

DOI:10.12737/article_5a5dbf07e79252.42218077

¹Борисюк Е.А., канд. техн. наук, ст. преп.,
²Бороденко С.А., инженер¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
²Таганрогский технологический институт Южного федерального университета

РОЛЬ ФИКСАТОРОВ АРМАТУРЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

evgen1002@mail.ru

В настоящее время, при изготовлении строительных конструкций из железобетона, широкое распространение получили пластиковые и бетонные фиксаторы арматуры, обеспечивающие фиксацию стального арматурного каркаса в строго проектное положение, для исключения вероятности смещения арматурного каркаса при бетонировании. Такое, достаточно жесткое, закрепление необходимо для последующей надежной работы конструкции в сооружении, а также для сохранности стальной арматуры, защищенной необходимым слоем бетона от коррозии. Имеющиеся в литературе сведения, не позволяют судить о влиянии вида фиксаторов, на эксплуатационные свойства железобетона, такие как: прочность и трещиностойкость. Проведенные эксперименты, по предложенной методике, показали, что прочность и трещиностойкость образцов с использованием пластиковых и бетонных (низких марок) фиксаторов, несколько ниже, чем у образцов без фиксаторов или с фиксаторами из бетона высоких марок. На основании результатов исследований появляется возможность разграничения областей применения пластиковых и бетонных фиксаторов.

Ключевые слова: пластиковые фиксаторы, бетонные фиксаторы, прочность, трещиностойкость.

Введение. Обеспечение надежности и долговечности строительных конструкций из железобетона, особенно работающих в неблагоприятных условиях (высокая влажность, минерализованные воды и прочее), обуславливает необходимость применения гарантированных способов и режимов изготовления этих конструкций. Необходимым условием изготовления высококачественных железобетонных изделий является фиксация стального арматурного каркаса при бетонировании в строго проектное положение, при исключении вероятности смещения арматурного каркаса [1–4]. Такое, достаточно жесткое, закрепление необходимо для последующей надежной работы конструкции в сооружении (обеспечении расчетного распределения напряжений без возникновения возможных локальных внутренних дефектов и трещинообразования), а также для сохранности стальной арматуры, защищенной необходимым слоем бетона от коррозии. Эту задачу выполняют специальные закладные детали, которые называют фиксаторами арматуры. Принято считать, что основная функция фиксаторов арматуры – это обеспечение защитного слоя арматуры от возможной коррозии из-за вредного воздействия агрессивных сред, но только этим роль фиксаторов не ограничивается. Фиксируя арматуру в форме, фиксаторы дают возможность бетонной смеси в процессе формования равномерно распределиться вокруг арматуры, способствуя в дальнейшем максимальному сцеплению бетона с арматурой, и, как следствие, обеспечи-

вают способность конструкции работать в расчетных режимах. Поэтому термин «фиксаторы защитного слоя арматуры в бетоне» не в полной мере отражает их функцию. Задача защиты арматуры в бетоне от вредного воздействия внешней среды остается, является достаточно важной и требует специальной оценки качества существующих и предлагаемых фиксаторов. В настоящее время имеется крайне мало информации о характере и степени влияния вида и качества фиксаторов на эксплуатационные характеристики железобетонных конструкций.



Рис. 1. Пластиковые фиксаторы

Высокие темпы строительства, развитие монолитного домостроения, возросшие требования к железобетонным изделиям заводской готовности, обусловили рост потребности в фиксаторах арматуры, производство которых за последнее время существенно увеличилось [5–8]. Широкое распространение в настоящее время получили

пластмассовые фиксаторы из ПВХ, ПНД, ПП, и т.д.

Основная часть. Фиксаторы имеют различную форму и назначение. По своему применению фиксаторы подразделяются на три категории: фиксаторы для установки на вертикальную арматуру; фиксаторы для установки на горизонтальную арматуру; фиксаторы для установки в опалубку с фиксацией общей толщины бетона.

