УДК 69.059.3:678.067
doi: 10.33622/0869-7019.2024.01.44-51

Композитные системы внешнего армирования для усиления строительных конструкций

Евгений Евгеньевич ШМОЙЛОВ[1], главный эксперт департамента исследований и разработок, e.shmoylov@umatex.ru

Лариса Владимировна ЧУРСОВА[1], кандидат технических наук, директор департамента исследований и разработок, l.chursova@umatex.ru

Михаил Юрьевич ФЕДОТОВ[2], кандидат технических наук, зам. президента РИА, fedotovmyu@gmail.com

Александр Анатольевич КАЛЬГИН[2], доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, зам. президента РИА, alexander.kalgin@mail.ru

[1] Препрег-Современные композиционные материалы (Препрег-СКМ), 109316 Москва, Волгоградский просп., 42, корп. 5

[2] Российская инженерная академия (РИА), 125009 Москва, Газетный пер., 9, стр. 4

Аннотация. *Обоснована актуальность применения полимерных композитных материалов на основе углеродных волокон в качестве систем внешнего армирования строительных конструкций. Рассмотрены технологические аспекты создания однонаправленных и двунаправленных углеродных лент для систем внешнего армирования строительных конструкций, исследованы их физико-механические свойства. Показано, что в качестве полимерных связующих для создания эффективных композитных систем внешнего армирования могут применяться эпоксидные системы холодного отверждения с различными температурами стеклования, а также специальные полимерные композиции, предназначенные для установки готовых композитных ламелей. Приведены результаты экспериментальных исследований отечественных эпоксидных связующих холодного отверждения для создания эффективных систем внешнего армирования инженерных сооружений различного назначения. Показан опыт широкого применения разработанных систем на основе полимерных композитных материалов для ремонта, усиления, восстановления и повышения несущей способности зданий и сооружений, автомобильных и железнодорожных мостов.*

Ключевые слова: *усиление строительных конструкций, система внешнего армирования, полимерный композитный материал, углеродная армирующая структура, связующее холодного отверждения*

Для цитирования: *Шмойлов Е. Е., Чурсова Л. В., Федотов М. Ю., Кальгин А. А.* Композитные системы внешнего армирования для усиления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 1. С. 44–51. doi: 10.33622/0869-7019.2024.01.44-51

COMPOSITE EXTERNAL REINFORCEMENT SYSTEMS FOR STRENGTHENING BUILDING STRUCTURES

Evgeniy E. SHMOYLOV[1], e.shmoylov@umatex.ru

Larisa V. CHURSOVA[1], l.chursova@umatex.ru

Mikhail Yu. FEDOTOV[2], fedotovmyu@gmail.com

Alexander A. KALGIN[2], alexander.kalgin@mail.ru

[1] Joint Stock Company “Prepreg-ACM”, Volgogradskiy prospekt, 42, korp. 5, Moscow 109316, Russian Federation

[2] Russian Academy of Engineering (RAE), Gazetnyy pereulok, 9, str. 4, Moscow 125009, Russian Federation

Abstract. *The relevance of the use of polymer composite materials based on carbon fibers as systems of external reinforcement of building structures is substantiated. The technological aspects of creating unidirectional and bidirectional carbon tapes for external reinforcement systems of building structures are considered, their physical and mechanical properties have been investigated. It is shown that cold-curing epoxy systems with different glass transition temperatures, as well as special polymer compositions designed for the installation of ready-made composite lamellas, can be used as polymer binders to create effective composite external reinforcement systems. The results of experimental studies of domestic cold-curing epoxy binders for creating effective external reinforcement systems for engineering structures for various purposes are presented. The experience of wide application of the developed systems based on polymer composite materials for repair, reinforcement, restoration and increase of load-bearing capacity of buildings and structures, automobile and railway bridges is shown.*

Keywords: *strengthening of building structures, external reinforcement system, reinforcement, polymer composite material, carbon reinforcing structure, cold curing binder*

For citation: Shmoylov E. E., Chursova L. V., Fedotov M. Yu., Kalgin A. A. Composite External Reinforcement Systems for Strengthening Building Structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2024, no. 1, pp. 44–51. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2024.01.44-51

© ШМОЙЛОВ Е. Е., ЧУРСОВА Л. В., ФЕДОТОВ М. Ю., КАЛЬГИН А. А., 2024

Введение

Одна из важнейших задач строительной отрасли — повышение надежности и ресурса эксплуатации конструкций. Как правило, для ее решения применяется омоноличивание бетоном с металлическими арматурными каркасами, используются шпренгельные элементы, ферменные конструкции, методы усиления сталефибробетоном и др. [1]. Это влечет за собой целый ряд проблем, среди которых отдельно стоит отметить существенное повышение массы конструкции и стоимости ремонта, влияние реальных условий эксплуатации на металлические армирующие элементы, а также необходимость привлечения тяжеловесной строительной техники.

