Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №1, Том 6 / 2019, No 1, Vol 6 <https://t-s.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/02SATS119.pdf>

DOI: 10.15862/02SATS119 (<http://dx.doi.org/10.15862/02SATS119>)

Статья поступила в редакцию 25.12.2018; опубликована 12.02.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:

Николюкин А.Н., Ярцев В.П., Коломникова И.И., Альджабуби Д.З. Экспериментальные исследования прочности сцепления стеклопластиковой арматуры с цементно-песчаным бетоном // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/02SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/02SATS119

For citation:

Nikolyukin A.N., Yartsev V.P., Kolomnikova I.I., Aljabouri D.Z. (2019). Experimental studies of the strength of adhesion of fiberglass reinforcement with cement-sand concrete. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/02SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/02SATS119

УДК 691.328.4

ГРНТИ 67.11.31

Николюкин Алексей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия
Аспирант

E-mail: Valax1@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=893678

Ярцев Виктор Петрович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия
Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: kzis@nnn.tstu.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=48837

Коломникова Ирина Игоревна

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия
Студент

E-mail: kolomnikova_ii@mail.ru

Альджабуби Дхафер Зейд Мохаммед

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия
Аспирант

E-mail: Aljaboobi2014@yahoo.com

**Экспериментальные исследования
прочности сцепления стеклопластиковой
арматуры с цементно-песчаным бетоном**

Аннотация. Представлены результаты исследования прочности сцепления стеклопластиковой и металлической арматур с бетонами, имеющими различными механические характеристики.

Данные характеристики были установлены после нормального набора прочности бетонов В15-30; образцы бетона В25 подвергали воздействию переменного замораживания-

оттаивания. Испытания всех образцов проводили на вырыв арматуры на специальном стенде согласно ГОСТ 10060-2012.

Установлено, что стеклопластиковая арматура имеет меньшую величину прочности сцепления по сравнению со стальной; при увеличении прочности бетона возрастает величина прочности сцепления, после циклов замораживания-оттаивания её падение незначительно, но возрастает величина деформации.

Вклад авторов:

Коломникова Ирина Игоревна – автор осуществил написание статьи 0,25.

Николукин Алексей Николаевич – автор осуществил написание статьи 0,25.

Альджабуи Дхафер Зейд Мохаммед – автор внес существенный вклад в 0,25.

Ярцев Виктор Петрович – автор оказывал участие в 0,25, одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Ключевые слова: вырыв; бетон; сцепление; стальная арматура; композитная арматура; циклы замораживания-оттаивания

Введение

Большинство исследователей выделяют два возможных варианта взаимодействия арматуры и бетона на опорных участках конструкции. В первом случае арматурный стержень вкручивается в бетон у свободного торца элемента; во втором – нагрузка, приложенная к арматуре со стороны пролета, исключает поворот арматуры, при этом происходит ее вдавливание в бетонный массив, образуемый между профилями арматурного стержня. В первом варианте основным критерием является трение, характеризующее процесс сцепления, а во втором – значительную роль играет зацепление винтовых выступов поверхности арматуры за окружающий бетон. Исходя из этого, можно сделать вывод, что важным критерием для сцепления является прочность бетона на смятие в контактном слое между профилем арматуры и бетона.

М.М. Холмянский отметил, что величины усилий смятия бетона в контактном слое при вырыве анкеров достигали 5-20-кратной кубиковой прочности [1]. В свою очередь, Н.М. Мулин определил величину предельного напряжения смятия под выступами арматуры, которая составляла 15-20 R_b [2].

На основании опытов на вырыв семипроволочных прядей из призм, А.И. Семенов отметил существенное возрастание наибольшей выдерживающей нагрузки R_{max} при увеличении прочности бетона с 12,5 МПа до 25 МПа [3], а в диапазоне с 25 МПа до 45 МПа происходит возрастание величины R_{max} только у тех образцов, длина участка передачи напряжений которых составляет $l_p = 20d$, где d – номинальный диаметр стержня. При $l_p = 40 \dots 60d$ происходил разрыв стержня.

Ю.М. Редько и Э.Ф. Панюков определили, что условия анкеровки не зависят от изменения прочности бетона от 25 МПа до 70 МПа при обжатии канатной арматуры.

В своих исследованиях Al-Khalili, E.W. Bennet, J.A. Uijl установили прямо пропорциональную зависимость прочности сцепления от прочности бетона [4].

Н. Trost определил зависимость прочность сцепления арматуры периодического профиля от прочности бетона. Так, прочность сцепления стержня пропорционально квадратному корню из прочности бетона.

Можно сделать вывод, что прочность бетона оказывает влияние на длину участка передачи напряжений и на механизм сцепления в целом в том случае, если ее значение не превышает определённой величины для каждого вида арматуры [5-7]. Если прочность бетона больше этой величины, то на сцепление она не влияет. В данном случае сцепление зависит от жесткости бетонной обоймы и интенсивности косвенного армирования.