Применение пластмассовых фиксаторов целесообразно и оправдано в конструкциях, которые в меньшей степени подвержены вредному воздействию внешней среды и находятся вне зоны действия высоких нагрузок. Это объясняется тем, что адгезия цемента и, соответственно, бетона к пластмассам невысока. Контактная зона в таком случае может служить, во-первых, источником возникновения локальных дефектов и трещинообразования при действии нагрузок в месте расположения пластмассовых фиксаторов и, во-вторых: учитывая, что опорная часть фиксаторов выходит на поверхность конструкции, то «агрессивная среда» может достаточно свободно проникать по границе «бетон-фиксатор» к арматуре и способствовать возникновению ее коррозии. Пластмассовые фиксаторы можно рекомендовать для железобетонных конструкций, работающих в воздушно-сухих условиях с невысокими внутренними напряжениями. Для конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред и в сложных напряженно-деформационных полях, для фиксации арматуры в бетонных изделиях, пластмассовые фиксаторы применять **недопустимо**. К таким конструкциям относятся опорные элементы мостов, элементы высотных зданий, тубинги, резервуары и т.д. В них необходимо применять фиксаторы, изготовленные из материалов, имеющих высокую адгезию и химическое сродство с основным материалом изделия: из асбестоцемента, высокопрочного мелкозернистого бетона с различными минеральными и химическими добавками и т.д. В этом случае граница фиксатора и бетона является условной, так как кристаллы новообразований твердеющего цемента изделия и фиксатора со временем срастаются и создают плотное и достаточно прочное соединение. Основная функция фиксаторов заключается в четкой фиксации арматуры в проектном положении и обеспечении за счет этого расчетных характеристик работы конструкции [9–14].

Фиксаторы вносят в железобетонную конструкцию существенные изменения, связанные с их видом и видом материала из которого они изготовлены, являясь фактически дефектом структуры бетона:

- модуль упругости пластмассы почти на порядок ниже, чем у бетона ($3,0 \times 10^3$ и 30×10^3 МПа) и поэтому, при возникновении растягивающих напряжений в зоне контакта, пластмассовый фиксатор, становится концентратором напряжений, в результате чего происходит более раннее появление трещин;

- низкая адгезия бетона к пластмассе (практически равна нулю) также снижает трещиностойкость бетона;

- коэффициенты линейного температурного расширения у пластмассы и бетона существенно отличаются ($10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ у пластмассы и $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ у бетона) и поэтому, при использовании термообработки бетона, при остывании конструкции на границе «бетон – фиксатор» могут образовываться температурные трещины.

Бетонные фиксаторы представляют собой мелкие закладные детали из мелкозернистого бетона, имеющие специальный узел крепления к арматуре в виде прищепки, пружины, зажима, защелки или просто вязальной проволоки. Форма фиксаторов не регламентируется, может быть разнообразной и во многом зависит от способа изготовления (экструзионный, вибропрессование, литье и др.) и от условий их последующего применения. Основные геометрические параметры, контролируемые в процессе изготовления, это диаметр арматуры, с которой может быть использован фиксатор и расстояние от арматуры до основания опорной части фиксатора – определяющее толщину защитного слоя бетона. Технические характеристики бетона для фиксаторов, такие как: прочность, водонепроницаемость, коррозионная стойкость и т.д., должны соответствовать техническим характеристикам бетона основного изделия. Необходимо также чтобы площадь опорной части фиксаторов была минимальной: точечной или линейной, чтобы фиксатор с внешней стороны практически полностью был закрыт бетоном.

С целью выявления характера и степени влияния фиксаторов разных видов в бетоне и железобетоне на его расчетные характеристики был спланирован и поставлен эксперимент в заводских и лабораторных условиях. В ходе работ сравнивали влияние пластмассовых фиксаторов типа «звездочка» (рис. 2), а также бетонные фиксаторы сложной формы из бетона разной прочности (рис. 3).

В процессе проведения работ были изготовлены образцы-балочки размером $150 \times 150 \times 600$ мм и образцы-кубы размером $150 \times 150 \times 150$ мм. Всего были изготовлены пять партий образцов:

1. Эталонные образцы-балочки и кубы, неармированные и без фиксаторов.

