

А.С. Дударев, С.В. Калошина, Е.В. Баяндин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Собраны и проанализированы наиболее известные случаи применения и использования полимерных композиционных материалов в строительной отрасли. Полимерные композиционные материалы – особый класс конструкционных материалов, который появился недавно относительно других широко известных строительных материалов. Хронологически полимерные композиционные материалы разрабатывались с середины XX в., первоначально для авиационной, ракетно-космических отраслей, позже для судостроительной, затем стали выпускаться изделия из полимерных композиционных материалов для народного хозяйства и строительства. В строительной отрасли полимерные композиционные материалы нашли применение во многом благодаря своим уникальным свойствам, описанным в статье. Наибольшее использование полимерных композиционных материалов по удельному содержанию в новых зданиях отмечается в качестве самонесущих ограждающих конструкций, сэндвич-панелей, каркаса. Умеренное использование полимерных композиционных материалов по удельному содержанию наблюдается в качестве гибких связей, панелей внешней отделки, опор осветительных сетей, элементов декора, элементов благоустройства.

Другим направлением применения в строительстве композитов в последнее время становится всё большее создание легких равнопрочных конструкций путём усиления колонн, балок, оболочек наклеиваемым стекловолокном или углеволокном. Усиление за счет внешнего армирования имеет ряд достоинств: перенос и перераспределение нагрузок позволяют значительно продлить межремонтный период частей сооружения, увеличить надежность строительных конструкций. Применение стекловолокна, углеволокна наиболее перспективно, так как их высокая удельная прочность позволяют создать достаточно легкую и высокопрочную конструкцию. Также наметилась тенденция к созданию в будущем новых композиционных материалов с заданными свойствами.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, стеклопластик, углепластик, ограждающие конструкции, самонесущая стена, гибкая связь.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – это неоднородные сплошные многокомпонентные материалы с различными физическими и химическими свойствами [1–4].

В силу относительной новизны появления ПКМ, терминология с их описанием до сих пор не устоялась, и в технической литературе встречаются идентичные понятия – композиционные и композитные материалы, или сокращенно – композиты.

У ПКМ армирующие наполнители в виде волокон, нитей, жгутов или тканей воспринимают основную долю нагрузок и обеспечивают высокие физико-механические характеристики материала. Материал матрицы окружает и фиксирует армирующий материал, придает изделию форму, обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжений в наполнителе и определяет такие характеристики, как огнестойкость, химическую стойкость, а также теплопроводность и влагопроницаемость [1, 5, 6].

Основные ПКМ получили наибольшее распространение в следующих отраслях: аэрокосмической, автомобильной, строительной, судостроительной, спортивной, товарах народного потребления.

Ниже приведена краткая характеристика анализируемых ПКМ.

Стеклопластики. Это довольно экономичные материалы из всех известных ПКМ с хорошими универсальными свойствами. Стеклопластики основаны на полимере с наполнителем, в качестве которого выступают стеклянные волокна.

С изменением объёмного содержания стеклянных волокон в пластике меняются его механические свойства, однако предельная степень наполнителя для стеклопластиков составляет 65–67 %.

Основные методы получения стеклопластиков – намотка и прессование.

Углепластики. В качестве наполнителя в таких составах используются углеродные волокна. Причём углеродные соединения могут быть применены в виде нитей или листов. Углепластики способны выдерживать большие нагрузки, проводят электричество, но при своих уникальных показателях прочности остаются очень легкими – это делает их ценными для снижения веса конструкции.

В качестве связующего для углепластиков применяют эпоксидные смолы, так как они обладают хорошей адгезией к углеродному волокну и позволяют формовать изделия при невысоких давлениях.

Изделия из углепластиков получают такими методами, как намотка и прессование.

У углепластиков в большей мере, чем у стеклопластиков, проявляется анизотропия свойств.

Отличительным свойством углепластиков является их высокая статическая и динамическая выносливость, достаточно высокая тепло-, водостойкость и химическая стойкость.

Их основной недостаток – дороговизна, связанная со сложным процессом производства.

Боропластики. В качестве наполнителя используются борные волокна, полимерная основа представляет собой реактопласт. Данный материал прочный, устойчивый к механическим воздействиям на сжатие и превосходит большинство других композитов. Высокомодульные боропластики отличаются высокой твердостью, жесткостью, высокой динамической и статической выносливостью при нагружении в направлении волокон, повышенной тепло- и электропроводностью [5].

Боропластики получают всеми известными методами получения полимерных композиционных материалов – намоткой, прессованием, гидровакуумным формованием и т.д.