Таким образом, в зависимости от прочности бетона и вида арматуры может изменяться максимальная величина сцепления и глубина анкеровки арматурного стержня [8]. При достижении определенной величины прочности бетона рост сцепления происходит за счет ряда второстепенных факторов, таких как жесткости бетонной обоймы и интенсивности косвенного армирования и т. д.

Материалы и методы исследования

Для установления механических характеристик бетона были проведены испытания согласно ГОСТ 24452-80¹, что позволило установить механические характеристики бетона в диапазоне В15-В30. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики бетона в зависимости от класса по прочности

Класс бетона	Физико-механические параметры				
	m, г	E, ГПа	R сжатие, МПа	R призмы, МПа	R растяжение, МПа
B15	2370	25,1	19,8	14,3	0,9
B20	2365	28,3	26,7	17,2	1,2
B22,5	2350	29,6	30,2	19,7	1,5
B25	2350	30,8	33,1	24,1	1,9
B30	2330	32,3	39,7	29,5	2,14

Разработано авторами

Для образцов бетона В25 после твердения в нормальных условиях были проведены испытания с циклами замораживания-оттаивания согласно ГОСТ 31938-2012². Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические параметры бетона в зависимости от циклов замораживания оттаивания

Количество циклов	Физико-механические параметры				
	m, г	E, ГПа	R сжатие, МПа	R призмы, МПа	R растяжение, МПа
0	2350	30,8	33,1	24,1	1,9
25	2340	30,1	32	23,8	1,85
50	2320	30,5	31,5	23	1,81
75	2320	29,2	28,5	21,8	1,7
100	2300	28	26	19,2	1,5

Разработано авторами

¹ ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Министерством металлургии СССР – М., 1983. – 36 с.

² ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости Общие технические условия. НИИБЖ им. А.А. Гвоздева. – М., 2014. – 56 с.

Испытания на вырыв производились согласно ГОСТ 10060-2012 в нормальных условиях после набора прочности бетона на 90 суток (рисунок 1). Для удобства в качестве результата измерения величины несущей способности выступает касательное напряжение $\tau_{\text{сц}}$:

$$\tau_{\text{сц}} = \frac{N}{lP}, \quad (1)$$

где N – преследуемое усилие; l – глубина анкеровки; P – периметр окружности.

Так как величина сцепления складывается из различных усилий, образующихся в зоне условной цилиндрической поверхности взаимодействия арматуры с бетоном, наибольшее значения будут оказывать касательные напряжения в области соприкосновения поверхностей арматуры и бетона, поэтому применение величины $\tau_{\text{сц}}$ допустимо.

Рисунок 1. Схема для испытания на вырыв (разработано авторами)

Во время испытания с помощью силоизмерительного датчика фиксировалась прикладываемая нагрузка для каждого из 10 образцов. Параллельно производились замеры проскальзывания арматуры (Δ) относительно верхнего торца бетона. Впоследствии строилась обобщённая кривая «касательные напряжения – смещения».

Взаимное смещение арматуры относительно бетона определялось по формуле

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta l_a, \quad (2)$$

где Δ_1 – фиксируемая величина смещения арматурного стрежня; Δl_a – удлинение арматуры между крепежом и опорным торцом образца, которое определялась как:

$$\Delta l_a = \frac{Nl}{AE_a}, \quad (3)$$

где l – начальная длина арматуры между крепежом и опорным торцом образца; A – площадь арматурного стрежня; E_a – модуль упругости арматуры.

Влияние класса прочности бетона на сцепление

Испытания на вырыв арматурного стержня из бетона позволили произвести анализ разрушения образцов и изучить механизм сцепления. Если принять стальную арматуру за оптимальные условия, то при вырыве стержня из образца происходило разрушение бетонных консолей в контактном слое (рисунок 4а), а максимальные напряжения достигались при величине смещения равной примерно 0,1 мм (рисунок 2), то у СПА она достигала 0,16 мм

(рисунок 3). При этом максимальная величина касательного напряжения была на 20-25 % ниже эталонных образцов.

