



УДК 69.07

DOI: 10.22227/2949-1622.2025.1.26-34

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH ARTICLE

Использование композитной полимерной арматуры в бетонных конструкциях, подверженных динамическим воздействиям

А.Н. Мамин^{1, 2*}, С.К. Хлебников^{2, 3}

¹ Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений — ЦНИИПромзданий (АО «ЦНИИПромзданий»), Москва, Российская Федерация;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Российская Федерация;

³ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва, Российская Федерация

* otozs@yandex.ru

Ключевые слова: неметаллическая арматура, арматура композитная полимерная, бетонные конструкции, диаграмма деформирования, динамическое нагружение

История статьи

Поступила в редакцию: 30.01.2025

Доработана: 05.02.2025

Принята к публикации: 07.02.2025

Для цитирования

Мамин А.Н., Хлебников С.К. Использование композитной полимерной арматуры в бетонных конструкциях, подверженных динамическим воздействиям // Железобетонные конструкции. 2025. Т. 9. № 1. С. 26–34.

Аннотация. В статье рассмотрены свойства композитной полимерной арматуры (АКП) и ее использование в бетонных конструкциях. АКП, обладая высокой прочностью на растяжение, низкой плотностью и устойчивостью к коррозии, является перспективной альтернативой традиционной стальной арматуре, особенно в агрессивных средах. Однако широкое применение АКП ограничено рядом факторов, среди которых недостаточная изученность поведения АКП и бетонных конструкций с ее использованием при динамических воздействиях. В статье описана структура АКП как гетерогенного анизотропного материала, состоящего из непрерывных армирующих волокон и полимерной матрицы. Отображена классификация АКП с анализом ее физико-механических свойств при статическом, длительном и динамическом нагружениях, а также методики расчета армобетонных конструкций с ее использованием. Приведена диаграмма деформирования для статического растяжения и сжатия, полученная по результатам испытаний АКП. При кратковременном статическом нагружении АКП деформируется упруго без образования пластических зон, однако при длительном воздействии из-за ползучести полимеров происходит снижение прочностных характеристик АКП. Поведение композитной арматуры при динамических воздействиях остается малоизученным, однако ряд исследователей отмечают наличие эффекта динамического упрочнения при действии кратковременной динамической нагрузки. Для определения влияния скорости деформирования на свойства АКП необходимы дополнительные исследования. В работе предложены рекомендации по моделированию нагружения при испытаниях изгибаемых элементов, учитывающие особенности их деформирования при динамической знакопеременной нагрузке. Анализ полученных результатов показывает необходимость проведения дальнейших исследований АКП в условиях циклического динамического нагружения, что позволит расширить сферу применения полимеркомпозитной арматуры в строительстве.

© Мамин А.Н., Хлебников С.К., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Use Fiber-Reinforced Polymer Bars in Concrete Structures Subject to Dynamic Loads

A.N. Mamin^{1, 2*}, S.K. Khlebnikov^{2, 3}

¹ Central Scientific Research and Project Experimental Institute of Industrial Buildings and Constructions, Moscow, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russian Federation;

³ Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation

* otozs@yandex.ru

Keywords: non-metallic fitting, fiber-reinforced polymer bars, concrete structures, deformation diagram, dynamic loading

Article history

Received: 30.01.2025

Revised: 05.02.2025

Accepted: 07.02.2025

For citation

Mamin A.N., Khlebnikov S.K. Use Fiber-Reinforced Polymer Bars in Concrete Structures Subject to Dynamic Loads. *Reinforced Concrete Structures*. 2025; 1(9):26-34.

