

05.23.01 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Исследования изгибаемых элементов со стеклопластиковой арматурой в жарких климатических условиях в примере Республики Таджикистан

УДК 661.6

Дадобоев А.И.

Старший преподаватель кафедры строительства, Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осимй (ХПИТТУ), г. Худжанд, Таджикистан; e-mail: dadaboev61@inbox.ru

Статья получена: 18.10.2020. Рассмотрена: 20.10.2020. Одобрена: 20.11.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

Аннотация. Показаны особенности и сравнительные характеристики металлической и композитной арматуры. Приведены теоретические и экспериментальные исследования прочностных характеристик бетонных балок, армированных стеклопластиковой и металлической арматурой. Применение арматуры из стеклопластики позволяет получить экономическую эффективность при строительстве кирпичных зданий.

Ключевые слова: бетонная балка, несущая способность, стеклопластиковая, композитная арматура, прочностные характеристики, деформация, разрушение, область рационального использования.

Экспериментально-теоретические исследования бетонных элементов со стеклопластиковой арматурой проводились в СССР [3]. В настоящее время в ряде других стран проводится достаточно большое количество исследований различных конструкций с полимеркомпозитной

арматурой [4–8]. В работах приведены результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик влияния агрессивных сред и температурных воздействий. Рассмотрены варианты повышения трещиностойкости бетонных изделий за счет использования полимерной арматуры, что очень важно для проведения строительных работ в районах с повышенной сейсмической активностью. Особое внимание уделено связи полимерной арматуры с бетоном. Рассмотрены способы повышения прочностных характеристик арматуры за счет модифицирования материала армирующих элементов и связующего. Обоснована перспективность модифицирования углеродными наноматериалами. Сформулированы задачи дальнейших исследований, направленных на повышение эксплуатационных характеристик полимерной арматуры.

Актуальность исследования деформационных свойств изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой (далее АКП) связана с

STUDIES OF BENDING ELEMENTS WITH FIBERGLASS FITTINGS IN HOT CLIMATIC CONDITIONS IN THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Dadoboev A.I.

Senior Lecturer, Department of Construction, Khujand Polytechnic Institute, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimiy (KhPITTU), Khujand, Tajikistan; e-mail: dadaboev61@inbox.ru

Manuscript received: 18.10.2020. **Revised:** 20.10.2020. **Accepted:** 20.11.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©RIOR

Abstract. Features and comparative characteristics of metal and composite reinforcement are shown. Theoretical and experimental studies of the strength characteristics of concrete beams reinforced with fiberglass and metal reinforcement are presented. The use of fiberglass reinforcement can be economically efficient in the construction of brick buildings.

Keywords: concrete beam, bearing capacity, fiberglass, composite reinforcement, strength characteristics, deformation, destruction, area of rational use.

существенными отличиями свойств композитов от стали: относительно низкий модуль упругости и прямолинейная форма диаграммы «напряжения-деформации». Разнообразные экспериментальные исследования [5–10] показали предсказуемые особенности работы элементов с композитной арматурой под нагрузкой: повышенная деформативность, преимущественно линейная зависимость «изгибающий момент — прогиб» после образования трещин. Прогибы изгибаемых элементов с АКП в 3–4 раза выше, чем у железобетонных аналогов. Однако к моменту разрушения образцов разница снижается до 40%, что связано с достижением напряжений в стальной арматуре предела текучести [10]. В связи с этим требования второй группы предельных состояний, предъявляемые к конструкциям, могут стать основным барьером для использования композитов в качестве армирования бетонных элементов. Таким образом, достоверность теоретической оценки деформационных свойств конструкций является важным и актуальным вопросом. На данный момент вопросы, связанные с расчетом конструкций по второй группе предельных состояний по методике СП 63.13330.2012, являются недостаточно изученными [4]. Перемычки, устанавливаемые в дверных и оконных проемах гражданских зданий, могут вместо стальной арматуры использовать композитную арматуру. Использование композитной арматуры дешевле и легче стальных по объемному весу. Методика расчёта полимеркомпозитной арматуры на изгиб основывается на существующих подходах для железобетонных конструкций, где сжатая арматура не учитывается, предельные величины ширины раскрытия трещин увеличены до 0,7 мм и 0,5 мм. Опытными образцами являются бетонные балки сечением 120 × 220 мм и длиной 1810 мм, армированные стальной (А400), стеклопластиковой (АСП) — ТУ 5769-248-35354501-2007 и базальтопластиковой (АБП) — ТУ 2296-001-60722703-2013 арматурой. В табл. 1 представлены характеристики опытных балок. Выполненные испытания проведены в условиях жаркого климата Республики Таджикистан.

