

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЖАТЫХ  
БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОДОЛЬНОМ АРМИРОВАНИЕМ  
СТАЛЬНЫМИ, СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ  
И УГЛЕПЛАСТИКОВЫМИ СТЕРЖНЯМИ  
ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ\***

А.В. Невский, И.В. Балдин

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, Россия*

*E-mail: andrenevsky@gmail.com*

**Аннотация.** В настоящее время одной из актуальных проблем строительной отрасли является создание конструкций с высоким уровнем сопротивляемости внешним воздействиям агрессивных сред. Одним из современных решений данной проблемы является применение композитных материалов на основе неметаллических волокон. В настоящей работе исследована прочность и деформативность сжатых бетонных элементов, армированных композитными стержнями. Были испытаны три типа бетонных образцов с различными видами продольного армирования: стальной арматурой класса А-400, композитной стеклопластиковой арматурой и композитной углепластиковой арматурой. Образцы испытывались на сжатие статической нагрузкой. В результате проведённых испытаний, обнаружено, что несущая способность образцов сжатых элементов, армированных стержнями композитной арматуры, ниже несущей способности железобетонного образца. При этом также наблюдалась более высокая деформативность образцов с композитным стержневым армированием по сравнению с железобетонным образцом.

**Ключевые слова:** сжатие; прочность; деформативность; неметаллические волокна; арматура композитная полимерная; стеклопластик; углепластик.

В настоящее время проблема повышения долговечности и живучести строительных железобетонных конструкций особо актуальна. Необходимость применения стойких к коррозии материалов обусловлена особенностями условий, в которых находятся конструкции: более

---

\* Данное исследование выполнено при финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

80 % всех железобетонных конструкций эксплуатируется в условиях агрессивных сред и подвержены интенсивному износу. Наиболее чувствительной к старению составляющей железобетона является арматура, которая с течением времени разрушается вследствие коррозии при её оголении и контакте через образовавшиеся микро- и макротрещины с внешней агрессивной средой. Также арматура может разрушаться от электрокоррозии при воздействии на неё блуждающих или прямых токов (в случае эксплуатации аварийных опор ЛЭП, когда арматура выполняет роль проводника, заземляющего электрическую сеть). Все эти факторы негативно влияют на долговечность строительных конструкций на основе бетона [1].

Повышения долговечности конструкции можно добиться путём использования в качестве арматуры современных материалов на основе неметаллических волокон, главными достоинствами которых являются высокие прочностные показатели, небольшой вес, коррозионная стойкость [2], химическая и магнитная инертность, низкая стоимость (для некоторых видов композитной арматуры). Однако ввиду отсутствия опыта применения таких конструкций использование композитной арматуры должно быть обосновано научно-теоретическими и экспериментальными исследованиями, а также нормативными документами по проектированию и расчёту конструкций с композитным стержневым армированием.

Предварительные испытания композитной арматуры на осевое сжатие показали, что предел её прочности при сжатии может достигать значений до 650 МПа. При этом различные виды композитной арматуры имеют высокие показатели относительных деформаций, на порядок большие деформаций стальной арматуры. Композитная арматура имеет относительно низкий по сравнению со стальной арматурой модуль упругости при сжатии. Характер разрушения композитной арматуры на основе углеродных волокон представляет собой «выпучивание» внешних волокон арматуры от центральной сжимающей нагрузки, а схема разрушения композитной арматуры на основе стеклянных волокон имеет картину среза.

С целью изучения прочности и деформативности сжатых элементов, армированных продольными композитными стержнями были проведены экспериментальные исследования, программа которых включа-

## Секция 2

ла в себя изготовление и испытание трёх бетонных образцов на сжатие при статическом нагружении: одного с металлическим продольным стержневым армированием, и двух с неметаллическим армированием композитными стержнями на основе стеклянных и углеродных волокон. Конструкции экспериментальных образцов представляли собой бетонные элементы с геометрическими размерами 100×100×1000 мм, армированные четырьмя стержнями продольной арматуры в зависимости от шифра: стальной арматурой класса А-400 диаметром 10мм; композитной стеклопластиковой арматурой (СПА) марки MONSTEROD (производство ХК «Композит», г. Москва) номинальным диаметром 9,4 мм; композитной углепластиковой арматурой (УПА) марки FibAR-MRebar (производство ХК «Композит», г. Москва) номинальным диаметром 9,6 мм. Армирование в поперечном направлении было выполнено из арматуры класса Вр-500 диаметром 3мм, расположенной с шагом 75 мм. В приопорных зонах имелись сетки косвенного армирования, расположенные с шагом 20 мм на высоту размера площади смятия элемента. Маркировка экспериментальных образцов в соответствии с их конструкцией приведена в таблице. Программа экспериментальных исследований представлена на рис. 1.