Abstract. The article examines the properties of fiber-reinforced polymer bars (FRP bars) and its use in concrete structures. With its high tensile strength, low density, and corrosion resistance, FRP bars presents a promising alternative to traditional steel reinforcement, particularly in aggressive environments. However, its widespread application is limited by several factors, including the insufficient study of FRP bars behavior and the performance of concrete structures reinforced with it under dynamic loads. The article describes FRP bars as a heterogeneous anisotropic material composed of continuous reinforcing fibers and a polymer matrix. It provides a classification of FRP bars, analyzes its physical and mechanical properties under static, long-term, and dynamic loading conditions, and discusses calculation methods for reinforced concrete structures incorporating FRP bars. A deformation diagram for static tension and compression, obtained from experimental tests, is presented. Under short-term static loading, FRP bars deforms elastically without forming plastic zones. However, under prolonged exposure, polymer creep leads to a reduction in FRP bars' strength characteristics. The behavior of fiber-reinforced polymer bars under dynamic loads remains underexplored, although some studies indicate the presence of a dynamic hardening effect under short-term dynamic loading. Additional research is needed to determine the influence of strain rate on FRP bars properties. The study proposes recommendations for modeling loading conditions in tests of flexural elements, considering their deformation behavior under cyclic dynamic loads. The analysis of the obtained results highlights the need for further research on FRP bars under cyclic dynamic loading, which would expand the scope of fiber-reinforced polymer bars applications in construction.

ВВЕДЕНИЕ

Для кардинального повышения сопротивления бетона силовым воздействиям в строительных конструкциях сегодня в основном традиционно применяют стальную арматуру, главным недостатком которой является низкая коррозионная стойкость. Коррозия арматуры с течением времени становится одним из основных механизмов деградации железобетонных конструкций, снижая их несущую способность и срок безопасной эксплуатации [2, 10, 12].

Александр Николаевич Мамин, доктор технических наук, начальник отдела, АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений — ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»), 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2; профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; AuthorID: 376930, E-mail: otozs@yandex.ru

Сергей Константинович Хлебников, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, корп. 5; аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 9420-7523, E-mail: s.khlebnikov@mail.ru

Aleksandr N. Mamin, Doctor of Sciences in Technology, Head of the Department, Central Scientific Research and Project Experimental Institute of Industrial Buildings and Constructions, 46, bld. 2, Dmitrovskoe shosse, Moscow 12723, Russian Federation; Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavlshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; AuthorID: 376930, E-mail: otozs@yandex.ru

Sergey K. Khlebnikov, Junior Researcher, Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 6, bld. 5, 2nd Institutskaya str., Moscow, 109428, Russian Federation; PhD student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavlshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; eLIBRARY SPIN-code: 9420-7523, E-mail: s.khlebnikov@mail.ru

В последнее время все большее распространение получают неметаллические композитные материалы, которые практически не подвержены коррозии, поэтому применение композитной полимерной арматуры (АКП) позволяет повысить надежность конструкций, особенно находящихся в агрессивных средах, и сократить эксплуатационные затраты за счет увеличения межремонтных интервалов [5].

По сравнению со стальной, композитная полимерная арматура имеет и другие преимущества: более высокая прочность на растяжение, радиопрозрачность и электромагнитная инертность, низкая теплопроводность, а также упрощающие транспортировку и монтаж небольшой удельный вес и простота обработки арматуры на строительной площадке. К основным недостаткам АКП, затрудняющим ее применение в строительстве, относятся низкая огнестойкость, высокая деформативность, сложность создания предварительного натяжения, несвариваемость композитных материалов, нетехнологичность изготовления гнутых элементов, сложность идентификации армирования в существующих конструкциях при обследовании их технического состояния.

Еще один фактор, ограничивающий применение полимерной арматуры — недостаточность достоверных сведений о сопротивлении бетонных конструкций, армированных АКП, динамическим воздействиям, которые часто необходимо учитывать как при основных, так и при особых сочетаниях нагрузок. Как следствие, в нормативных документах РФ использование арматуры из полимерных материалов в конструкциях, подверженных динамическим воздействиям, не предусмотрено.

