1).

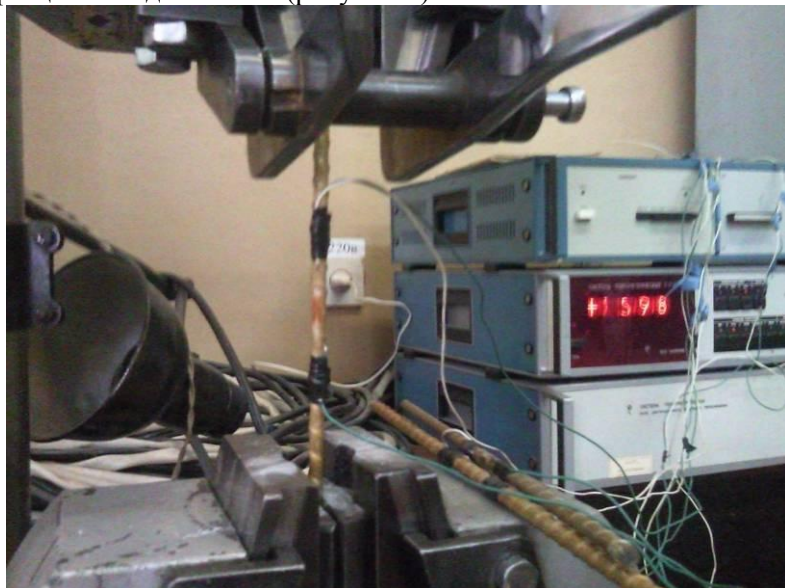


Рисунок 1. Испытание металлопластиковой арматуры

Испытывались три образца металлопластиковой арматуры $\varnothing 7$ мм и один образец стеклопластиковой арматуры $\varnothing 7,5$ мм. Общая площадь поперечного сечения металлопластиковой арматуры $A_{мп} = 0,385 \times 10^{-4} \text{ м}^2$, площадь стального стержня $\varnothing 4$ мм $A_{ст} = 0,1256 \times 10^{-4} \text{ м}^2$, площадь стеклопластиковой оболочки $A_{пл} = 0,2594 \times 10^{-4} \text{ м}^2$. Площадь поперечного сечения стеклопластиковой арматуры $A = 0,442 \times 10^{-4} \text{ м}^2$. По результатам испытаний строились зависимости относительных деформаций образцов от растягивающих напряжений (рисунок 2) и определялись модули упругости.

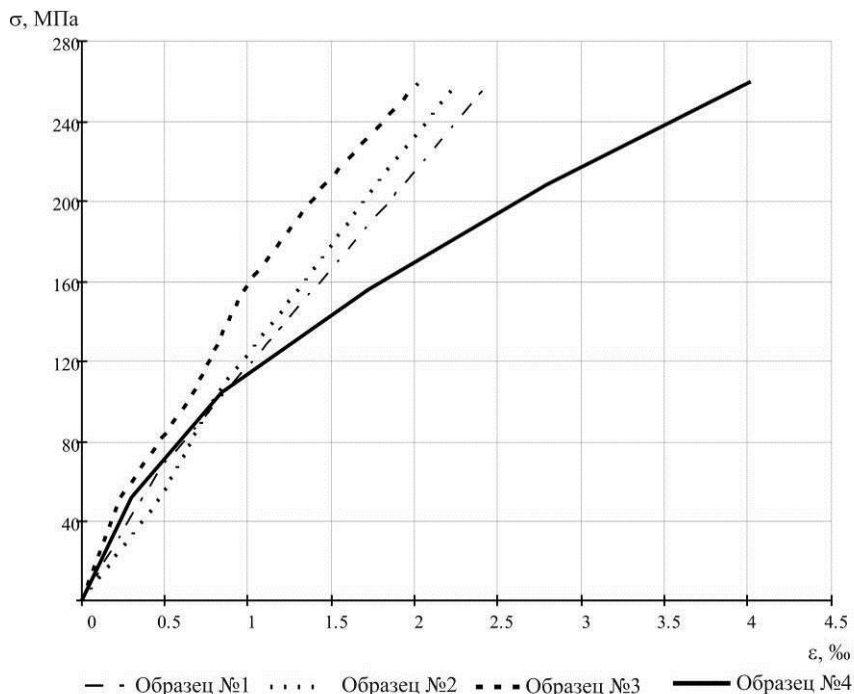


Рисунок 2. Зависимости относительных деформаций образцов от растягивающих напряжений

Модули упругости для образцов из металлопластиковой арматуры составили $E_{мп,1} = 106 \times 10^3$ МПа, $E_{мп,2} = 109 \times 10^3$ МПа, $E_{мп,3} = 115 \times 10^3$ МПа. Среднее значение модуля упругости металлопластиковой арматуры $E_{мп} = 110 \times 10^3$ МПа. Модуль упругости стеклопластиковой арматуры $E_{пл} = 56 \times 10^3$ МПа.

Определим модуль упругости металлопластиковой арматуры по полученным зависимостям (4) и (5) подставив в них $E_{ст} = 200 \times 10^3$ МПа, $E_{пл} = 56 \times 10^3$ МПа. При расчете по обеим зависимостям получается, что модуль упругости металлопластиковой арматуры $E_{мп} = 103 \times 10^3$ МПа, что на 6 % отличается от модуля упругости металлопластиковой арматуры, полученного экспериментальным путем.

Выводы. Увеличение модуля упругости стеклопластиковой арматуры можно добиться путем помещения внутрь стального стержня. Таковую арматуру можно назвать металлопластиковой.

Сцепление стального стержня с эпоксидным компаундом, склеивающим стеклоровинг в металлопластиковой арматуре, достаточное для их совместного деформирования.

Полученные зависимости для определения модуля упругости металлопластиковой арматуры, через соотношения модулей упругости и площадей стального стержня и стеклопластиковой оболочки, хорошо подтверждаются проведенными испытаниями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и проектирование трехслойных железобетонных панелей с гибкими связями из базальтопластика // Рекомендации разработаны и утверждены Государственным предприятием «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». Зарегистрированы РУП «Стройтехнорм» за № 089 от 22.12.2011.

2. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – Взамен СНиП 2.03.01–84*; введ. 01.07.2003. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2003. – 139 с.