УДК 624.016.5

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

♦♦♦♦♦

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS USING COMPOSITE MATERIALS

Матулян Роберт Артемович
студент
robertmatulyan@gmail.com

Аннотация. Актуальность темы продиктована высокой степенью износа железобетонных плит — ключевого элемента современных строительных конструкций, что требует своевременного усиления. Существующие инженерные методы решения этой задачи различаются по эффективности и ограничениям. В статье рассматриваются традиционные и современные композитные способы усиления, анализируются их характерные особенности и предлагаются критерии для рационального выбора технологии.

Ключевые слова: усиление колонн, железобетон, традиционные методы, композитные материалы, арматурные пояса, полимерные композиты, металлический профиль, износ конструкций, капитальный ремонт, строительный инжиниринг.

Matulyan Robert Artemovich
Student
robertmatulyan@gmail.com

Annotation. The relevance of the topic is driven by the high degree of deterioration of reinforced concrete slabs-a key element of modern building structures-which requires timely strengthening. Existing engineering methods for solving this problem vary in effectiveness and limitations. The article examines traditional and modern composite strengthening methods, analyzes their characteristic features, and proposes criteria for the rational selection of the technology.

Keywords: strengthening of columns, reinforced concrete, traditional methods, composite materials, reinforcement belts, polymer composites, metal profile, structural deterioration, major repairs, construction engineering.

Введение

В настоящее время значительная часть зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, требует проведения мероприятий по усилению несущих конструкций [1; 2; 11]. Особенно актуальной данная проблема является для железобетонных плит перекрытия, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию повышенных нагрузок, агрессивной среды, а также физическому и моральному износу [5]. Кроме того, необходимость усиления может возникать при изменении функционального назначения зданий, увеличении эксплуатационных нагрузок, выявлении дефектов и повреждений конструкций, а также вследствие ошибок проектирования и строительства. Несмотря на широкое распространение композитных материалов в практике усиления строительных конструкций, вопросы выбора эффективных схем усиления железобетонных плит перекрытия, а также особенности расчета и технологии применения композитных материалов требуют дальнейшего изучения. Целью данной статьи является анализ эффективности усиления железобетонных плит перекрытия с использованием композитных материалов, а также рассмотрение особенностей технологии и расчета данных методов.

Обзор существующих методов усиления железобетонных плит перекрытия

К традиционным методам усиления железобетонных плит перекрытия относится наращивание сечения конструкции путем устройства дополнительного слоя бетона [1, с. 134–140; 11, с. 88–93]. Данный метод предусматривает увеличение толщины плиты с установкой дополнительной арматуры, что позволяет повысить несущую способность и жесткость конструкции. Однако такой способ сопровождается значительным увеличением собственного веса перекрытия, что может привести к дополнительным нагрузкам на несущие элементы здания и фундаменты. Другим распространенным способом является усиление железобетонных плит с использованием металлических конструкций. В данном случае применяются дополнительные балки, швеллеры, уголки или стальные листы, устанавливаемые в растянутой зоне плиты. Металлические элементы воспринимают часть нагрузок, повышая несущую способность конструкции. Не-

достатками данного метода являются подверженность металлических элементов коррозии, увеличение массы конструкции, а также необходимость выполнения сварочных и монтажных работ, что усложняет технологию усиления. Также применяется метод предварительного напряжения конструкций [11, с. 156–162], при котором устанавливаются дополнительные напрягаемые элементы, создающие сжимающие усилия в железобетонной плите. Такой способ позволяет повысить трещиностойкость и несущую способность конструкции. Однако данный метод отличается высокой сложностью реализации, необходимостью применения специализированного оборудования и высокой трудоемкостью выполнения работ. Основными недостатками традиционных методов усиления являются значительное увеличение массы конструкций, трудоемкость выполнения работ, длительные сроки реализации, а также необходимость частичного или полного прекращения эксплуатации зданий на период проведения работ [1; 2].

Виды композитных материалов для усиления железобетонных плит перекрытия

В последние годы при усилении железобетонных конструкций широкое применение получили композитные материалы на основе высокопрочных волокон, объединённых полимерной матрицей [3; 4; 6]. Использование таких материалов обусловлено их высокими физико-механическими характеристиками, малым весом, устойчивостью к коррозии и удобством монтажа. Наиболее распространёнными композитными материалами для усиления железобетонных плит перекрытия являются углеродные, стеклянные и базальтовые волокна.

Углеродные композитные материалы (CFRP) получили наибольшее распространение в практике усиления строительных конструкций [3; 8; 12]. Они представляют собой материалы, армированные углеродными волокнами, обладающими высокой прочностью на растяжение и значительным модулем упругости. Применение углеродных композитов позволяет существенно повысить несущую способность железобетонных плит перекрытия без значительного увеличения массы конструкции. Кроме того, данные материалы характеризуются высокой устойчивостью к агрессивным средам, долговечностью и низкой ползучестью. К недостаткам углеродных композитов можно отнести их относительно высокую стоимость по сравнению с другими видами композитных материалов.