Отметим также, что большинство действующих отечественных и зарубежных нормативных документов являются модификацией аналогичных норм по расчету железобетонных конструкций и реализуют принцип расчета бетонных конструкций с АКП по методу предельных состояний. Внесенные изменения, как правило, связаны с использованием коэффициентов надежности по материалу и понижающих коэффициентов условий работы АКП, нормированием ее характеристик, а также более осторожным подходом при описании конструктивных требований к армированным АКП бетонным конструкциям [8, 11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Композитная полимерная арматура представляет собой гетерогенный анизотропный материал в форме стержня. Он состоит из ориентированных непрерывных высокопрочных неметаллических волокон (стеклянных, базальтовых, углеродных, арамидных или их комбинации) и матрицы из полимерного связующего (термопластичного или терморезистивного). Волокна являются основным несущим элементом, воспринимающим нагрузку, а матрица защищает их от механических и химических воздействий, объединяет в единый конструктивный элемент и распределяет усилия между отдельными волокнами. В зависимости от типа армирующих волокон различают стеклокомпозитную (АСК), базальтокомпозитную (АБК), углекомпозитную (АУК) и органокомпозитную (ААК) арматуру (рис. 1).

Для улучшения сцепления с бетоном на поверхности стержней формируют периодический профиль, образованный намоткой на стержень дополнительного волокна, или создают песчано-эпоксидное покрытие.

Физико-химические и механические характеристики АКП существенно отличаются от характеристик традиционной стальной арматуры. Характерны высокие показатели прочности при растяжении (800–3000 МПа), пониженные значения модуля упругости (45–160 ГПа). Свойства АКП зависят не только от типа используемого армирующего волокнистого материала, вида полимерного связующего, их объемного соотношения, но и от технологии изготовления. По этой причине характеристики арматуры разных видов и разных производителей могут значительно различаться [3, 6, 8].



Рис. 1. Виды арматуры композитной полимерной (АКП)
Fig. 1. Types of fiber-reinforced polymer bars (FRP bars)

Многие исследователи выявили также, что прочность и модуль упругости АКП при растяжении чувствительны к ее диаметру: с увеличением диаметра арматуры эти параметры уменьшаются вследствие неравномерности распределения между волокнами внутренних усилий. В отдельных случаях при увеличении диаметра отмечено снижение прочности на величину до 35 % [4, 9, 13].

Экспериментально установлено, что прочность АКП при сжатии меньше, чем при растяжении [7, 8]. Это согласуется с ожидаемым механизмом разрушения композита от потери устойчивости сжатых волокон внутри матрицы и, соответственно, ее разрыва в поперечном направлении. В отечественных и большинстве зарубежных нормативных документов для всех типов АКП расчетное значение сопротивления сжатию принимают равным нулю.

Расчет армобетонных конструкций с АКП выполняют по СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные композитной полимерной арматурой. Правила проектирования». Методики расчетов являются адаптацией, а в большинстве своем полностью повторяют методики расчета железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». При этом расчетные характеристики стальной растянутой арматуры заменяют аналогичными характеристиками АКП, а для сжатой арматуры принимают равными нулю. В настоящее время расчет армобетонных конструкций с АКП производят по первой и второй группам предельных состояний на действие статических нагрузок. Длительность нагружения учитывают понижением расчетного сопротивления растяжению АКП до 30–60 %, в зависимости от типа арматуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Свойства АКП при статическом кратковременном нагружении

При кратковременном воздействии растяжение АКП на всем диапазоне нагружения происходит линейно, без образования пластических деформаций.

Предел прочности и модуль упругости при кратковременном растяжении являются основными нормируемыми и контролируемыми показателями. Методики испытаний отражены в соответствующих документах ACI, ASTM, JSCE, а также в российских стандартах. Вступающий

в действие с 1 июня 2025 г. ГОСТ 32492–2024 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик» обобщает и систематизирует имеющийся список методов определения физико-механических характеристик АКП, в том числе при динамических нагружениях.