В России подавляющее большинство строительных конструкций выполнены из железобетона и стали, которые под влиянием окружающей среды подвергаются различным видам разрушения. В связи с огромными размерами территории нашей страны следует учитывать, что строительные конструкции эксплуатируются в различных регионах и климатических зонах. В процессе эксплуатации на них оказывают воздействие статические и динамические нагрузки (собственный вес, проезжающий транспорт), температурные условия (весна, лето, осень, зима), погодно-климатические воздействия (дождь, туман, снег, гололед), агрессивные влияния эксплуатационной среды (высокая влажность).

Многие инженерные сооружения, построенные в прошлом веке и ранее, проектировались и возводились исходя из актуальной нормативной документации того периода, тогда как современный уровень нагрузок, возникающих при эксплуатации, зачастую превышает проектные значения для каждой конкретной конструкции.

Стоит отметить, что несущие конструкции таких сооружений часто находятся в неудовлетворительном состоянии, остаточный ресурс их эксплуатации может варьироваться в широких приделах — от 20 до 50 % [2].

В этой связи методы усиления, восстановления, диагностики и продления ресурса как строительных, так и иных инженерных сооружений в целом становятся как никогда актуальными [3, 4]. Исходя из мировой практики, для целей восстановления и повышения несущей способности и ремонта таких конструкций наиболее целесообразным видится применение систем внешнего армирования (СВА) [5] из полимерных композитных материалов (ПКМ) [6], прежде всего на основе углеродных армирующих структур и связующих холодного отверждения, что связано с их высокими удельными прочностными и деформативными характеристиками [7, 8].

За рубежом их применение известно уже с конца 1970-х гг., а в России — только с конца 1990-х гг., в частности, до 30 % объема производимых углеродных структур применяют в строительной индустрии.

Внедрение новых СВА на основе ПКМ должно обеспечить возможность:

- проведения ремонтных мероприятий несущих элементов инженерных сооружений, имеющих значительный износ, без сварочных работ;
- осуществления в сжатые сроки реконструкции несущих элементов сооружений;
- увеличения живучести зданий и сооружений при воздействии на них природных и техногенных факторов.

Широкое применение на практике получили композитные СВА на основе углеродных волокон и эпоксидных связующих холодного отверждения следующих зарубежных производителей: Sika AG (Швейцария), BASF, SGL (Германия), Fyfe (Колумбия), Mapei (Италия), Isomat (Греция). Поставки иных производителей носят единичный характер. Большую часть российского рынка углеродных лент в настоящее время занимают компании Umatex, ГК Росатом (в частности, АО «Препрег-СКМ», ООО «Препрег-Дубна»).

Цель работы — обобщение и систематизация результатов экспериментальных исследований по созданию отечественных углеродных армирующих наполнителей и эпоксидных связующих холодного отверждения, а также опыта внедрения на их основе эффективных СВА строительных конструкций в реальных условиях эксплуатации.

Особенности создания углеродных армирующих структур для композитных систем внешнего армирования

В качестве армирующей структуры в композитных СВА строительных конструкций и инженерных сооружений широко применяются отечественные углеродные ленты FibArm Tape, разработанные АО «Препрег-СКМ» [9], а также некоторые зарубежные аналоги, например SikaWrap компании Sika AG (Швейцария, https://sikahome.ru). Некоторые свойства указанных лент приведены в *таблице*, из которой видно, что в качестве армирующей структуры композитных СВА строительных конструкций на практике применяются однонаправленные и двунаправленные углеродные ленты с типом плетения «полотно/саржа» шириной 300 и 1200 мм соответственно, имеющие различные физические параметры — поверхностные плотности и толщины монослоя, а также упруго-прочностные свойства.

В качестве примера на *рис. 1* приведена структура углеродной ленты марки FibArm Tape 230/3, предназначенной для внешнего армирования строительных конструкций.

Углеродные армирующие ленты для систем внешнего армирования строительных конструкций

Марка	Тип плетения	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м^2	Модуль упругости волокна, ГПа	Прочность при растяжении волокна, ГПа	Расчетная толщина монослоя, мм	Модуль упругости ПКМ, ГПа	Прочность при растяжении ПКМ, ГПа
Однонаправленные углеродные ленты FibArm Tape (Россия)								
230/300	Полотно	300	230	245	4,3	0,128	245	3,6
530/300			530			0,294		
Двунаправленные углеродные ленты FibArm Tape (Россия)								
240/1200 twill	Саржа	1200	240	245	4,3	0,066	245	3,6
300/1200 twill			300			0,083		
450/1200 twill			450			0,125		
Однонаправленные углеродные ленты SikaWrap (Швейцария)								
230 C	Полотно	300	235	230	4	0,129	225	3,5
530 C			535			0,290		