Испытания проводились в соответствии с положениями ГОСТ 8829-94. Схема опирания и нагружения: балки свободно оперты по двум сторонам и нагружены сосредоточенными кра-

тковременными нагрузками на расстоянии $L/3$ с каждой стороны от опор (L — расстояние между опорами). На рис. 1 представлена принципиальная схема испытания исследуемых балок. Измеряемые параметры: внешняя нагрузка, прогиб в середине пролета, осадка опор, ширина раскрытия трещин, расстояние между трещинами, высота сжатой зоны, относительные деформации арматуры, сжатого и растянутого бетона.

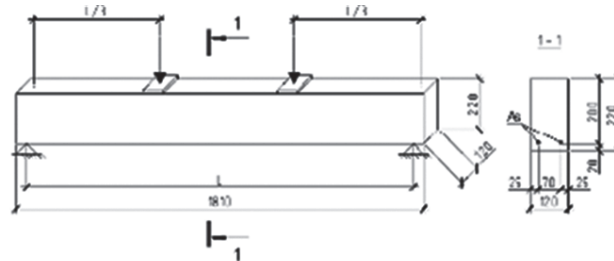


Рис. 1. Схема опирания и нагружения исследуемых балок

Необходимо отметить, что при характере разрушения балок из стеклопластиковой арматуры первые трещины появляются в середине балки в зоне чистого изгиба, что подтверждает низкую жесткость стеклопластиковой арматуры и высокую деформативность. Как видно, стеклопластиковые стержни арматуры легко изгибаются при изгибе балки и не препятствуют изгибу, как металлические арматурные стержни.

Исходя из опытов, приведенных в работах канд. техн. наук А.Б. Антакова, и анализа полученных данных, можно сделать вывод, что стеклопластиковую арматуру нельзя использовать в капитальном строительстве в бетонных конструкциях ригелей, плит перекрытия, колоннах, поскольку она имеет низкий модуль Юнга, и, следовательно, жесткость и практически не сопротивляется изгибу. Применение стеклопластиковой арматуры нужно ограничить на данном этапе армированием дорожного полотна на участках с агрессивным воздействием реагентов, ленточных фундаментов и других малоответственных конструктивных элементов. Поиск новых связующих компонентов, технологий изготовления или создания преднапряженных состояний для повышения упругих свойств стеклопластиковой арматуры является актуальной задачей строительной отрасли.

Это позволит активнее использовать стеклопластиковую арматуру при изготовлении и эксплуатации ответственных нагруженных конструктивных элементов зданий и сооружений. Полученные данные позволили выдвинуть предположение, что при выбранных условиях модифицирования строительного материала цеолит, попадая в структуру бетона, будет выполнять роль не только минеральной добавки, но и материала-носителя УНТ, что позволит равномерно распределить углеродные наночастицы в матрице строительного композита. С другой стороны, адсорбционные свойства цеолита будут усилены за счет наличия в структуре углеродных элементов. Структуры наномодифицирующих цеолитов и полученного строительного композита оценивались методом электронной сканирующей микроскопии (СЭМ). Электронные микрофотографии исследуемых объектов позволили объяснить процессы формирования структуры бетона, наномодифицированного комплексной полифункциональной добавкой на основе синтетического и природного цеолита и углеродного наноматериала.

Трещиностойкость особенно важна при строительстве в районах с повышенной сейсмической активностью, например, в Республике Ирак. Экономический эффект достигается как за счет минимальных расходов при изготовлении конструкций, так и в ходе эксплуатации за счет увеличенного срока их службы в агрессивных средах по сравнению с традиционной стальной арматурой. В работе [4] в результате экспериментальных исследований выявлено, что несущая способность балок с базальтопластиковой арматурой (БПА) в 1,5 и более раз выше несущей способности балок с металлической арматурой. Практически во всех случаях испытаний установлено, что наиболее эффективно работает внешняя оболочка БПА, в то время как сердечник — базальтовые волокна — работают в пределах 10–15% по объему. Аналогичные исследования базальтопластиковой арматуры представлены в работах [5–8]. На наш взгляд, одной из возможных причин является слабое сцепление волокон со связующим материалом. Стеклопластиковая арматура (АСП) — композитная арматура, изготавливаемая из стекловолокна, придающего прочность, и терморезистивных смол, выступающих в качестве связу-

ющего. Одним из плюсов стеклопластиковой арматуры являются малый вес и высокая прочность. Имея высокую прочность и коррозионную стойкость, является альтернативой арматуре из стали. Главным достоинством стеклополимерной арматуры считается свойственный ей высокий предел разрушающего воздействия — почти в 2,5 раза выше, чем у стали.