2. Эталонные образцы-балочки армированные в нижнем поясе (арматура диаметром 14 мм) без фиксаторов с защитным слоем бетона 35 мм.

3. Образцы-балочки армированные (аналогично п.2) с пластмассовыми фиксаторами и кубы с пластмассовыми фиксаторами, заформованными в теле бетона в рабочем положении, но без арматуры.

4. Образцы-балочки армированные (аналогично п. 2) с бетонными фиксаторами и кубы с бетонными фиксаторами прочностью 20,0 МПа, заформованными в теле бетона в рабочем положении, но без арматуры.

5. Образцы-балочки армированные (аналогично п.2) с бетонными фиксаторами и кубы с бетонными фиксаторами прочностью 40,0 МПа, заформованными в теле бетона в рабочем положении, но без арматуры.



Рис. 2. Пластиковый фиксатор – «звездочка»



Рис. 3. Бетонный фиксатор

Прочность бетонных фиксаторов определялась по косвенным оценкам (по твердости): у одной части фиксаторов она не превышала 20,0 МПа, что на 30 % меньше проектной прочности бетона образцов, у другой части фиксаторов прочность была около 40,0 МПа, что на 30 % выше проектной прочности бетона образцов.

Каждая партия включала 3 образца-балочки и 3 образца-куба. Все образцы были изготовлены в одно и тоже время, из бетонной смеси одного замеса. Состав бетона с соотношением Ц : П : Щ : В = 1 : 2,7 : 4,0 : 0,67 на портландцементе М500(Д0). Использованный в эксперименте состав соответствовал расчетному составу бетона класса по прочности В22,5 (М300). В качестве заполнителей использовались гранитный щебень и кварцевый песок с модулем крупности $M_{кр} = 1,5$. Приготовленная бетонная смесь соответствовала подвижности П2 (осадка конуса 5–9 см), которая обеспечивалась добавкой СП «Pozzolith MR 55». Изготовленные образцы прошли тепловлажностную обработку. После распалубки образцы твердели в течение 68 суток в естественных воздушно-влажных условиях.

Затем образцы были испытаны на осевое сжатие и на растяжение при изгибе в соответствии с методикой, предложенной в работе (2):

1. Определены основные прочностные характеристики бетона: кубиковая прочность – R , призмная прочность – R_b .

2. Определены пределы прочности на растяжение при изгибе – $R_{тг}$ эталонных и армированных образцов-балочек без фиксаторов и с фиксаторами при контроле момента трещинообразования (2).

3. Определена водонепроницаемость – W , на образцах-кубах без фиксаторов и с фиксаторами разного вида.

4. Определены деформативные характеристики образцов-балочек: модуль упругости – E_b , коэффициента поперечной деформации – ν_b , предельная относительная деформация в момент образования трещины – $\epsilon_{тг}$, относительная деформация в момент разрушения – ϵ_{b0} .

При проведении испытаний по определению призмной прочности и прочности на растяжение при изгибе увеличение нагрузки осуществлялось ступенями, с пятиминутной выдержкой на ступени, при этом, с целью измерения предельных деформаций растяжения, в зоне максимальных растягивающих напряжений были закреплены маяки на базе 15 см, в которые устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм (рис. 4).

Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 1.



Рис. 4. Испытание образцов-балочек на растяжении при изгибе

Таблица 1

Результаты проведенных испытаний

№ пп	Вид образца	R, МПа	R _b , МПа	R _{тf} , МПа	E _b × 10 ³ , МПа	ε _{тf} × 10 ⁻⁵	ε _{b0} × 10 ⁻⁵	v _b	W М Па
1.	Эталонный (без арматуры)	50,7	41,7	4,1	34,3	19,5	228	0,213	8
2.	Эталонный (с арматурой)	-	-	4,7	-	22,8	-	-	-
3.	С пластиковым фиксатором	44,5	-	3,7	-	15,4	-	-	2
4.	С фиксатором из бетона М200	45,3	-	3,6	-	14,5	-	-	4
5.	С фиксатором из бетона М400	49,2	-	4,6	-	20,6	-	-	8