Проведенные в январе 2024 г. на базе Испытательного центра НИИЖБ испытания стеклокомпозитной арматуры на прочность и деформативность при сжатии и растяжении подтвердили упругое деформирование АКП вплоть до разрушения. Серии образцов стеклокомпозитной арматуры диаметром 12 мм (по 3 образца в серии) были доведены до разрушения сжимающей и растягивающей нагрузками. С применением тензометрического метода были получены диаграммы деформирования АКП (рис. 2). При этом средние значения модуля упругости и предела прочности при растяжении составили $E_f = 50$ ГПа и $\sigma_B = 1060$ МПа, а при сжатии эти характеристики снизились до $E_f = 32$ ГПа и $\sigma_{вс} = 915$ МПа.

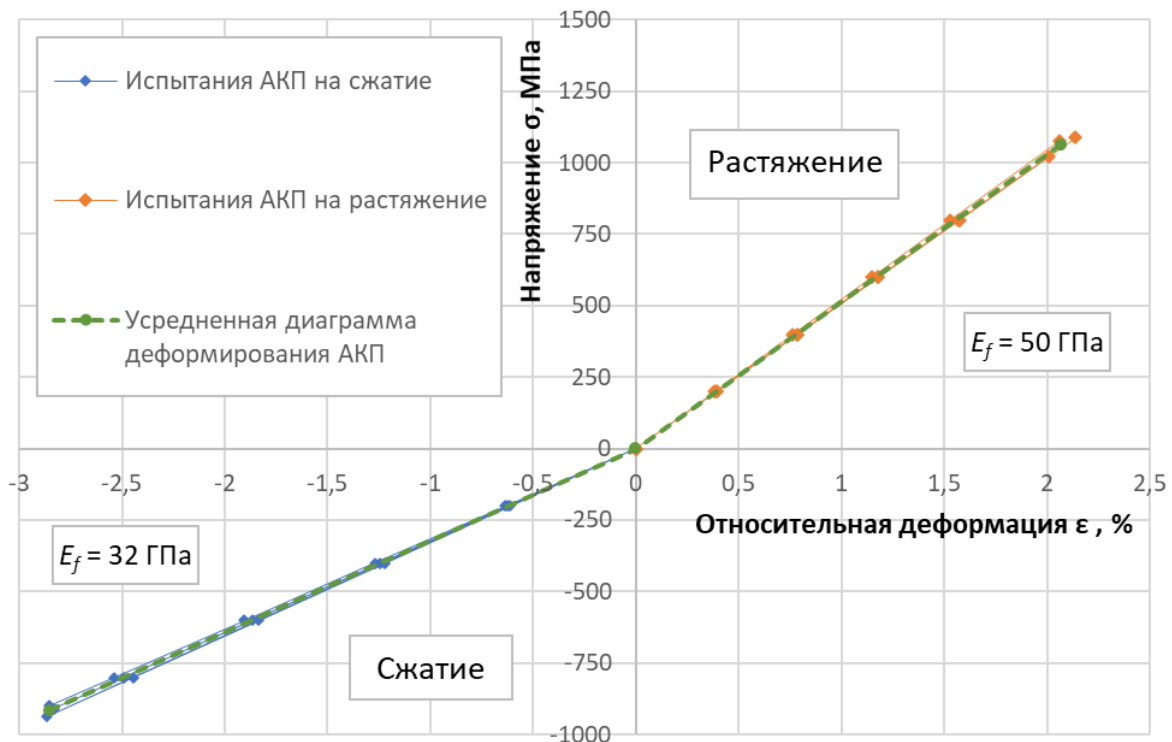


Рис. 2. Диаграмма деформирования АКП
Fig. 2. Deformation diagram of FRP bars

Свойства АКП при длительном нагружении

При длительном нагружении прочность АКП со временем снижается. Данный эффект во многом зависит от типа полимерного связующего (полимерам свойственна ползучесть), волокон и температурно-влажностных характеристик среды. В настоящее время исследования данного вопроса продолжаются. Согласно СП 295.1325800.2017 расчетное сопротивление АКП растяжению при длительном действии нагрузок составляет 30...60 % от нормативного значения в зависимости от типа арматуры.