Композитная арматура применяется в промышленном и гражданском строительстве для возведения жилых, общественных и промышленных зданий, в малоэтажном и коттеджном строительстве для применения в бетонных конструкциях, для слоистой кладки стен с гибкими связями, для ремонта поверхностей железобетонных и кирпичных конструкций, а также при работах в зимнее время, когда в кладочный раствор вводятся ускорители твердения и противоморозные добавки, вызывающие коррозию стальной арматуры.

В дорожном строительстве применяется для сооружения бетонных насыпей, устройства покрытий, для элементов дорог, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололёдных реагентов, для смешанных элементов дороги, где их можно использовать. При использовании композитной арматуры в этих случаях необходимо учесть состав применяемых реагентов на дорогах в зимнее время года.

Прочностные характеристики композитной арматуры и, как следствие, армированных бетонных изделий зависят от сцепления арматуры с бетоном [4, с. 36–38]. Фактически с бетоном контактирует связующее, которое используется для формирования из волокон (стеклопластиковых, базальтовых или углеродных) стержня. В стержнях имеется также периодический профиль, который хорошо связывает композитную арматуру с бетоном. Таким образом, повышение прочности связующего и сцепления этого связующего с бетоном является резервом улучшения эксплуатационных характеристик композитной арматуры при ее использовании в бетонных изделиях. Таким образом, можно делать вывод о том, что композитная арматура может применяться в перемычках дверных и оконных проемов, а также в сплошных фундаментах, где имеются сжимающие нагрузки, в жарких климатических условиях, в том числе в Таджикистане.

Выводы. В изгибаемых элементах с небольшими нагрузками можно применять композитную и стеклоарматуру. При расчетах установлено, что получаемые изгибы не превышают установленных

норм. В многоэтажных кирпичных зданиях для перемычек окон и дверей можно использовать стекло и композитную арматуру, что позволит получить экономическую эффективность.

Литература

1. Антаков А.Б. Анализ нормативных подходов к оценке прочности нормальных сечений изгибаемых элементов, армированных полимеркомпозитной арматурой [Текст] / А.Б. Антаков, И.А. Антаков // Известия КГАСУ. — 2014. — № 1. — С. 75–80.
2. Антаков А.Б. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой [Текст] / А.Б. Антаков, И.А. Антаков // Известия КГАСУ. — 2014. — № 3. — С. 7–13.
3. Антаков А.Б. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой [Текст] / А.Б. Антаков, И.А. Антаков, А.Р. Гиздатуллин // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции НАСКР-2014. — Чебоксары, 2014. — С. 69–75.
4. Перельмутер М.А. Расчет ширины раскрытия нормальных трещин по СП 63.13330.2012 [Текст] / М.А. Перельмутер, К.В. Попок, Л.Н. Скорук // Бетон и железобетон. — 2014. — № 1. — С. 21–22.
5. Климов Ю.А. Экспериментальные исследования композитной арматуры на основе базальтового и стеклянного ровинга для армирования бетонных конструкций [Текст] / Ю.А. Климов, А.Д. Солдатченко, Ю.А. Витковский // Бетон и железобетон. — 2012. — № 2. — С. 106–109.
6. Al-Sunna R., Pilakoutas K., Hajirasouliha I., Guadagnini M. Деформационные свойства бетонных балок и плит, армированных АКП: экспериментальное исследование // Композиты. Часть В: Строительство. — 2012. — № 43 (5). — 23 с.
7. Barris C., Torres L., Comas J., Mias C. Трещинообразование и деформации балок армированных АСК: экспериментальное исследование // Композиты. Часть В. — 2013. — № 55. — С. 580–590.
8. El-Gamal S., AbdulRahman B., Benmokrane B. Деформационные свойства бетонных балок с различными типами стержней АСК // CICE 2010. 5-я Международная конференция о АКП композитах в области гражданского строительства. 27–29 сентября, 2010. — Пекин, Китай.
9. Pawlowskia D., Szumigalaa M. Поведение полномасштабных бетонных балок, армированных АБК, при изгибе — экспериментальные и численные исследования
10. Urbanski M., Garbacz A., Lapko A. Исследование бетонных балок, армированных базальтовыми стержнями, в качестве эффективной альтернативы традиционных железобетонных конструкций // Материалы 11-й Международной конференции по вопросам современных строительных материалов, конструкций и технологий.