Результаты испытаний показывают, что на момент испытаний прочность бетона на сжатие R составила 50,7 МПа, что значительно (на 60 %) превысило расчетную марочную прочность, соответствующую 28 суткам нормального твердения, ввиду более продолжительного периода твердения (68 суток) и была выше прочности бетона фиксаторов в 1,2–2,5 раза. При этом прочность образцов-кубов с пластиковыми фиксаторами и фиксаторами из бетона прочностью 20,0 МПа была на 12–14 % ниже и составляла 44,5 МПа и 45,3 МПа соответственно. При испытании кубов с фиксаторами из бетона прочностью 40,0 МПа наблюдалось незначительное снижение прочности – 49,2 МПа.

Анализ результатов проведенного эксперимента свидетельствует о высокой дефектности структуры бетона $n_{тf} = R_b/R_{тf}$ (4), достигающей показателя – 10,2. При применении фиксаторов дефектность структуры увеличивается и составляет: 11,6 – для пластиковых фиксаторов, 11,7 – для бетонных (20,0 МПа). Однако применение бетонных фиксаторов с прочностью 40,0 МПа

способствует снижению дефектности структуры до 10,3, то есть близко к дефектности структуры бетона без фиксаторов.

Прочность на осевое растяжение, рассчитанная с коэффициентом 1,7 (4), соответствовала величине 2,41 МПа и была близка к значениям, представленным на графике представленном на рис. 4.

Существенные отклонения от линейности деформирования происходят на участке от 2,4 до 2,8 МПа, что совпадает с расчетной величиной. Данному уровню напряжений соответствует предельная относительная деформация растяжения равная $8 \div 9 \times 10^{-5}$. Следует отметить, что и в этом случае характер кривых напряжений у образцов-балочек с арматурой без фиксаторов и с фиксаторами из бетона (40,0 МПа) близки и превышают показания образцов без арматуры, а также с пластиковыми и бетонными (20,0 МПа) фиксаторами.

Подобным образом обстоит дело и с величиной предельной деформативности соответствующей моменту трещинообразования. Более низкие

показатели у образцов с бетонными фиксаторами прочностью 20,0 МПа, в сравнении с бетонными фиксаторами прочностью 40,0 МПа, подтверждают существенную роль в прочности конструкции прочности бетона фиксаторов. При прочности бетона фиксатора меньше прочности бетона конструкции, фиксатор можно также рассматривать как дефект – концентратор напряжения. Наличие фиксаторов весьма существенно сказалось на процессе трещинообразования. Так,

момент трещинообразования у образцов с пластиковыми фиксаторами снизился на 19,6 %, а с бетонными (20,0 МПа) фиксаторами на 21,7 %, по сравнению с армированными образцами без фиксаторов или с фиксаторами из бетона 40,0 МПа. При этом у образцов с пластиковыми и бетонными (20,0 МПа) фиксаторами трещиностойкость оказалась даже ниже, чем у образцов без арматуры на 9,85 и 12,2 % соответственно.