Волокна бора получают осаждением металлического бора на нагретую подложку. В качестве подложки применяют вольфрамовую проволоку [5].

Органопластики. В производстве этого вида ПКМ используются органические вещества, а именно наполнитель из арамидного волокна, доля которых может составлять от 2 до 70 % от массы композиции. Однако органопластики обладают низкой обрабатываемостью резанием, их крайне тяжело обработать механически.

Преимущества полимерных композиционных материалов [3, 4, 6, 7]:

Прочность. Благодаря использованию полимеров и особым химическим связям, ПКМ обладают высокой удельной прочностью.

Низкий вес. При высокой удельной прочности композиты имеют меньший вес, чем альтернативные конструкционные материалы.

Малое температурное расширение. Полимерные композиционные материалы способны лучше сохранять геометрию при изменении температуры.

Низкая теплопроводность. Композиционные материалы на основе полимеров плохо проводят тепло, а значит имеют хорошие теплоизоляционные свойства.

Варьируемая электропроводность. Полимерные композиционные материалы в зависимости от состава могут быть как диэлектриками,

так и проводниками. Можно получить состав с заданным уровнем электропроводности.

ПКМ обладают химико-биологической стойкостью.

ПКМ имеют высокую износостойкость и долговечность. Срок эксплуатации композитных материалов может составлять более 50 лет.

Пожаробезопасность. Большинство полимерных композиционных материалов являются негорючими.

Недостатки полимерных композиционных материалов приведены в [3, 4, 6].

Основные недостатки:

– Высокая стоимость получения ПКМ.

– Анизотропия свойств ПКМ. Прочностные характеристики в разных направлениях конструкции различны. Так, модуль упругости однонаправленного углепластика вдоль волокон в 10–15 раз выше, чем в поперечном. Это вызывает необходимость учитывать анизотропию свойств на стадии проектирования изделий.

– Высокая стоимость размерной механической обработки, которая обусловлена низкой технологичностью резания ПКМ.

– Экологическая безопасность. При резании ПКМ могут выделяться пары, которые являются токсичными.

В то же время в России, как и во всём мире, в последнее время наблюдается рост композитных кластеров и композитной промышленности, который определяется спросом со стороны отраслей, где требуется снижение веса продукции при сохранении прочности изделий. На рис. 1 представлены такие отрасли, как авиастроение, автомобилестроение, строительство, судостроение, ветроэнергетика в процентном соотношении употребления ПКМ [8].

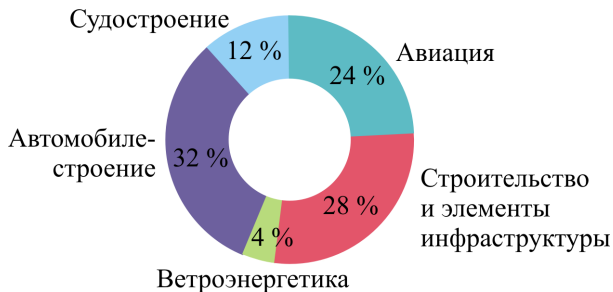


Рис. 1. Доли спроса со стороны основных отраслей – потребителей композитных материалов (согласно результатам интерактивного опроса)

Из рис. 1 видно, что 28 % из всех производимых ПКМ используются в строительной отрасли. ПКМ обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными материалами. Полимерные композиционные материалы применяются при строительстве зданий и сооружений различного назначения, объектов транспортной инфраструктуры, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве [8].

Рассмотрим более детально варианты применения полимерных композиционных материалов. Проведем в таблице сравнительный анализ композиционного материала и традиционных конструкционных материалов [9].

Сравнительная характеристика материалов

Свойство	Сталь	Пластик	Стеклопластик	Дюралюминий
Удельный вес, г/см ³	7,8	1,3–1,4	1,1	2,8
Коррозионная стойкость	Низкая	Абсолютная	Абсолютная	Высокая
Предел прочности при растяжении, МПа	200–226	50	1700	150
Модуль упругости, ГПа	210	2,0–2,7	21–41	70
Коэффициент теплопроводности, Вт/К·м	17,5–58	0,13–1,6	0,3–0,5	140–190
Электропроводность	Да	Нет	Нет	Да
Диапазон рабочих температур, °С	От –60 до +300	От –50 до +80	От –18 до +600	От –70 до +210
Относительное удлинение при разрыве, %	25	6–100	2,2	3
Экологичность	Экологичен	Токсичен	Малоопасен	Экологичен
Долговечность, лет	Около 50	Около 15	Более 80	Около 50
Разрушающее напряжение при сжатии (растяжении), МПа	410–480	41–48	410–1180	80–430
Разрушающее напряжение на изгибе, МПа	400	80–110	690–1240	275
Коэффициент линейного расширения, 1/°С	$(11–14) \cdot 10^{-6}$	$(75–80) \cdot 10^{-6}$	$(9–12) \cdot 10^{-6}$	$(21–24) \cdot 10^{-6}$

По данным таблицы очевидно превосходство полимерных композиционных материалов, небольшой удельный вес сочетается с высокими физико-механическими свойствами. В ПКМ сочетаются лучшие качества пластика, стали или алюминия, при этом отсутствуют недостатки, присущие им [9–11].