Стеклопластиковые композитные материалы (GFRP) также широко применяются для усиления железобетонных конструкций. Они изготавливаются на основе стеклянных волокон, обладающих достаточно высокими прочностными характеристиками и устойчивостью к воздействию внешней среды. Основным преимуществом стеклопластиков является их более низкая стоимость по сравнению с углеродными композитами. Однако стеклопластиковые материалы обладают меньшим модулем упругости, что может ограничивать область их применения при усилении конструкций, требующих значительного повышения жесткости.

Базальтовые композитные материалы (BFRP) являются сравнительно новым видом материалов, применяемых для усиления железобетонных конструкций. Они изготавливаются на основе базальтовых волокон, получаемых из природного сырья. Базальтовые композиты обладают высокой прочностью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред и хорошими эксплуатационными характеристиками. Кроме того, данные материалы отличаются экологичностью и сравнительно невысокой стоимостью. В то же время применение базальтовых композитов пока ограничено меньшей распространённостью и недостаточной нормативной базой.

Технологии усиления железобетонных плит перекрытия композитными материалами

Одним из наиболее распространенных способов является усиление железобетонных плит перекрытия методом наружного армирования композитными лентами [8; 12]. В данном случае композитные ленты наклеиваются на растянутую зону плиты перекрытия, как правило, по нижней поверхности конструкции. Такой способ позволяет повысить несущую способность перекрытия за счет восприятия дополнительных растягивающих усилий композитным материалом. Данный метод отличается сравнитель-

но простой технологией монтажа, высокой эффективностью и возможностью проведения работ без значительного увеличения толщины конструкции. Другим эффективным способом является усиление композитными ламелями. Композитные ламели представляют собой жесткие элементы, изготовленные на основе углеродных или стеклянных волокон. Они устанавливаются в растянутой зоне железобетонной плиты с использованием клеевых составов. Применение ламелей позволяет существенно повысить несущую способность и жесткость перекрытия. Данный метод особенно эффективен при усилении плит с большими пролетами или значительным увеличением эксплуатационных нагрузок. Широкое распространение получило также усиление железобетонных плит перекрытия композитными тканями [12]. Композитные ткани обладают высокой гибкостью и позволяют усиливать конструкции сложной геометрической формы. Усиление осуществляется путем наклеивания нескольких слоев ткани на поверхность железобетонной плиты с последующей пропиткой полимерными составами. Данный способ позволяет равномерно распределять усилия и повышать трещиностойкость конструкции.

Кроме того, применяются комбинированные методы усиления, предусматривающие одновременное использование нескольких видов композитных материалов. Например, возможно применение композитных ламелей совместно с композитными тканями, что позволяет повысить эффективность усиления и обеспечить равномерное распределение усилий в конструкции.

Экспериментальные исследования усиления железобетонных плит перекрытия композитными материалами

Для оценки эффективности усиления железобетонных плит перекрытия композитными материалами проводятся экспериментальные исследования, направленные на изучение работы усиленных конструкций под нагрузкой, определение прироста несущей способности, а также анализ характера разрушения [8; 10; 12].

Опираясь на исследование российских ученых (рис. 1), можно заметить, что внешнее армирование усиленных плит углеродной лентой повышает их несущую способность в 1,7–3,8 раза [10].

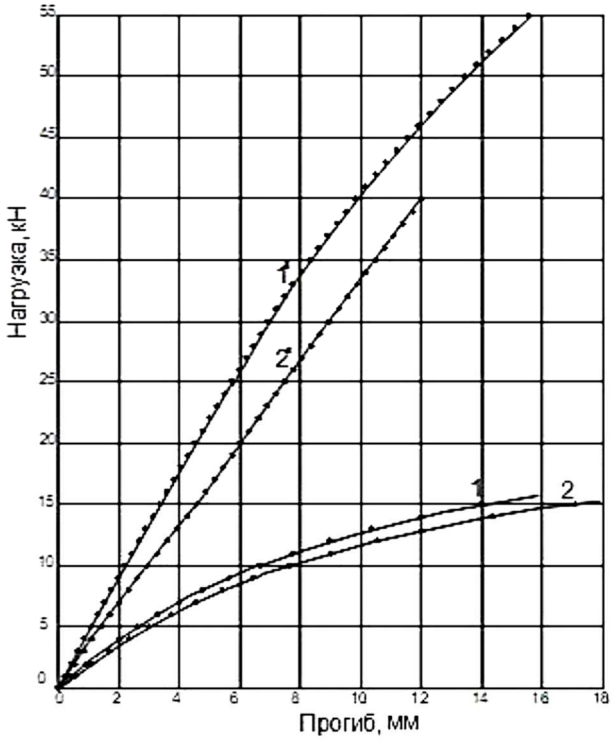


Рисунок 1 – Зависимость прогибов исходных (1, 2), восстановленных и усиленных (1', 2') железобетонных плит перекрытия от величины приложенной нагрузки

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают высокую эффективность применения композитных материалов для усиления железобетонных плит перекрытия. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования расчетных методик, разработки рекомендаций по проектированию усиления и внедрения современных технологий в практику реконструкции зданий и сооружений [7; 9].