Это объясняется тем, что навивка периодического профиля СПА приклеена к основному стержню, что заставляет его работать на сдвиг при испытании на вырыв. Поэтому величина напряжения сцепления композита в свою очередь зависит от величины сопротивления склеивающей матрицы профиля. В данном случае эта величина составляла 22-27 МПа. Этот факт подтверждается тем, что с разной прочностью бетона характер разрушения образцов в зоне контакта различен:

1. при вырыве арматуры из бетона класса В15 наблюдаются минимальные повреждения поверхности всех образцов СПА и разрушение сцепления вследствие разрушения бетонных консолей между бетоном и профилем арматуры;
2. образцы, выдергиваемые из бетона классов В20-30, характеризуются срезом профиля композитной арматурой стрежня и минимальным разрушением бетонного массива (рисунок 4б);
3. при вырыве стальной арматуры из бетонов классов прочности В15-25 разрушение происходило по бетону как у СПА с бетоном В15 (рисунок 4а). Однако, при классе бетона В30 вырыва стрежня не было, но происходило значительное удлинение стержня при минимальном приложении усилий с последующим его разрушением, как при испытании на разрыв арматурного стержня. Это объясняется тем, что в арматурном стрежне напряжение достигает величины, которая выше значения площадки текучести, что приводит к быстрому разрушению арматурного стрежня.

Рисунок 2. Зависимости «напряжение – смещение» образцов металлической арматуры для различных классов прочности бетона (разработано авторами)

Рисунок 3. Зависимости «напряжение – смещение» образцов СПА для различных классов прочности бетона (разработано авторами)

В контактном слое наблюдалось сложное деформированное состояние. Вследствие этого, чистого среза консоли не происходило, но осуществлялось постепенное разрушение соединения между профилем и основным стержнем арматуры [9-10]. На последней стадии нагружения произошел полный срез профиля арматуры.

Рисунок 4. Характер разрушения сцепления арматуры с бетоном: а) металлической; б) СПА (разработано авторами)

По результатам испытаний на вырыв можно сделать вывод, что на характер разрушения в контактном слое и на величину сцепления оказывает влияние не только материал, используемый в армировании, но и его структура, однородность и физико-механические характеристики.

Влияние циклов замораживания оттаивания на прочности сцепления

Прочностные характеристики бетона в реальных условиях эксплуатации снижаются, поэтому для оценки величины сцепления арматуры с бетоном были проведены испытания с учетом циклов замораживания-оттаивания.

Как показали испытания (рисунки 5 и 6), при малых значениях циклов замораживания-оттаивания влияние на величину максимального касательного напряжения сцепления

незначительно, при этом происходил небольшой рост перемещений. Механические характеристики бетона близки к исходным (таблица 2). Отсутствие изменений в характеристиках не говорит об «абсолютной» морозостойкости бетона. При последующих воздействиях циклов замораживания-оттаивания происходит разрушение скелета бетона в контактной зоне, в которой образуются микротрещины, в дальнейшем заполняющиеся водой. Последующие циклы приводят к росту пористости бетона и, как следствие, ослабления ряда второстепенных факторов (усадка бетона, обжатие арматурного стержня и др.), понижаются сопротивление смещению в упругой стадии работы материала (рисунок 7).

Рисунок 5. Зависимости «напряжение – смещение» для образцов металлической арматуры с различными значениями циклов замораживания и оттаивания (разработано авторами)

Рисунок 6. Зависимости «напряжение – смещение» для образцов СПА с различными значениями циклов замораживания и оттаивания (разработано авторами)

Если сравнить тенденцию изменения максимального касательного напряжения сцепления с изменением прочностных характеристик бетона после циклов замораживания-оттаивания, то можно сделать вывод, что величина сцепления напрямую зависит от прочности бетона.

а

б

Рисунок 7. Образцы после испытания на циклы замораживания-оттаивания: а) с металлической арматурой; б) со СПА (разработан авторами)

Основные выводы

1. Проведены испытания на вырыв арматуры из центрально армированных бетонных образцов, имеющих различные механические характеристики. По экспериментальным данным построены зависимости «напряжение – смещение» арматуры относительно бетонного массива.
2. По результату испытаний установлено, что металлическая арматура имеет большую величину напряжения сцепления по сравнению с СПА. При этом у образцов с СПА разрушение сцепления происходило в основном за счет среза профиля композитной арматуры, а у металлической разрушение бетона происходило в контактной зоне вследствие более высокой прочности арматуры (разрушение бетонных консолей между профилем арматуры).
3. Установлено, что прочность бетона до 28 МПа оказывает влияние на величину сцепления металлической арматуры А400 и до 20 МПа – для СПА. Выше этих величин прочность бетона не оказывает влияния на напряжения сцепления. Последующий видимый рост величины напряжения сцепления происходит за счет обжатия бетонной обоймы и ряда второстепенных факторов.
4. С увеличением циклов замораживания оттаивания величина смещения возрастает, а максимальная величина напряжения сцеплений не изменяется. Это можно обосновать разрушением склеивающего геля между арматурой и бетоном, вследствие чего происходит ослабление обжатия арматуры и склеивающей составляющей сцепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.М. Холмянский. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.
2. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М., Стройиздат, 1974. – с. 196-203.
3. Семенов А.И. Экспериментальные исследования сцепления семипроволочных прядей с бетоном – Челябинск, Стройиздат, 1968. – с. 96-97.
4. F. Labib, A.D. Edwards. An analytical investigation of cracking in concentric and eccentric reinforced concrete tension members // Proceedings of the Institution of Civil Engineers. – 1978. – Vol. 65. – № 1. – P. 53-70.
5. Железобетонные конструкции в водохозяйственном строительстве: проектирование и изготовление / Ю.А. Тевелев, А.Н. Дмитриев / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации. – Москва: Росинформагротех, 2006 – (М.: Росинформагротех). – С. 21.
6. Римшин В.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой / В.И. Римшин, С.И. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 5. – С. 38-42.
7. Римшин В.И. Феноменологические исследования величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном / В.И. Римшин, Ю.О. Кустикова // Известия ЮЗГУ. Серия Техника и технологии. – 2011. – № 1. – С. 27-31.
8. Хозин В.Г. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном / Хозин В.Г., Пискунов А.А., Гиздатуллин А.Р., Кушлин А.Н. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013 – № 1 (23) – С. 214-220.
9. Котова К.С. Изучение сцепления различных видов арматуры с пенобетоном / Котова К.С., Славчева Г.С. // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 1 (75). – С. 114-123.
10. Хозин В.Г. Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях / Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р. // Строительные материалы. – 2017. – № 11. – С. 30-38.