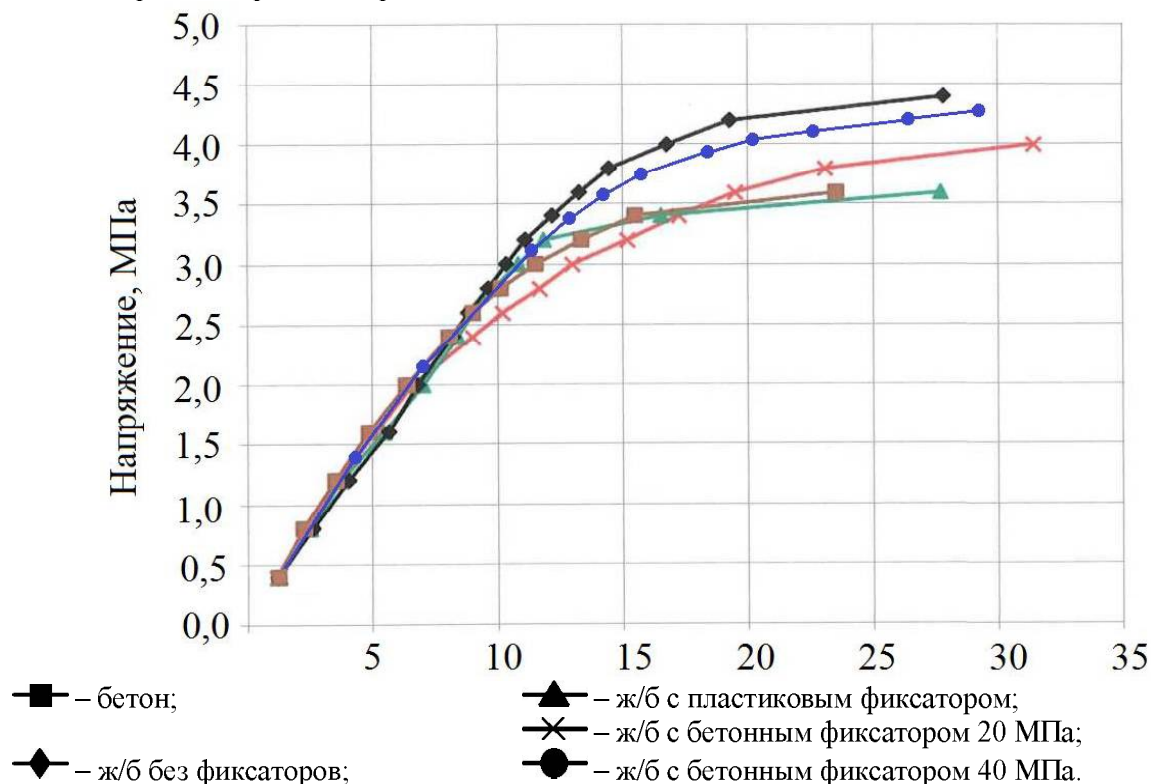


Рис. 5. Диаграммы деформирования бетона и железобетона на растяжение при изгибе

Проверка водонепроницаемости образцов, также подтвердила отрицательную роль пластиковых и бетонных фиксаторов с низкой прочностью. При этом применение бетонных фиксаторов с прочностью близкой к прочности бетона конструкции, практически не сказывается на показателях водонепроницаемости.

Выводы.

1. Из результатов проведенного эксперимента следует, что выбор фиксатора при расчете по трещиностойкости следует делать с учетом вида материала, из которого он изготовлен.

2. В ходе эксперимента было подтверждено, что использование пластиковых фиксаторов при армировании ЖБИ, приводит к снижению трещиностойкости на 20–22 %, что необходимо учитывать при проектировании сборных и монолитных железобетонных конструкций.

3. При применении бетонных фиксаторов важнейшим фактором их использования является

прочность бетона фиксаторов. Результаты испытаний показали, что использование бетонных фиксаторов с прочностью меньшей, чем у бетона конструкции в 2,5 раза, также ведет к снижению трещиностойкости на 20 %. Поэтому для конструкций, работающих в условиях повышенной агрессивности среды, недопустимо чтобы прочность бетона фиксатора была менее прочности бетона конструкции.

4. Учитывая то, что предельные растягивающие напряжения у бетона достаточно низкие, следует более ответственно подходить к выбору фиксаторов арматуры и проводить их экспериментальную проверку с оценкой их влияния на трещинообразование.