### Маркировка экспериментальных образцов

Шифр образца	Количество, номинальный диаметр и тип продольных стержней	Количество образцов, шт	Процент армирования поперечного сечения, %	Теоретический вес, кг
ОБ-1	4×Ø 10 А-400	1	3,14	26,62
ОБ-2	4×Ø 9,6 СПА	1	2,89	24,67
ОБ-3	4×Ø 9,4 УПА	1	2,77	25,08

Экспериментальные образцы испытывались в соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 статической сжимающей нагрузкой до наступления предельного состояния. Испытания проводились на автоматизированном прессе ПММ-250, оснащённом современными датчиками перемещений и электронной фиксацией данных. Нагружение осуществлялось статическими этапами по 20 кН. После приложения нагрузки

***Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014)***

на каждом этапе производилась временная выдержка 8–10 мин, во время которой происходило перераспределение внутренних напряжений в образцах. В это время колонна осматривалась, фиксировалось образование и развитие трещин. После выдержки конструкции под нагрузкой снимались показания приборов. Экспериментальные сжатые элементы доводились до разрушения, при этом фиксировалось значение максимального усилия. Общий вид испытания образцов сжатых элементов изображён на рис. 2.

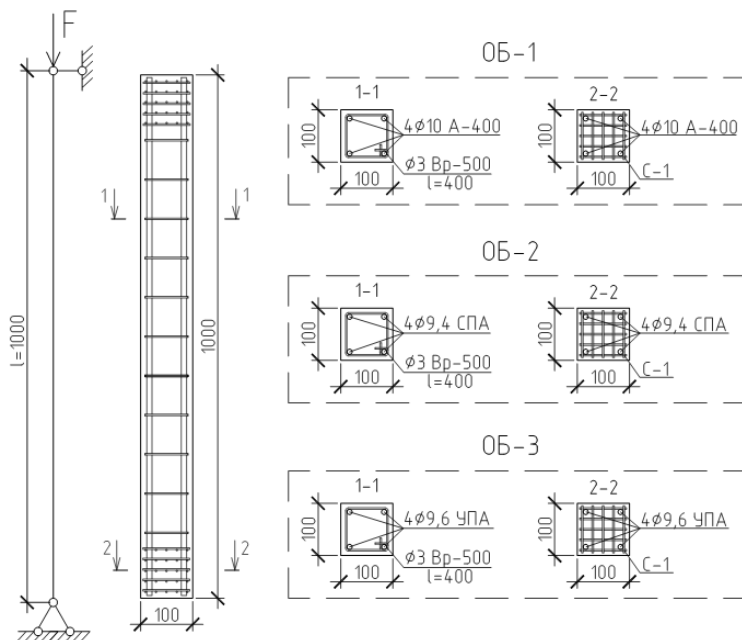


Рис. 1. Программа экспериментальных исследований

При испытании были проведены следующие измерения. Продольные деформации арматуры фиксировались датчиками-тензорезисторами, установленными на стадии изготовления образцов на каждый из четырёх продольных стержней посередине их длины. Продольные и поперечные деформации бетона фиксировались также датчиками-

## Секция 2

тензорезисторами, установленными на тело каждого из образцов пара-ми во взаимно перпендикулярных направлениях по двум смежным сто-ронам в их центре. Продольные деформации образцов фиксировались индуктивными датчиками перемещений, установленными по двум про-тивополюжным сторонам каждого из образцов. Показания электронных датчиков считывались при помощи измерительно-вычислительных сис-тем МИС-400D и МИС-300M. Усилие на каждом этапе фиксировалось при помощи электронного табло прессы.