Nikolyukin Aleksey Nikolaevich

Tambov state technical university, Tambov, Russia
E-mail: Valax1@yandex.ru

Yartsev Victor Petrovich

Tambov state technical university, Tambov, Russia
E-mail: kzis@nnn.tstu.ru

Kolomnikova Irina Igorevna

Tambov state technical university, Tambov, Russia
E-mail: kolomnikova_ii@mail.ru

Aljabouri Dhafer Zeid Mohamed

Tambov state technical university, Tambov, Russia
E-mail: Aljaboobi2014@yahoo.com

Experimental studies of the strength of adhesion of fiberglass reinforcement with cement-sand concrete

Abstract. The results of the study of the adhesion strength of fiberglass and metal fittings with concrete with different mechanical characteristics are presented.

These characteristics were established after the normal curing of concrete B15-30; B25 concrete samples were subjected to alternating freeze-thawing. Testing of all samples was carried out on the digging of reinforcement at a special stand according to GOST 10060-2012.

It is established that fiberglass reinforcement has a smaller amount of adhesion strength compared to steel; with increasing strength of concrete, the value of adhesion strength increases, after cycles of freezing and thawing, its fall slightly, but the amount of deformation increases.

Keywords: digging; concrete; adhesion; steel reinforcement; composite reinforcement; freeze-thaw cycles

REFERENCES

1. Kholmyanskiy M.M. (1981). Kontakt armatury s betonom. [*Contact reinforcement with concrete.*] Moscow: Stroiizdat, p. 184.
2. Mulin N.M. (1974). Sterzhnevaya armatura zhelezobetonnykh konstruksiy. [*Rod reinforcement of reinforced concrete structures.*] Moscow: Stroiizdat, pp. 196-203.
3. Semenov A.I. (1968). Ehksperimental'nye issledovaniya stsepleniya semiprovolochnykh pryadey s betonom. [*Experimental studies of the coupling of seven-wire strands with concrete.*] Chelyabinsk: Stroiizdat, pp. 96-97.
4. Labib F., Edwards A.D. (1978). An analytical investigation of cracking in concentric and eccentric reinforced concrete tension members. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1(65), pp. 53-70.
5. Tevelev Yu.A., Dmitriev A.N. (2006). Zhelezobetonnye konstruksii v vodokhozyaystvennom stroitel'stve: proektirovanie i izgotovlenie. [*Reinforced concrete structures in water management: design and manufacture.*] Moscow: Rosinformagrotekh, p. 21.
6. Rimshin V.I., Merkulov S.I. (2015). Elements of the theory of the development of concrete structures with non-metal composite reinforcement. *Industrial and civil construction*, 5, pp. 38-42 (in Russian).
7. Rimshin V.I., Kustikova Yu.O. (2011). Phenomenological studies of the magnitude of adhesion of basalt plastic reinforcement to concrete. *News of South-West State University*, 1, pp. 27-31 (in Russian).
8. Khozin V.G., Piskunov A.A., Gizdatullin A.R., Kuklin A.N. (2013). Coupling polymer composite reinforcement with cement concrete. *News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*, 1(23), pp. 214-220 (in Russian).
9. Kotova K.S., Slavcheva G.S. (2018). Studying the adhesion of various types of reinforcement with foam concrete. *Construction and reconstruction*, 1(75), pp. 114-123 (in Russian).
10. Khozin V.G., Gizdatullin A.R. (2017). Compatibility of polymer composite reinforcement with cement concrete in structures. *Construction materials*, 11, pp. 30-38 (in Russian).