

УДК 624.012.464:624.046.2(575.3)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
СО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ  
В ЖАРКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

*А.И. Дадобоев*

Приведены особенности и сравнительные характеристики металлической и композитной арматуры, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований прочностных характеристик бетонных балок, армированных стеклопластиковой и металлической арматурой. Применение арматуры из стеклопластика позволит повысить экономическую эффективность при строительстве кирпичных зданий. Результаты испытания бетонных балок в кирпичных, а также в блочных жилых зданиях показали предсказуемые особенности работы элементов с композитной арматурой под нагрузкой: повышенную деформативность, преимущественно линейную зависимость; изгибающий момент – прогиб после образования трещин. Доказана целесообразность применения композитной арматуры на деформируемых участках. Даны рекомендации по применению стеклопластиковой арматуры в качестве деформируемых балок.

*Ключевые слова:* бетонная балка; несущая способность; стеклопластиковая, композитная арматура; прочностные характеристики; деформация; разрушение.

---

**ТАЖИКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫН МИСАЛЫНДА  
ЫСЫК КЛИМАТТЫК ШАРТТАРДА АЙНЕК ПЛАСТИК  
АРМАТУРАСЫ КАМТЫЛГАН ИЙИЛҮҮЧҮ ЭЛЕМЕНТТЕРДИ ИЗИЛДӨӨ**

*А.И. Дадобоев*

Бул мақалада металл жана композиттик арматуралардын өзгөчөлүктөрү жана салыштырма мүнөздөмөлөрү, ошондой эле айнек пластик жана металл арматура менен арматураланган бетон устундардын бекемдигине теориялык жана эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктары берилди. Кыштан курулган имараттарды курууда айнек пластиктен жасалган арматураны колдонуу алардын экономикалык натыйжалуулугун жогорулатууга мүмкүндүк берет. Кыштан, ошондой эле блоктон тургузулган турак жайларда бетон устундарды сыноонун жыйынтыктары басым алдында композиттик арматура менен элементтердин алдын ала белгилүү болгон өзгөчөлүктөрүн көрсөттү: жогорулатылган деформациялуулугу, ийилүү учурунун тилкелик көз карандылыгы - жарылуу пайда болгондон кийин ийилүү. Деформациялануучу тилкелерде композиттик арматураны колдонуунун максатка ылайыктуулугу далилденди. Деформациялануучу устун катары айнек пластик арматураны колдонуу боюнча сунуштар берилди.

*Түйүндүү сөздөр:* бетон устун; көтөрүү жөндөмдүүлүгү; айнек пластик; композиттик арматура; бекемдик мүнөздөмөсү; деформация; бузуу.

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

*A.I. Dadoboev*

The 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. Concrete beams were tested in brick and block residential buildings. When tested, they showed predictable features of the operation of elements with composite reinforcement under load: increased deformability, predominantly a linear dependence of the bending moment - deflection after cracking. The expediency of using composite reinforcement in deformable areas has been proven expediently. Advice is given on the use of glass-plastic reinforcement as deformable beams.

*Keywords:* concrete beam; bearing capacity; fiberglass; composite reinforcement; strength characteristics; deformation; destruction.

Известны результаты теоретических исследований и экспериментальных испытаний бетонных элементов со стеклопластиковой арматурой, которые проводились еще в СССР [1]. В настоящее время в ряде стран также проводится достаточно большое количество исследований различных конструкций с полимеркомпозитной арматурой [2–8]. Исследуются прочностные характеристики, влияние агрессивных сред и температурных воздействий. Изучаются варианты повышения трещиностойкости бетонных изделий за счет использования полимерной арматуры, что очень важно для проведения строительных работ в районах с повышенной сейсмической активностью [9]. Особое внимание уделяется связи полимерной арматуры с бетоном. Рассматриваются способы повышения прочностных характеристик арматуры за счет модифицирования материала армирующих элементов и связующего. Обосновывается перспективность модифицирования углеродными наноматериалами [10].