Свойства АКП при динамических воздействиях

При динамических воздействиях прочностные и деформационные характеристики материалов отличаются от аналогичных характеристик, полученных при статических испытаниях. Влияние скорости деформирования на свойства АКП сегодня малоизучено. Некоторые зарубежные исследования показали, что значения модуля упругости и предела прочности для АКП

чувствительны к изменению скорости деформирования, при этом величина предельных деформаций изменяется в меньшей степени [14, 15].

Выявлено динамическое упрочнение при действии кратковременного динамического растяжения и сжатия. Так, авторы работы [7], обобщая, предлагают использовать при расчетах значения расчетных коэффициентов динамического упрочнения для АКП, равные $k_{f,d} = 1 \dots 1,15$ при растяжении и $k_{fc,d} = 1 \dots 1,1$ при сжатии.

Армированные АКП бетонные конструкции при динамических воздействиях

В нормативных документах и рекомендациях различных организаций РФ расчеты бетонных конструкций с композитной арматурой при динамических воздействиях не рассмотрены. Нет также рекомендаций по проведению динамических испытаний, и для экспериментов возникает необходимость создания соответствующей методики.

При этом имеется достаточный опыт экспериментальных исследований железобетонных конструкций, который, очевидно, следует учесть при разработке такой методики.

Так, для моделирования малоцикловых динамических нагружений часто применяют приложение возрастающих знакопеременных нагрузок, график изменения которых показан на рис. 3, а [1, 16 и др.].

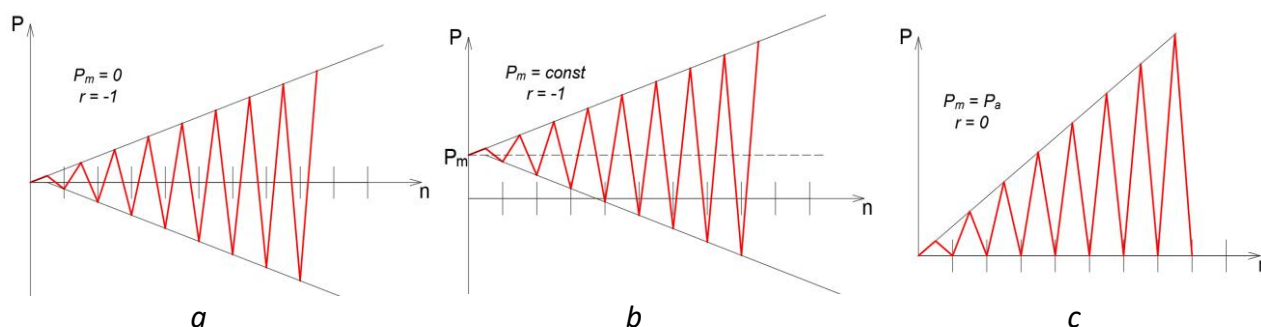


Рис. 3. Графики изменения нагрузки при симметричном (а), асимметричном (b) и пульсирующем (c) циклах нагружения

Fig. 3. Load change graphs for symmetric (a), asymmetric (b), and pulsating (c) loading cycles

Отметим, что такое моделирование может быть не совсем корректным для изгибаемых горизонтальных элементов, так как предусматривает симметричный цикл нагружения с коэффициентом асимметрии $r = -1$. В пределах одного цикла приложенные усилия достигают максимального (P_{\max}) и минимального (P_{\min}) значений. В случае симметричного цикла эти значения по абсолютной величине равны, а при асимметричном цикле может быть выделена переменная составляющая с амплитудой (1) и постоянная составляющая (2):

$$P_a = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2}, \tag{1}$$

$$P_m = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2}. \tag{2}$$

В зависимости от соотношения (3) цикл переменных нагрузок может быть симметричным ($P_m = 0, r = -1$), пульсирующим ($\sigma_m = \sigma_a, r = 0$) или асимметричным при любых других значениях:

$$r = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}. \tag{3}$$

Поскольку к горизонтальным элементам, как правило, приложена полезная нагрузка, их испытания на изгиб следует проводить с асимметричным циклом (рис. 3, b). Пульсирующий цикл можно рекомендовать при испытаниях на растяжение, как это было принято в работе [1], а симметричный — на изгиб вертикальных конструкций.