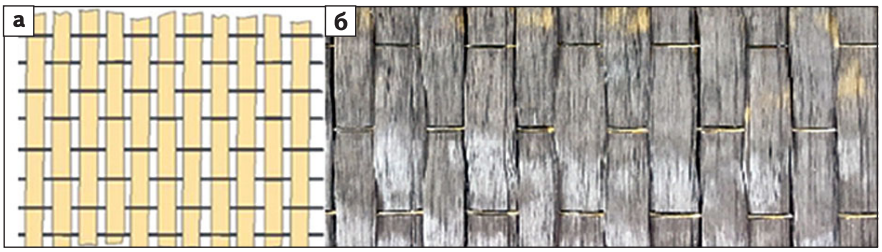
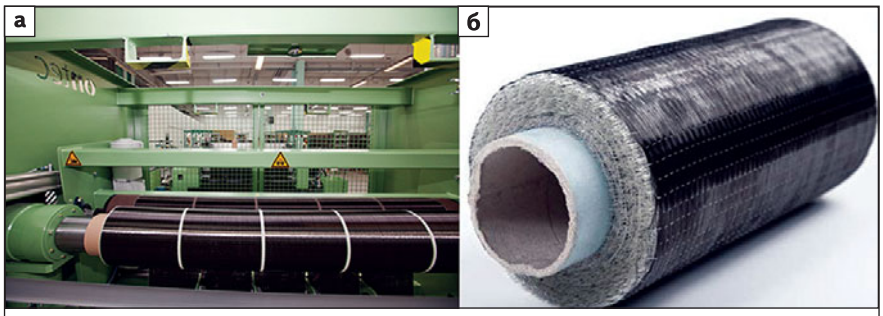


Рис. 1. ***Схема плетения (а) и фотография (б) однонаправленной углеродной ленты FibArm Tape 230/3***



а — двурапирный ткацкий станок Dornier P1; б — готовая продукция

Рис. 2. ***Изготовление углеродных лент***

Изготовление подобных армирующих структур представляет собой сложный технологический процесс, осуществляемый на специализированных ткацких станках, оптимизированных для переработки углеродных волокон *(рис. 2)*.

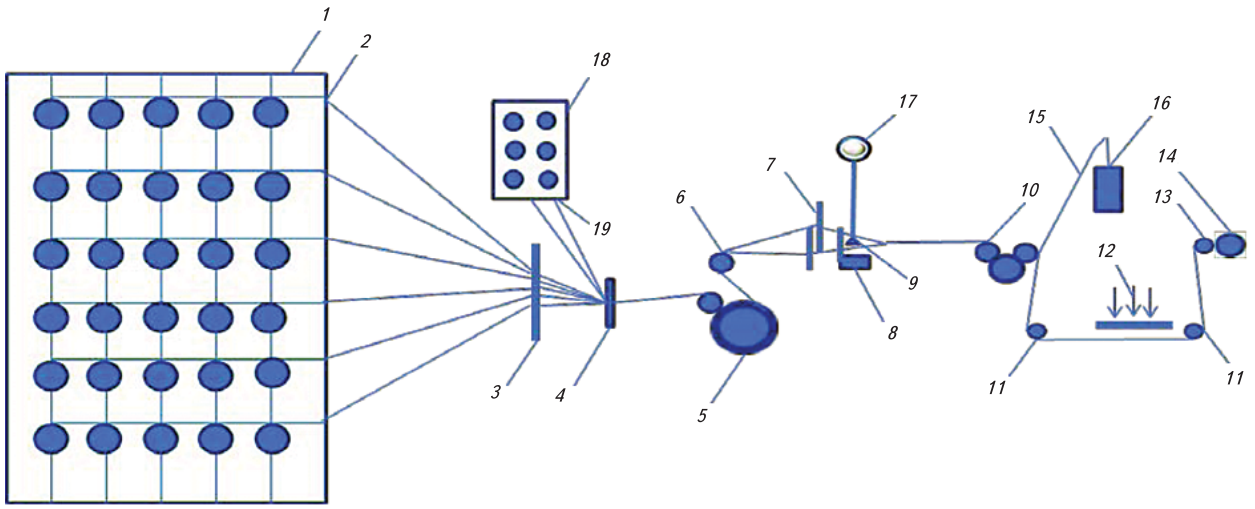
Стоит отметить, что важной технологической операцией при разработке новых и изготовлении серийных углеродных лент для композитных СВА строительных конструкций является правильная заправка ткацкого станка. На *рис. 3* показана схема заправки ткацкого станка Dornier P1.

Ткацкий станок содержит ряд узлов, обеспечивающих качество производимой продукции и возможность ее модификации с учетом конкретных технических требований, предъявляемых к углеродным лентам для композитных СВА строительных конструкций. Например, для изготовления однонаправленных углеродных лент FibArm Сва-91126 из углеродных нитей UMT49-12K-EP может быть использован рассмотренный двурапирный ткацкий станок Dornier P1 с шириной заправки 1700 мм, оснащенный шпулярником на 1200 бобин и камерой термофиксации с осевым намотчиком. При этом, например, для получения ленты шириной 300 мм с плотностью нитей по основе, равной 1 нит/см, требуется всего лишь 86 бобин с углеродным волокном.