Рис. 2. Общий вид испытания экспериментальных образцов на сжатие

В результате проведённых испытаний были получены схемы трещинообразования и разрушения образцов сжатых элементов при статическом нагружении (рис. 3). Разрушение образцов сжатых эле-ментов во всех случаях сопровождалось раздроблением бетона. Ана-лиз схем разрушения образцов сжатых элементов показал, что незави-симо от типа армирования элементов разрушение имеет близкий по форме характер. Разрушающие нагрузки для образцов сжатых элемен-тов составили соответственно: для ОБ-1 (А-400) 360 кН, для ОБ-2 (СПА) 339 кН, для ОБ-3 (УПА) 347 кН. Также, в результате статисти-ческой обработки показаний приборов для каждого из образцов, ис-пытанных на статическое сжатие был получен график продольного деформирования бетона под нагрузкой (рис. 4)

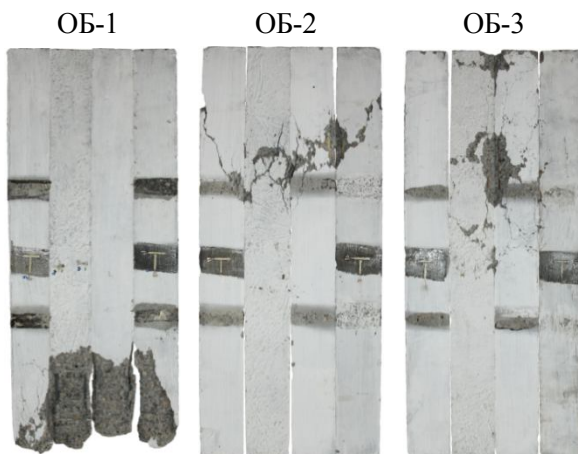


Рис. 3. Схемы разрушения и трещино-образования экспериментальных образцов

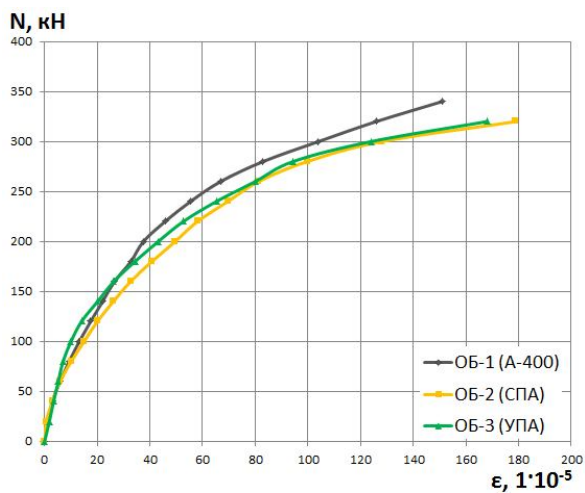


Рис. 4. График продольных деформаций бетона экспериментальных образцов

В результате экспериментальных исследований было отмечено, что несущая способность при сжатии образцов с продольным армированием композитными стекло- и углепластиковыми стержнями мень-

320

ше несущей способности образца, армированного стержнями стальной арматуры класса А-400 соответственно на 5,8 и 3,6 %. По сравнению с образцом, армированным продольными металлическими стержнями, образцы с композитным стержневым армированием обладают более высокой деформативностью при воздействии сжимающей статической нагрузки. Относительно железобетонного образца сжатого элемента деформативность образцов с композитным стержневым армированием оказалась выше и составила: для образца со стеклопластиковым продольным стержневым армированием 142 %, для образца с углепластиковым продольным стержневым армированием 133 %. Также было отмечено, что композитная арматура и бетон работают в условиях совместности деформаций.

Таким образом, в конструкциях, работающих на сжатие, при замене классической стальной арматуры на композитную имеет место повышение деформативности конструкции, а также снижение её собственного веса. При этом наблюдается снижение несущей способности ввиду низкого модуля упругости композитной арматуры [3]. В связи с этим композитную арматуру для армирования сжатых элементов на основе бетона рационально применять в сочетании с комплексом мероприятий по усилению сжатого бетона.

Для изучения возможности использования композитной арматуры при производстве строительных конструкций требуются дальнейшие научные исследования, которые способствуют ускорению процесса разработки руководящих норм по проектированию и расчёту долговечных строительных конструкций с неметаллическим композитным стержневым армированием.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М. : Изд-во АСВ, 2013. – 200 с.
2. Исследование щелочестойкости композитной арматуры на основе стеклянных и углеродных волокон / К.Л. Кудяков, А.В. Невский, А.А. Овчинников [и др.] // Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Братск : ГОУ ВПО «БРГУ», 2014. – С. 79–81.
3. Исследование прочности и деформативности бетонных сжатых элементов, армированных стальными и композитными стержнями / И.А. Русаков, О.О. Русакова, К.Л. Кудяков [и др.] // Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Братск : ГОУ ВПО «БРГУ», 2014. – С. 35–37.