Применение современного оборудования дает возможность в полуавтоматическом режиме проводить испытания и получать графики показаний измерительных приборов для контролируемых в эксперименте параметров. На рис. 4 приведен пример графика перемещений, полученных по показаниям электронных прогибомеров в испытаниях [1].

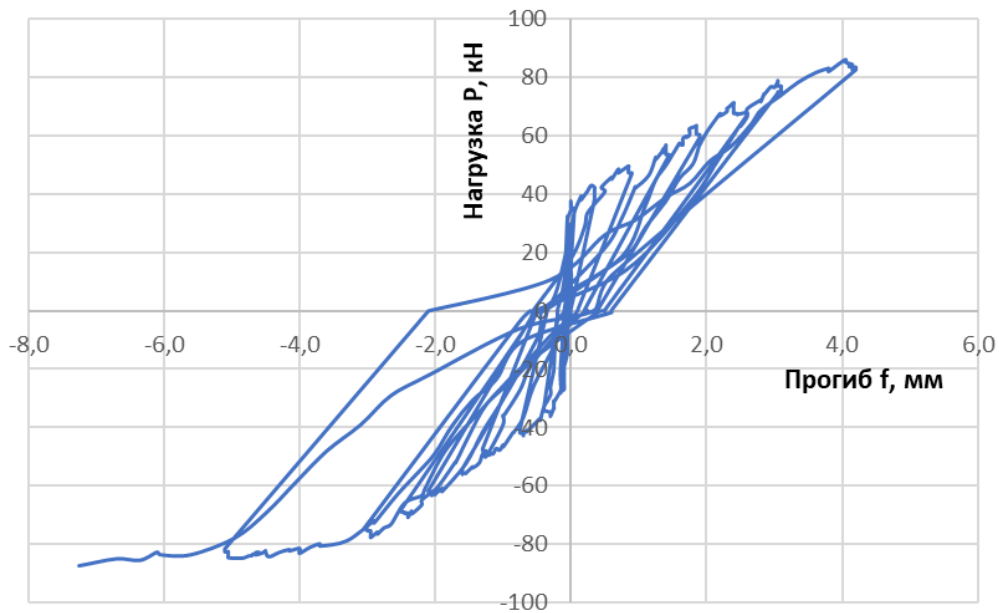


Рис. 4. Зависимость прогибов середины одной балки от нагрузки
Fig. 4. The dependence of the deflections of the middle of one beam on the load

Учитывая, что при расчетах по первой группе предельных состояний динамические нагрузки, как правило, заменяют квазистатическими с соответствующей диаграммой деформирования материалов, для практических расчетов удобнее использовать огибающие диаграммы, полученные при очерчивании точек с максимальными по абсолютной величине значениями. Огибающие диаграммы также удобны для сравнительного анализа результатов нескольких испытаний, поскольку на одном графике можно показать несколько кривых. Так, в показанном на рис. 5 примере [1] огибающая диаграмма для образца 1 соответствует полной диаграмме по рис. 4.