Для изготовления углеродных лент в качестве элементов основы используются углеродные волокна 12 — 48К, в качестве утка — нити на основе термопластичных полимеров. Поверхностная плотность таких материалов варьируется в диапазоне от 230 до 530 г/м^2.

Эпоксидные связующие холодного отверждения для композитных систем внешнего армирования

Используемые для создания композитных СВА строительных конструкций эпоксидные системы можно условно разделить в зависимости от применения на следующие группы:



1 — шпулярник; 2 — глазки шпулярника; 3 — кассейная доска; 4 — заднее бердо; 5 — подающий вал; 6 — скало; 7 — ремизные рамы с галевами; 8 — брус батана с передним бердом; 9 — рапира; 10 — товароотводящие валы (вальян); 11 — направляющие валики; 12 — камера термофиксации; 13 — прижимной вал; 14 — товарный вал; 15 — отрезная кромка; 16 — бак для сбора отрезной кромки; 17 — накопитель уточной нити; 18 — шпулярник для вспомогательных нитей; 19 — направляющий глазок

Рис. 3. ***Схема заправки двурапирного ткацкого станка Dornier P1***

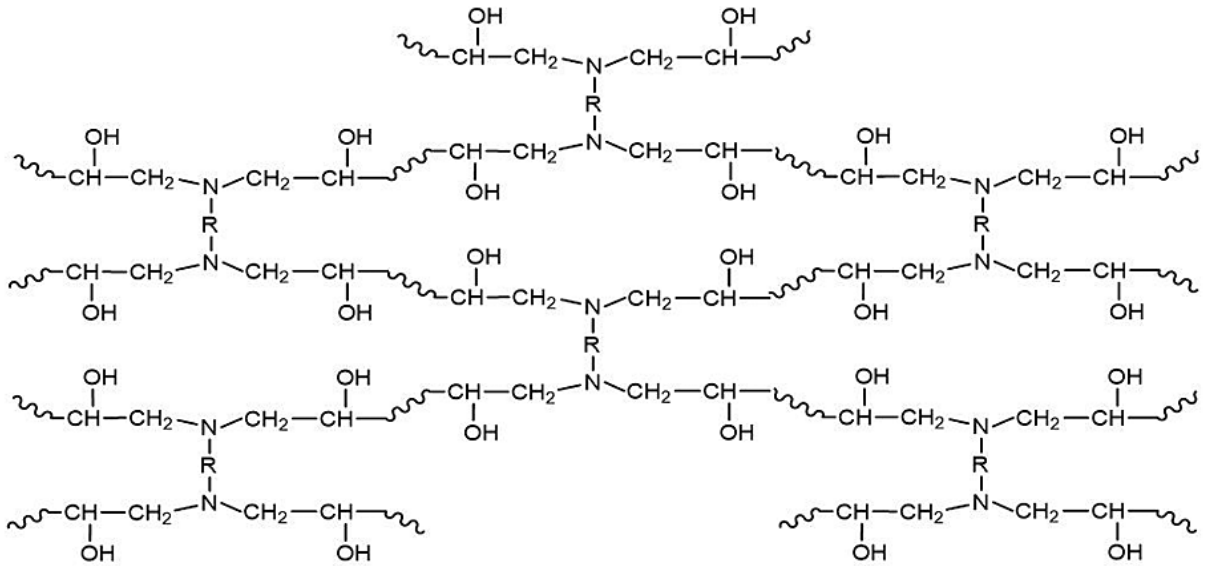
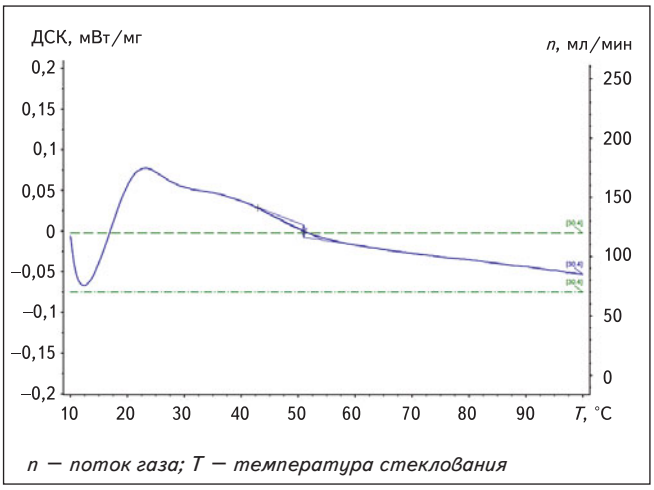


Рис. 4. ***Отвержденный сетчатый полимер***

- традиционные системы холодного отверждения;
- системы холодного отверждения с повышенной температурой стеклования;
- эпоксидные композиции для установки композитных ламелей и стержней.