Вывод.

Анализ показывает, что усиление железобетонных плит композитными материалами является эффективной альтернативой традиционным методам (наращивание сечения, металлические элементы), так как позволяет повысить несущую способность при минимальном увеличении массы и трудозатратах. Наиболее прочными являются углеродные системы (CFRP), тогда как стекло- и базальтовые композиты (GFRP, BFRP) отличаются экономичностью и устойчивостью к агрессивным средам.

Экспериментальные исследования подтверждают значительный рост предельной нагрузки, снижение прогибов и улучшение трещиностойкости плит при условии качественного сцепления композита с бетоном. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию схем усиления, совершенствование расчетных методик и расширение нормативной базы.

Литература

1. Галкин А.С. Методы реконструкции и усиления строительных конструкций. – М. : Издательство АСВ, 2019. – 352 с.
2. Конев В.Е. Справочник инженера-строителя по ремонту и реконструкции зданий и сооружений / В.Е. Конев, А.Б. Курочкин. – СПб. : Петербургская книга, 2020. – 420 с.
3. Орлов А.Ю. Основы теории расчета строительных конструкций с применением композитных материалов. – Новосибирск : Наука, 2021. – 256 с.
4. Панченко С.А. Композиционные материалы в строительстве : учеб. пособие. – Екатеринбург : УрГУПС, 2022. – 192 с.
5. Щеголев И.К. Архитектурная реконструкция и реставрация зданий и сооружений. – Саратов : Саратовский университет, 2023. – 312 с.
6. Казаков Ю.О. Теория и практика применения композитных материалов в строительстве. – Ростов н/Д : Феникс, 2024. – 288 с.
7. Абрамов В.Л. Совершенствование методов расчета и конструирования строительных конструкций. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2025. – 240 с.
8. Савин Н.С. Особенности применения лент из углеродных волокон для увеличения несущей способности конструкций / Н.С. Савин, А.Н. Леонова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 158–161.
9. Коновалова О.А. Современные технологии реконструкции и усиления строительных конструкций. – Воронеж : Научная книга, 2025. – 224 с.
10. Баженов Ю.М. Несущая способность восстановленных железобетонных плит перекрытия / Ю.М. Баженов, Г.В. Налбандян, В.А. Ушков // Строительство и реконструкция. – 2020. – № (5). – С. 77–86.
11. Борисов Д.Р. Усиление строительных конструкций: справочное руководство. – Тверь : Тверской гос. ун-т, 2023. – 304 с.
12. Черная А.А. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных и композиционных материалов / А.А. Черная, В.В. Антонов, А.Н. Леонова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2026. – № 1. – С. 199–214.

References

1. Galkin A.S. Methods for Reconstruction and Strengthening of Building Structures. – M. : ASV Publishing House, 2019. – 352 p.
2. Konev V.E. Handbook of a Civil Engineer on the Repair and Reconstruction of Buildings and Structures / V.E. Konev, A.B. Kurochkin. – SPb. : Petersburg Book, 2020. – 420 p.
3. Orlov A.Yu. Fundamentals of the Theory of Calculating Building Structures Using Composite Materials. – Novosibirsk : Nauka, 2021. – 256 p.
4. Panchenko S.A. Composite Materials in Construction : textbook. – Yekaterinburg : Ural State Transport University, 2022. – 192 p.
5. Shchegolev I.K. Architectural Reconstruction and Restoration of Buildings and Structures. – Saratov : Saratov University, 2023. – 312 p.

6. Kazakov Yu.O. Theory and Practice of Using Composite Materials in Construction. – Rostov-on/D. : Phoenix, 2024. – 288 p.
7. Abramov V.L. Improving Methods of Calculation and Design of Building Structures. – Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2025. – 240 p.
8. Savin N.S. Features of the use of carbon fiber tapes to increase the load-bearing capacity of structures / N.S. Savin, A.N. Leonova // Science. Technology. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 158–161.
9. Konovalova O.A. Modern technologies for the reconstruction and strengthening of building structures. – Voronezh : Scientific book, 2025. – 224 p.
10. Bazhenov Yu.M. Bearing Capacity of Reconstructed Reinforced Concrete Floor Slabs / Yu.M. Bazhenov, G.V. Nalbandyan, V.A. Ushkov // Construction and Reconstruction. – 2020. – № (5). – P. 77–86.
11. Borisov D.R. Strengthening of Building Structures: A Reference Guide. – Tver : Tver State University, 2023. – 304 p.
12. Chernaya A.A. Strengthening of Building Structures with Carbon and Composite Materials / A.A. Chernaya, V.V. Antonov, A.N. Leonova // Electronic Online Polythematic Journal «Scientific Works of KubSTU». – 2026. – № 1. – P. 199–214.