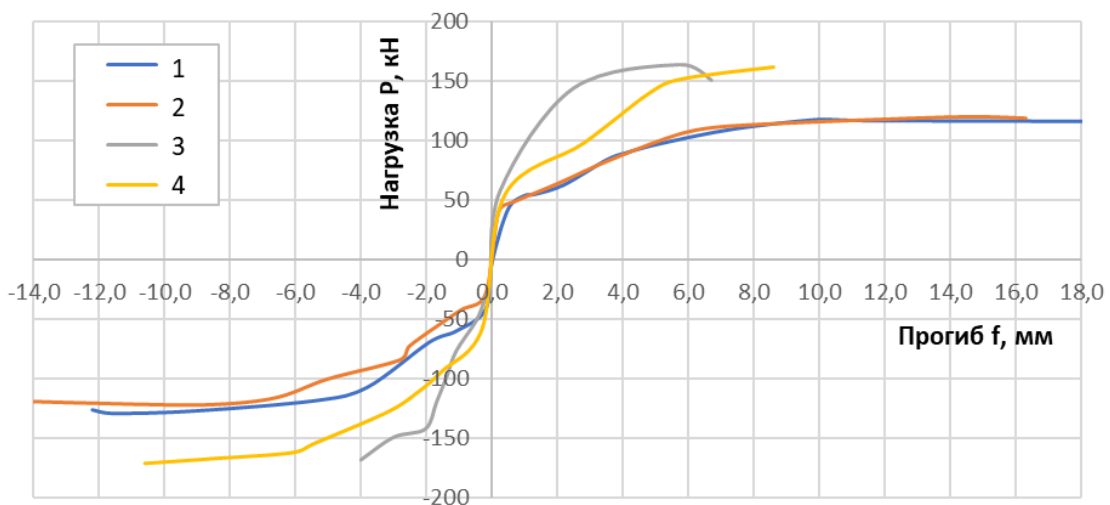


Рис. 5. Огибающие диаграммы для четырех образцов
Fig. 5. Envelope diagrams for four samples

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свойства АКП при статическом кратковременном нагружении хорошо изучены, деформирование композитной арматуры на всем диапазоне нагружения происходит упруго, без образования зон пластических деформаций. При длительном нагружении прочность АКП со временем снижается, что объясняется ползучестью полимеров. Данный эффект во многом зависит от типа полимерного связующего, волокон и температурно-влажностных характеристик среды. При динамических воздействиях прочностные и деформационные характеристики материалов отличаются от аналогичных характеристик при статических испытаниях. Влияние скорости деформирования на свойства АКП по-прежнему остается малоизученным. При действии кратковременного динамического нагружения возможно динамическое упрочнение АКП. Вопрос влияния динамических малоцикловых знакопеременных нагрузок на прочностные и деформационные характеристики АКП остается открытым.

В настоящее время применение АКП для армирования бетонных конструкций, подверженных динамическим воздействиям, не регламентировано действующей нормативно-технической документацией в связи с недостаточной научно-исследовательской базой в этой области. Исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых бетонных конструкций с АКП при динамических знакопеременных малоцикловых воздействиях будет способствовать расширению области применения АКП в строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Квасников А.А., Мартынов К.В., Пугачев Б.А. Испытания элементов железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 6. С. 24–30. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.06.24-30
2. Берлинов М.В. Длительная эксплуатация гибкого фундамента в условиях нелинейного реологического деформирования при силовых и средовых воздействиях // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 8. № 4. С. 23–32.
3. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2 (62). С. 32–41.
4. Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н. и др. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 3. С. 40–47.
5. Жаврид С.С. Исследование противокоррозионной стойкости стеклопластиковой арматуры для бетонных конструкций : дис. ... канд. тех. наук. Минск, 1968.
6. Лапинов А.Е. Обследование и контроль качества конструкций, армированных и усиленных композитными полимерными материалами // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : мат. VIII Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 129–135.
7. Плевков В.С., Балдин И.В., Кудяков К.Л., Невский А.В. Прочность и деформативность арматуры композитной полимерной при статическом и кратковременном динамическом растяжении и сжатии // Вестник ТГАСУ. 2016. № 5 (58).
8. Плевков В.С., Тамразян А.Г., Кудяков К.Л. Прочность и трещиностойкость изгибаемых фибробетонных элементов с преднапряженной стеклокомпозитной арматурой при статическом и кратковременном динамическом нагружении : монография. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2021. 204 с.
9. Римшин В.И., Меркулов С.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.
10. Савин С.Ю., Колчунов В.В., Федорова Н.В. Несущая способность железобетонных внецентренно сжатых элементов каркасов зданий при коррозионных повреждениях в условиях особых воздействий // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 46–54.
11. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Кудяков К.Л., Степанов А.Ю. Арматура композитная полимерная и композитные полимерные изделия. М., 2023.
12. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5–18.
13. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М. : Стройиздат, 1980. 104 с.