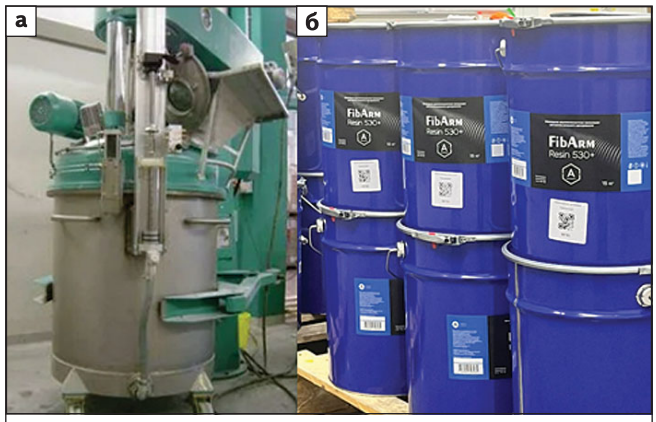
Анализ литературных данных [10] показал преобладание низковязких эпоксидных и наполненных тиксотропных эпоксидных полимерных матриц холодного отверждения для пропитки армирующих структур, предназначенных для внешнего армирования эксплуатируемых инженерных сооружений.

Особенное внимание следует уделить полимерам, которые хорошо зарекомендовали себя в качестве антикоррозионных защитных покрытий, специальному оборудованию, заливочным компаундам, инъекциям в бетонные конструкции [11]. Полимерные композитные материалы на эпоксидной основе отличаются высокой прочностью и химической стойкостью, низкой влагопроницаемостью. Их демпфирующая способность в 5—6 раз выше аналогичного показателя чугуна. По прочностным характеристикам эпоксидные системы значительно



n — поток газа; T — температура стеклования

Рис. 5. ***Термограмма дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) двухкомпонентного связующего холодного отверждения FibAm Resin 530+***



а — реактор для смешивания компонентов связующих холодного отверждения; б — готовые комплекты связующих

Рис. 6. ***Изготовление связующих***

превышают прочность бетона конструкции. Кроме того, они не требуют дополнительных защитных покрытий.

Эпоксидные полимеры холодного отверждения по большей части представляют собой двухкомпонентную систему, состоящую из эпоксидной смолы, специальных добавок и аминного отвердителя. В результате реакции полимеризации образуется отвержденный сетчатый полимер *(рис. 4)*.

Большинство эпоксидных смол представляют собой промышленный продукт, полученный из нефти, являющийся смесью макромономеров (олигомеров с высокой молекулярной массой), содержащих различные структурные элементы и функциональные группы. Для решения комплексной задачи по созданию отечественных эпоксидных полимерных связующих с оптимальным комплексом свойств были выбраны безрастворные эпоксиаминные композиции. На их основе разработаны упрощенные энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии изготовления ПКМ для строительной отрасли.

Для разработки российских материалов, пригодных для ремонта и усиления инженерных сооружений, потребовалось создание низковязких и наполненных тиксотропных полимерных композиций, обладающих высокой технологической жизнеспособностью, достаточной адгезией к различным поверхностям в сочетании с требуемыми упругопрочностными и эксплуатационными свойствами.

На основании изучения патентной и научной литературы [12, 13] в области эпоксидных связующих холодного отверждения с повышенными прочностными характеристиками, стало возможным установить базовую структуру тиксотропных эпоксидных связующих для композитных СВА. Соответственно были выбраны исходные компоненты связующего, порядок их совмещения и температурно-временные режимы изготовления.

По результатам экспериментальных исследований различных полимерных композиций была выбрана отверждающая система, позволяющая реализовать температуру стеклования полимерной матрицы 50 °С, а также повысить эластичность связующего. На *рис. 5* приведены результаты исследований разработанной эпоксидной композиции марки FibAm Resin 530+, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

По результатам экспериментальных исследований разработаны следующие составы и технологии изготовления низковязких и наполненных тиксотропных полимерных связующих холодного отверждения для композитных СВА [14—17].

1. Тиксотропное связующее холодного отверждения марки FibAm Resin 230+ для пропитки углеродных тканей СВА с поверхностной плотностью 230 г/м^2. Связующее разработано для применения на потолочных конструкциях.

2. Низковязкое связующее холодного отверждения марки FibAm Resin 530+ для пропитки углеродных тканей СВА с поверхностной плотностью 530 г/м^2 для ремонта и усиления эксплуатируемых инженерных сооружений.

3. Низковязкое связующее холодного отверждения марки FibAm Resin HT+ с повышенной температурой стеклования. Разработано для применения в системах усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся при повышенной температуре окружающей среды.

4. Клеевое высоковязкое эпоксидное связующее марки FibAm Resin Laminate+ для приклеивания композитных СВА — готовых ламелей на основе углеродных волокон.