Актуальность исследований деформационных свойств изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой (АКП) связана с существенными отличиями свойств композитов от стали: относительно низкий модуль упругости и прямолинейная форма диаграммы «напряжения-деформация». Экспериментальные исследования [3–10] показали предсказуемые особенности работы элементов с композитной арматурой под нагрузкой: повышенную деформативность, преимущественно линейную 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 очень важной. На данный момент вопросы, связанные с расчетом конструкций по второй группе предельных состояний, по методике СП 63.13330.2012, являются недостаточно изученными [2]. Перемычки из композитных материалов, устанавливаемые в дверных и оконных проемах гражданских зданий, можно использовать вместо стальной арматуры. Использование композитной арматуры дешевле и легче стальной. Методика расчёта изгиба полимеркомпозитной арматуры основана на существующем подходе, применяемом для железобетонных конструкций, где сжатая арматура не учитывается, предельные величины ширины раскрытия трещин увеличены до 0,5–0,7 мм. В качестве опытных образцов использовали 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 таблице 1 приведены характеристики опытных балок.

Испытания проводили в жарких климатических условиях республики Таджикистан в соответствии с положениями ГОСТ 8829–94. Схема опирания и нагружения следующая: балки свободно

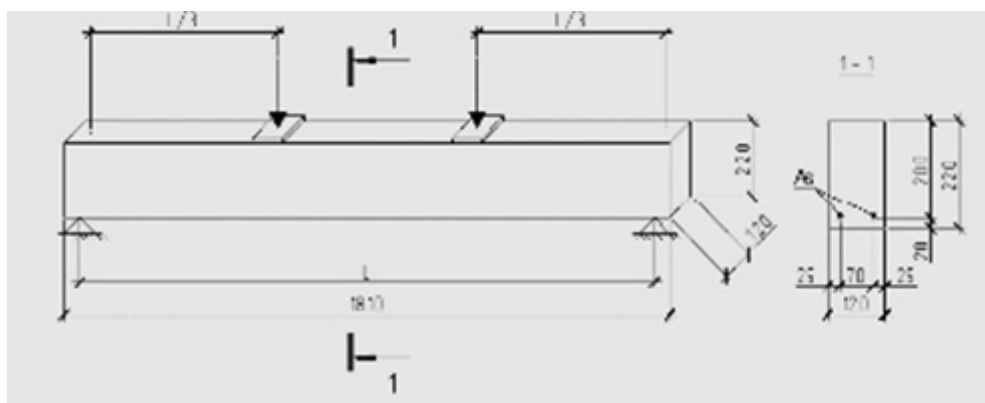


Рисунок 1 – Схема опирания и нагружения исследуемых балок

оперты по двум сторонам и нагружены сосредоточенными кратковременными нагрузками на расстоянии  $L/3$  с каждой стороны от опор ( $L$  – расстояние между опорами). На рисунке 1 приведена 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.

Необходимо отметить, что характер разрушения балок из стеклопластиковой арматуры и первые трещины появляются в середине балки в зоне чистого изгиба, что подтверждает низкую жесткость стеклопластиковой арматуры и высокую деформативность. Стеклопластиковая арматура легко поддается изгибу и не препятствует металлическим элементам.

Анализ результатов опытных работ к.т.н. А.Б. Антакова показывает, 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. Использование стеклопластиковой арматуры следует пока ограничивать 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 позволит активнее использовать ее при изготовлении и эксплуатации ответственных нагруженных конструктивных элементов зданий и сооружений.

Данные экспериментов позволили также 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. Это позволит равномерно распределить углеродные наночастицы в матрице строительного композита, а адсорбционные свойства цеолита будут усилены за счет наличия в структуре углеродных элементов. Структура нано-модифицирующих цеолитов и полученного строительного композита оценивалась методом электронной сканирующей микроскопии (СЭМ). Электронные микрофотографии исследуемых объектов позволили объяснить процессы формирования структуры бетона, нано-модифицированного комплексной полифункциональной добавкой на основе синтетического и природного цеолита и углеродного нано-материала.

Трещиностойкость особенно важна при строительстве в районах с повышенной сейсмической активностью. 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 [2] на основании экспериментальных исследований было установлено, что несущая способность балок с базальтопластиковой арматурой (БПА) в 1,5 и более раз выше несущей способности балок с металлической арматурой. Было установлено, что наиболее эффективно работает внешняя оболочка БПА, в то время как сердечник – базальтовые

волокна – работают в пределах 10–15 % по объему. Результаты аналогичных исследований базальтопластиковой арматуры приведены в работах [3–9]. На наш взгляд, одной из возможных причин этого является слабое сцепление волокон со связующим материалом. Стеклопластиковая арматура (АСП) – это композитная арматура, изготавливаемая из стекловолокна, придающего ей прочность, и термореактивных смол, выступающих в качестве связующего. Одним из плюсов стеклопластиковой арматуры являются малый вес, высокая прочность и коррозионная стойкость, что является альтернативой арматуре из металла. Главным достоинством стеклополимерной арматуры считается свойственный ей высокий предел разрушающего воздействия – почти в 2,5 раза выше, чем у стали.