14. Ochola R.O., Marcusa K., Nurickb G.N., Franzc T. Mechanical behavior of glass and carbon fiber reinforced composites at varying strain rates // *Composite Structures*. 2004. Vol. 63. Pp. 455–467.

15. Ray B.C., Rathorea D. A review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds // *Critical reviews in solid state and materials sciences*. 2015. Vol. 40. Pp. 119–135. DOI: 10.1080/10408436.2014.940443

16. Shahrooz B.M., Remmetter M.E., Qin F. Seismic Design and Performance of Composite Coupled Walls. *Journal of Structural Engineering-Asce*. 1993. No. 119 (11). Pp. 3291–3309. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:11(3291)

REFERENCES

1. Avdeev K.V., Mamin A.N., Bobrov V.V., Bammatov A.A., Kvasnikov A.A., Martyanov K.V., Pugachev B.A. Testing of Elements of Reinforced Concrete Structures With Looped Joints of Reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 6:24-30. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.06.24-30 (in Russian).

2. Berlinov M.V. Long-Term Exploitation of a Flexible Foundation in Conditions of Nonlinear Rheological Deformation under Force and Non-Force Influences. *Reinforced concrete structures*. 2024; 8(4):23-32. (in Russian).

3. Gizdatullin G.A., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasinikova N.M. Strength and deformability of concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 62(2):32-41. (in Russian).

4. Gizdatullin A.R., Khozin V.G., Kuklin A.N., Khusnutdinov A.M. Specifics of Testing and Fracture Behavior of Fibre-Reinforced Polymer Bars. *Magazine of Civil Engineering*. 2014; (3):40-47. (in Russian).

5. Javrid S.S. *Investigation of the corrosion resistance of fiberglass reinforcement for concrete structures : dissertation*. Minsk, 1968. (in Russian).

6. Lapshinov A.E. *Inspection and quality control of reinforced and strengthened structures with FRP structures. Survey of Buildings and Structures: problems and ways to solve them : materials VIII International Scientific and practical conference*. 2017; 129-135. (in Russian).

7. Plevkov V.S., Baldin I.V., Kudiyakov K.L., Nevskii A.V. Strength and deformability of polymer composites under tensile and compressive loads. *Journal of Construction and Architecture*. 2016; 5(58):91-101. (in Russian).

8. Plevkov V.S., Tamrazyan A.G., Kudiyakov K.L. Strength and crack resistance of bent fiber-reinforced concrete elements with prestressed glass composite reinforcement under static and short-term dynamic loading. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2021. (in Russian).

9. Rimshin V.I., Merkulov S.I. About normalization of characteristics of rod non-metallic composite reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 5:22-26. (in Russian).

10. Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Ductility of Eccentrically Compressed Elements of RC Frame Damaged by Corrosion under Accidental Impacts. *Reinforced concrete structures*. 2023; 1(1):46-54. (in Russian).

11. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Kudiyakov K.L., Stepanov A.Yu. *Composite polymer fittings and composite polymer products*. Moscow, 2023. (in Russian).

12. Tamrazyan A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced concrete structures*. 2023; 1(1):5-18. (in Russian).

13. Frolov N.P. *Fiberglass reinforcement and fiberglass concrete structures*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. (in Russian).

14. Ochola R.O., Marcusa K., Nurickb G.N., Franzc T. Mechanical behavior of glass and carbon fiber reinforced composites at varying strain rates. *Composite Structures*. 2004; 63:455-467.

15. Ray B.C., Rathorea D. A review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds. *Critical reviews in solid state and materials sciences*. 2015; 40:119-135. DOI: 10.1080/10408436.2014.940443

16. Shahrooz B.M., Remmetter M.E., Qin F. Seismic Design and Performance of Composite Coupled Walls. *Journal of Structural Engineering-Asce*. 1993; 119(11):3291-3309. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:11(3291)