Была отработана технология изготовления двух-

Рис. 7. ***Испытание на прочность сцепления с бетоном В30 связующего FibAm Resin 530+***

компонентных связующих в промышленном реакторе смешивания объемом 800 л и исследованы их основные технологические свойства (вязкость, внешний вид, время жизни). Реактор смешивания компонентов при изготовлении связующего марки Fibarm Resin 530+, а также готовые комплекты связующего представлены на *рис. 6*.

Далее рассмотрим некоторые результаты экспериментальных исследований, полученные в ходе разработки связующего холодного отверждения марки Fibarm Resin 530+.

По результатам исследования получены следующие технологические и физико-химические свойства разработанного связующего:

время жизнеспособности при температуре (20 ± 2) °С, мин. . . . . 50—85

прочность сцепления (адгезия к бетону В30), МПа . . . . . не менее 2 (разрыв по бетону)

плотность смеси компонентов А+Б при температуре (23 ± 2) °С, г/см^3 1,2

модуль упругости при сжатии, МПа . не менее 2000

прочность при сдвиге, МПа, не менее 10

температура стеклования, °С, не менее 40

коэффициент линейного теплового расширения, °С$^{-1}$ . . . . . не менее $10 \cdot 10^{-6}$

Было установлено, что разработанное связующее марки Fibarm Resin 530+ обладает необходимым комплексом свойств для обеспечения качества и надежности композитных СВА.

Например, результаты испытаний на прочность сцепления с бетоном В30 разработанного связующего по ГОСТ 28574 показали, что в более чем 95 % случаев отрыв происходит по бетону, а это свидетельствует о высокой прочности полимерной матрицы по сравнению с бетоном *(рис. 7)*.

По состоянию на 2023 г. разработанные связующие холодного отверждения в составе композитных СВА Fibarm производства АО «Препрег-СКМ» активно применяются для ремонта и усиления строительных конструкций во многих регионах Российской Федерации и стран СНГ.

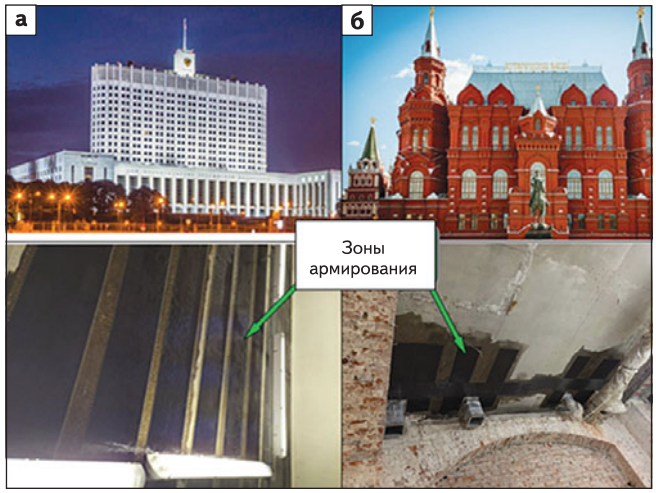


Рис. 8. ***Усиление железобетонных плит перекрытий Дома правительства РФ (а) и Государственного исторического музея (б)***

Рис. 9. ***Усиление несущих конструкций Международного центра бокса и самбо в Лужниках (а), путепроводов в г. Кировске (б) и в г. Череповце (в)***

Опыт применения СВА на основе ПКМ для ремонта и усиления конструкций

Предложенные СВА нашли широкое применение для ремонта, восстановления и повышения несущей способности строительных конструкций зданий, сооружений, а также автодорожных и железнодорожных мостов. Отдельное внимание было уделено созданию нормативной базы, регулирующей применение разработанных материалов и технологий внешнего армирования в строительной отрасли.

Среди наиболее значимых объектов *(рис. 8, 9)* стоит выделить работы по усилению железобетонных плит перекрытий Дома правительства РФ (Москва, 2020 г.), Государственного исторического музея (Москва, 2020 г.); усилению несущих конструкций Международного центра бокса и самбо в Лужниках, (Москва, 2020 г.); путепровода на ПК 3+60,725 ж/д пути Октябрьской железной дороги

на 1273 км (Мурманская обл., г. Кировск, 2021 г.), путепровода над железной дорогой (Вологодская обл., г. Череповец, 2020 г.) [18].

Разработанные композитные СВА строительных конструкций были успешно внедрены на 300 объектах строительной отрасли в 40 субъектах Российской Федерации. Применение СВА снизило затраты на проведение ремонтных мероприятий на 15 %, трудоемкость ремонтных работ – на 20 %. Суммарный экономический эффект от внедрения разработанных технических решений за последние 10 лет составил более 9 млрд р.