Композитная арматура используется в промышленном и гражданском строительстве для возведения жилых, общественных и промышленных зданий, в малоэтажном и коттеджном строительстве, 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 она применяется для сооружения бетонных насыпей, устройства покрытий, для элементов дорог, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололёдных реагентов, используется для смешанных элементов при строительстве дорог.

Прочностные характеристики композитной арматуры и, как следствие, армированных бетонных изделий, зависят от сцепления арматуры с бетоном [2, 4, 5, 8]. Фактически с бетоном контактирует связующее, которое используется для формирования из волокон (стеклопластиковых, базальтовых или углеродных) стержней. В стержнях присутствуют периодические профили, которые хорошо связывают 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. Композитную арматуру можно использовать в перемычках дверных и оконных проемов, а также в сплошных фундаментах, где присутствуют сжимающие нагрузки в жарких климатических условиях, в том числе в Таджикистане.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что в изгибаемых элементах с небольшими нагрузками можно применять композитную и стеклополимерную арматуру. Результаты расчетов показали, что получаемые изгибы не превышают установленных норм. В многоэтажных кирпичных зданиях допускается использовать стекло- и композитную арматуру для перемычек окон и дверей, что может существенно повысить экономическую эффективность строительства.

#### *Литература*

1. Антаков А.Б. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой / А.Б. Антаков, И.А. Антаков, А.Р. Гиздагуллин // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: матер. VIII Всерос. (II междунар.) конференции НАСКР-2014. Чебоксары, 2014. С. 69–75.
2. Перельмутер М.А. Расчет ширины раскрытия нормальных трещин по СП 63.13330.2012 / М.А. Перельмутер, К.В. Попок, Л.Н. Скорук // Бетон и железобетон. 2014. № 1. С. 21–22.
3. Климов Ю.А. Экспериментальные исследования композитной арматуры на основе базальтового и стекловолокнистого ровинга для армирования бетонных конструкций / Ю.А. Климов, А.Д. Солдатченко, Ю.А. Витковский // Бетон и железобетон. 2012. № 2 (7). С. 106–109.
4. Al-Sunna R. Деформационные свойства бетонных балок и плит, армированных АКП: экспериментальное исследование / R. Al-Sunna, K. Pilakoutas, I. Hajirasouliha, M. Guadagnini // Композиты. Часть В: Строительство. 2012. № 43 (5). 23 с.
5. Barris C. Трещинообразование и деформации балок армированных АСК: экспериментальное исследование / C. Barris, L. Torres, J. Comas, C. Mias // Композиты. Часть В. 2013. № 55. С. 580–590.
6. El-Gamal S. Деформационные свойства бетонных балок с различными типами стержней АСК / S. El-Gamal, B. VAbdulRahma, B. Venmokrane // Матер. 5-й междунар. конф. о АКП композитах в области гражданского строительства. CICE, 2010. 27–29 сентября. Пекин, 2010.

7. *Pawlowska D.* Поведение полномасштабных бетонных балок, армированных АБК, при изгибе – экспериментальные и численные исследования / *D. Pawlowska, M. Szumigala.* М., 1982.
8. *Urbanski M.* Исследование бетонных балок, армированных базальтовыми стержнями, в качестве эффективной альтернативы традиционных железобетонных конструкций / *M. Urbanski, A. Garbacz, A. Larko* // Матер. 11-й межд. конф. по вопросам современных строительных материалов, конструкций и технологий. 18 февр., 2018. Польша.
9. *Антаков А.Б.* Анализ нормативных подходов к оценке прочности нормальных сечений изгибаемых элементов, армированных полимеркомпозитной арматурой / *А.Б. Антаков, И.А. Антаков* // Известия КГАСУ. 2014. № 1 (27). С. 75–80.
10. *Антаков А.Б.* Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой / *А.Б. Антаков, И.А. Антаков* // Известия КГАСУ. 2014. № 3 (29). С. 7–13.