5. Водонепроницаемость железобетонных конструкций зависит от вида фиксаторов и существенно снижается при использовании пластиковых фиксаторов и бетонных фиксаторов с прочностью меньшей, чем у бетона конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 28.13330 - 2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85: введ. 2011-05-20 / Минрегион РФ. М.: ФАУ «ФЦС», 2012. 94с.
2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
3. Безгодов И.М., Борисюк Е.А., Кожевников М.М., Свиридов В.Н. Влияние фиксаторов арматуры на трещиностойкость железобетонных конструкций // Технологии бетонов. 2012. №7–8. С. 21–23.
4. Алексанин А.В. Перспективные направления развития организации строительства // Научное обозрение. 2015. № 10–1. С. 378–381.
5. Бахус Е.Е., Сборщиков С.Б. К вопросу совершенствования организационно-технологических решений обеспечения качества строительства объектов ядерной энергетики // Научное обозрение. 2016. № 14. С. 20–23.
6. Сборщиков С.Б. Организационные основы устойчивого развития энергетического строительства // Вестник МГСУ. 2010. № 4–2. С. 363–368.
7. Алексанин А.В. Актуальность проблемы управления строительными отходами при реновации территорий // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 9. С. 77–80.
8. Сборщиков С.Б., Свиридов И.А. О повышении эффективности ликвидации ветхого и аварийного жилья // Научное обозрение. 2016. № 22. С. 17–21.
9. Безгодов И.М. О соотношениях прочностных и деформативных характеристик бетона при сжатии, растяжении и растяжении при изгибе // Бетон и железобетон. 2012. №2. С. 2–5.
10. Сборщиков С.Б., Жаров Я.В. Организационно-технологическое проектирование в строительстве: вопросы нормативной документации // Научное обозрение. 2014. № 1. С. 223–226.
11. Caia W.G, Wub Y., Zhonga Y., Rena H. China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures // Energy Policy. 2009. №37. Pp. 2054–2059.
12. Hang Ma, Kan Zhu. Study on the renovation of old industrial district combined with the creative industry in Guangdong, China // Civil Engineering and Urban Planning. 2016. 4. Pp. 77–83.
13. Алексанин А.В., Маркевич А.И. Использование аддитивных технологий при возведении зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 62–65.
14. Жаров Я.В. Учет организационных аспектов при планировании строительного производства в энергетике // ПГС. 2013. №5. С. 69–71.

Информация об авторах

Борисюк Евгений Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии, организации и управления строительством.

E-mail: evgen1002@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Центральный федеральный округ, Ярославское шоссе, д. 26.

Бороденко Сергей Александрович, инженер.

E-mail: bos_123@mail.ru

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета.
Россия, 347928, Ростовская область, г. Таганрог, Некрасовский пер., д. 44.

Поступила в ноябре 2017 г.

© Борисюк Е.А., Бороденко С.А., 2018

E.A. Borisyuk, S.A. Borodenko

THE ROLE OF FIXTURES OF FITTINGS IN CONSTRUCTIONS OF REINFORCED CONCRETE

At present, in the manufacture of building structures made of reinforced concrete, plastic and concrete fixation fixtures are widely used to ensure the fixation of the steel reinforcing cage in a strictly designed position, in order to exclude the possibility of displacement of the reinforcing cage during concreting. Such a sufficiently rigid fixation is necessary for the subsequent reliable operation of the structure in the structure, as well as for the safety of the steel reinforcement protected by the necessary layer of concrete from corrosion. The information available in the literature does not allow one to judge the effect of the type of fixative, on the operational properties of reinforced concrete, such as: strength and crack resistance. The conducted experiments, according to the proposed method, showed that the strength and fracture toughness of samples using plastic and concrete (low grades) fixatives is somewhat lower than in samples without fixatives or with fixatives made of high-grade concrete. Based on the results of the research, it becomes possible to differentiate the areas of application of plastic and concrete fixatives

Keywords: plastic fasteners, concrete fasteners, strength, crack resistance.

Information about the authors

Evgeny A. Borisyuk, PhD, Senior lecturer.

E-mail: evgen1002@mail.ru

Moscow state university of civil engineering (national research university).

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Sergey A. Borodenko, Ingener.

E-mail: bos_123@mail.ru

Taganrog Technological Institute of Southern Federal University.

Russia, 347928, Rostov region, Taganrog, Nekrasovskiy lane, 44.

Received in November 2017