Вывод

Проведенные исследования показали, что СВА на основе ПКМ можно успешно применять для усиления и ремонта строительных конструкций в сравнительно сжатые сроки без привлечения тяжеловесной техники и ограничения эксплуатации, например, искусственных сооружений. Установлено, что отечественные однонаправленные и двунаправленные углеродные ленты обеспечивают необходимые упругопрочностные свойства композитных СВА, сравнимые с уровнем зарубежных аналогов. Приведены результаты экспериментальных исследований и разработаны составы низковязкого и наполненного тиксотропных полимерных связующих холодного отверждения марок FibAm Resin 230+, FibAm Resin 530+, FibAm Resin HT, FibAm Resin Laminate+ производства АО «Препрег-СКМ» для композитных СВА строительных конструкций. Эффективность применения разработанных новых отечественных ПКМ и СВА на их основе подтверждена широким внедрением на более чем 300 объектах строительной и транспортной инфраструктуры в Российской Федерации и за рубежом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Радайкин О. В., Шарафутдинов Л. А.* Усиление железобетонных балок сталефибробетоном с учетом предыстории нагружения // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 2. С. 57–65. doi: 10.33622/0869-7019.2023.02.57-65
2. *Васильев А. И., Валиев Ш. Н., Шмидт В. С., Овчинников И. Г.* Длительные деградационные процессы, влияющие на снижение грузоподъемности и долговечности мостовых сооружений в период их эксплуатации // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2. URL: https://esj.today/PDF/55SAVN222.pdf (дата обращения: 17.08.2023).
3. *Кунин Ю. С., Перунов А. С.* Виброакустические методы контроля качества строительных конструкций зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 3. С. 55–61. doi: 10.33622/0869-7019.2023.03.55-61
4. *Ефремов А. М., Бойко В. Д., Сергеевцев Е. Ю.* [и др.] Учет совместного влияния дефектов на несущую способность конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 11–18. doi: 10.33622/0869-7019.2022.08.11-18
5. *Меркулов С. И., Есипов С. М., Есипова Д. В.* Композитные системы внешнего армирования железобетонных конструкций // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2022. № 4. С. 39–48. doi: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48
6. *Семенов В. В., Кравец А. И.* Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 2. С. 23.
7. *Симаков О. А.* Применение в качестве внешнего армирования железобетонных элементов тканых сеток из углеродных волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 57–61.
8. *Вагнер Е. С.* Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами // Достижения вузовской науки. 2015. № 15. С. 119–123.
9. *Чепелева К. В., Никитина О. С., Рябчевская С. В., Максимцев Д. С.* Восстановление и усиление несущих конструкций внешним армированием – углеродной лентой «FIBARM» // Эпоха науки. 2016. № 8. С. 234–238. doi: 10.1555/2409-3203-2016-0-8-228-232
10. *Евдокимов А. А., Имаметдинов Э. Ш., Малаховский С. С.* Усиление строительных конструкций из бетона системой внешнего армирования из углепластика // Труды ВИАМ. 2020. № 10(92). С. 73–80. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80
11. *Березина М. В.* Ремонт и усиление железобетонных конструкций методом инъектирования бетона // Актуальные вопросы современной науки и практики : сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 21 декабря 2019 г.). Уфа : Вестник науки, 2019. С. 221–225.
12. Пат. РФ № 2386653. Полимерный композиционный ремонтный материал / *Смирнов М. М., Малюгин А. С., Давыдкин Н. В.* Опубл. 20.04.2010 г.
13. *Чурсова Л. В., Раскутин А. Е., Гуревич Я. М., Панина Н. Н.* Связующее холодного отверждения для строительной индустрии // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 5. С. 40–44.
14. Пат. РФ № 2772286. Эпоксидная композиция холодного отверждения / *Шмойлов Е. Е., Чурсова Л. В., Панина Н. Н., Гребенева Т. А.* Заявитель – АО «Препрег-СКМ». Опубл. 18.05.2022 г.
15. Пат. РФ № 2706661. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него / *Шмойлов Е. Е., Панина Н. Н., Чурсова Л. В., Голиков Е. И.* Заявитель – АО «Препрег-СКМ». Опубл. 19.11.2019 г.
16. Пат. РФ № 2688608. Эпоксидное связующее холодного отверждения для систем внешнего армирования / *Шмойлов Е. Е., Чурсова Л. В., Коган Д. И.*

Заявитель – АО «Препрег-СКМ». Опубл. 21.05.2019 г.

17. Пат. РФ № 2791395. Клеевая композиция холодного отверждения / *Шмойлов Е. Е., Чурсова Л. В., Панина Н. Н.* Заявитель – АО «Препрег-СКМ». Опубл. 07.03.2023 г.
18. *Федотов М. Ю., Шмойлов Е. Е., Козельская С. О.* Создание комплексной системы армирования строительных конструкций углекомпозитными полимерными материалами с диагностикой их качества и оценкой ресурса // Перспективные задачи инженерной науки : сб. ст. XIV Междунар. науч. форума (Москва, 17 мая 2023 г.). М. : Импульс; РГУ им. А. Н. Косыгина, 2023. С. 292–298.