References

1. Antakov A.B., Antakov I.A. Analiz normativnykh podhodo v k ocenke prochnosti normal'nykh sechenij izgibaemykh jelementov, armirovannykh polimerkompozitnoj armaturoj [Analysis of normative approaches to assessing the strength of normal sections of bending elements reinforced with polymer-composite reinforcement]. *Izvestija KGASU* [Izvestia KGASU]. 2014, I. 1, pp. 75–80.
2. Antakov A.B., Antakov I.A. Jeksperimental'nye issledovanija izgibaemykh jelementov s polimerkompozitnoj armaturoj [Experimental studies of bending elements with polymer composite reinforcement]. *Izvestija KGASU* [Izvestia KGASU]. 2014, I. 3, pp. 7–13.
3. Antakov A.B., Antakov I.A., Gizdatullin A.R. Jeksperimental'nye issledovanija izgibaemykh jelementov s predvaritel'no napriazhennoj polimerkompozitnoj armaturoj [Experimental studies of bending elements with prestressed polymer-composite reinforcement]. *Novoe v arhitekture, proektirovanii stroitel'nykh konstrukcij i rekonstrukcii: materialy VIII Vserossijskoj (II Mezhduнародnoj) konferencii NASKR-2014* [New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials of the VIII All-Russian (II International) conference NASKR-2014]. Cheboksary, 2014, pp. 69–75.
4. Perel'muter M.A., Popok K.V., Skoruk L.N. Raschet shiriny raskrytija normal'nykh treshhin po SP 63.13330.2012 [Calculation of the width of the opening of normal cracks according to SP 63.13330.2012]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2014, I. 1, pp. 21–22.
5. Klimov Ju.A., Soldatchenko A.D., Vitkovskij Ju.A. Jeksperimental'nye issledovanija kompozitnoj armatury na osnove bazal'tovogo i stekljannogo rovinga dlja armirovanija betonnykh konstrukcij [Experimental studies of composite reinforcement based on basalt and glass roving for reinforcement of concrete structures]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2012, I. 2, pp. 106–109.
6. Al-Sunna R., Pilakoutas K., Hajirasouliha I., Guadagnini M. Deformacionnye svojstva betonnykh balok i plit, armirovannykh AKP: jeksperimental'noe issledovanie [Deformation properties of concrete beams and slabs reinforced with ACP: an experimental study]. *Kompozity Chast' B: Stroitel'stvo* [Composites Part B: Construction]. 2012, I. 43 (5), 23 p.
7. Barris C., Torres L., Comas J., Mias C. Treshhinoobrazovanie i deformacii balok armirovannykh ASK: jeksperimental'noe issledovanie [Cracking and deformation of beams reinforced with ASK: an experimental study]. *Kompozity Chast' B* [Composites Part B]. 2013, I. 55, pp. 580–590.
8. El-Gamal S., AbdulRahman B., Benmokrane B. Deformacionnye svojstva betonnykh balok s razlichnymi tipami sterzhnej ASK [Deformation properties of concrete beams with different types of ASK rods]. *CICE 2010. 5-ja Mezhduнародnaja konferencija o AKP kompozitah v oblasti grazhdanskogo stroitel'stva. 27–29 sentjabrja, 2010* [CICE 2010. 5th International Conference on ACP composites in the field of civil engineering. September 27–29, 2010]. Pekin.
9. Pawlowskia D., Szumigalaa M. Povedenie polnomasshtabnykh betonnykh balok, armirovannykh ABK, pri izgibe — jeksperimental'nye i chislennye issledovanija [Bending behavior of full-scale concrete beams reinforced with ABC — experimental and numerical studies].
10. Urbanski M., Garbacz A., Lapko A. Issledovanie betonnykh balok, armirovannykh bazal'tovymi sterzhnjami, v kachestve jeffektivnoj al'ternativy tradicijnykh zhelezobetonnykh konstrukcij [Research of concrete beams reinforced with basalt rods as an effective alternative to traditional reinforced concrete structures]. *Materialy 11-j Mezhduнародnoj konferencii po voprosam sovremennykh stroitel'nykh materialov, konstrukcij i tehnologij* [Materials of the 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Technologies].