R E F E R E N C E S

1. Radaykin O. V., Sharafutdinov L. A. Strengthening of reinforced concrete beams with steel fiber concrete taking into account the prehistory of loading. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2023, no. 2, pp. 57–65. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.02.57-65
2. Vasil'ev A. I., Valiev Sh. N., Shmidt V. S., Ovchinnikov I. G. Long-term degradation processes affecting the reduction of load capacity and durability of bridge structures during their operation. *Vestnik Evrazijskoj nauki*, 2022, vol. 14, no. 2. Available at: https://esj.today/PDF/55SAVN222.pdf (accessed 17.08.2023). (In Russ.).
3. Kunin Yu. S., Perunov A. S. Vibroacoustic methods of quality control of building structures of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2023, no. 3, pp. 55–61. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.03.55-61
4. Efremov A. M., Boyko V. D., Sergeevcev E. Yu. et al. Accounting for the joint effect of defects on the bearing capacity of structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2022, no. 8, pp. 11–18. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2022.08.11-18
5. Merkulov S. I., Esipov S. M., Esipova D. V. Composite systems of external reinforcement of reinforced concrete structures. *Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova*, 2022, no. 4, pp. 39–48. (In Russ.). doi: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-39-48
6. Semenov V. V., Kravec A. I. Application of polymer composite materials in building structures. *Molodezhny vestnik IrGTU*, 2017, no. 2, pp. 23. (In Russ.).
7. Simakov O. A. Application of woven carbon fiber nets as external reinforcement of reinforced concrete elements. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2019, no. 3(381), pp. 57–61. (In Russ.).
8. Vagner E. S. Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. *Dostizheniya vuzovskoj nauki*, 2015, no. 15, pp. 119–123. (In Russ.).
9. Chepeleva K. V., Nikitina O. S., Ryabchevskaya S. V., Maksimcev D. S. Restoration and reinforcement of load–bearing structures with external reinforcement – carbon tape "FIBARM". *Epoha nauki*, 2016, no. 8, pp. 234–238. (In Russ.). doi: 10.1555/2409-3203-2016-0-8-228-232
10. Evdokimov A. A., Imametdinov E. Sh., Malahovskij S. S. Reinforcement of building structures made of concrete with an external reinforcement system made of carbon fiber. *Trudy VIAM*, 2020, no. 10(92), pp. 73–80. (In Russ.). doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80
11. Berezina M. V. Repair and reinforcement of reinforced concrete structures by injection of concrete. *Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki i praktiki: sb. st. po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Actual issues of modern science and practice: collection of articles based on materials of the international scientific and Practical Conference (Ufa, December 21, 2019)]. Ufa, Vestnik nauki, 2019, pp. 221–225. (In Russ.).
12. Pat. RF No. 2386653. *Polymer composite repair material*. Smirnov M. M., Malyugin A. S., Davydkin N. V. Opubl. 20.04.2010. (In Russ.).
13. Chursova L. V., Raskutin A. E., Gurevich Ya. M., Panina N. N. Cold curing binder for the construction industry. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2012, no. 5, pp. 40–44. (In Russ.).
14. Pat. RF No. 2772286. *Epoxy composition of cold curing*. Shmoylov E. E., Chursova L. V., Panina N. N., Grebeneva T. A. The applicant is JSC Prepreg-SCM. Publ. 18.05.2022. (In Russ.).
15. Pat. RF No. 2706661. *Epoxy binder, prepreg based on it and a product made from it*. Shmoylov E. E., Panina N. N., Chursova L. V., Golikov E. I. The applicant is JSC Prepreg-SCM. Publ. 19.11.2019. (In Russ.).
16. Pat. RF No. 2688608. *Cold curing epoxy binder for external reinforcement systems*. Shmoylov E. E., Chursova L. V., Kogan D. I. The applicant is JSC Prepreg-SCM. Publ. 21.05.2019. (In Russ.).
17. Pat. RF No. 2791395. *Cold curing adhesive composition*. Shmoylov E. E., Chursova L. V., Panina N. N. The applicant is JSC Prepreg-SCM. Publ. 07.03.2023. (In Russ.).
18. Fedotov M. Yu., Shmoylov E. E., Kozel'skaya S. O. Creation of an integrated reinforcement system for building structures with carbon composite polymer materials with diagnostics of their quality and resource assessment. *Perspektivnye zadachi inzhenernoj nauki. Sb. st. XIV Mezhdunar. nauch. foruma* [Promising tasks of engineering science. Collection of Articles XIV International Scientific Forum (Moscow, May 17, 2023)]. Moscow, Impul's Publ.; RGU im. A. N. Kosygina Publ., 2023, pp. 292–298. (In Russ.).

САЙТ ЖУРНАЛА «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»: **www.pgs1923.ru**