В настоящее время области применения ПКМ в строительстве очень обширны, наиболее актуальны следующие [1, 10]:

- для изготовления самонесущих ограждающих строительных конструкций;
- усиления строительных конструкций;
- внешней и внутренней отделки зданий и сооружений;
- производства элементов инженерных систем;
- изготовления строительного инвентаря;
- изготовления элементов благоустройства территории;
- изготовления гидро-, тепло- и звукоизоляции;
- осветительные опоры;
- усиление пролётов, балок путём внешнего армирования.

Самонесущие ограждающие конструкции. Для современных самонесущих стен и ограждающих конструкций широко применяются полимерные композиты. Основными направлениями использования являются: конструкции из полимербетона, стойки, профили, балки, арматура, сэндвич-панели и т.д. [1, 12].

Сэндвич-панели объединяют в себе несколько компонентов стены здания, такие как несущие элементы, теплоизоляция и пароизоляция. Они могут использоваться для многих элементов зданий, таких как наружные стены, крыша.

Сэндвич-панели – это конструкции, состоящие из легкого тепло-, звуко-, виброизоляционного материала, обклеенного с обеих сторон прочными и жесткими обшивками, стойкими к различным воздействиям. В качестве утеплителя используют минеральную вату, стекловолно, пенополиуретан, пенополистирол и т.п. В качестве обшивки используют два листа жесткого материала (профилированный металлический лист, ПВХ (поливинилхлорид), ДВП (древесноволокнистая плита), магнетитовая плита, стеклопластик и т.д.) [12]. На рис. 2 показаны ограждающие строительные конструкции в виде бревна, бруса, а на рис. 3 – применение сэндвич-панелей при возведении промышленного здания.

Наиболее распространенными полимерными ограждающими конструкциями являются трехслойные панели. Трехслойные панели – плоские или пространственные конструкции, состоящие из легкого тепло-, звуко-, виброизоляционного материала, обклеенного с обеих сторон прочными и жесткими обшивками, стойкими к различным воздействиям. Монолитность соединения обшивок со средним слоем и частичная

передача на этот слой действующих нагрузок с одновременным выполнением им изоляционных функций ставят трехслойные панели в число наиболее эффективных несущих и ограждающих конструкций. Масса трехслойных панелей лежит в пределах $40\text{--}70\text{ кг/м}^3$, удельный вес на единицу площади $5\text{--}39\text{ кг/м}^2$ (например, по данным отечественного завода «РСП СЭНДВИЧ ПАНЕЛИ» (г. Санкт-Петербург). Наибольший удельный вес имеют сэндвич-панели с минеральной ватой в качестве наполнителя – до $38,5\text{ кг/м}^2$, наименьший вес имеют панели с пенополистиролом – от 5 до $14,7\text{ кг/м}^2$), что позволяет значительно снизить массу зданий и повысить индустриальность строительства.



Рис. 2. Строительные конструкции из полимерных композиционных материалов:
a – бревно; *b* – брус



Рис. 3. Использование сэндвич-панелей
в строительстве промышленного здания

Трехслойные панели могут применяться по назначению (покрытия по несущим конструкциям; подвесные перекрытия; вертикальные огра-

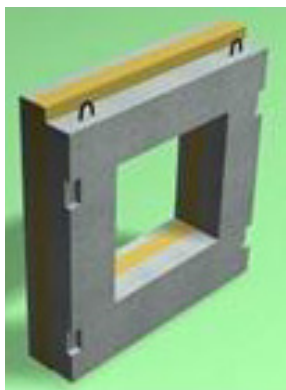


Рис. 4. Панель с обшивкой из ПКМ

ждения зданий) и по светопропускающей способности (светопрозрачные и глухие).

На рис. 4 приведена слоистая панель с обшивками из полимерных композиционных материалов.

Сейчас в строительную отрасль начали внедряться наборы универсальных элементов и строительные конструкции из ПКМ. Они позволяют возвести объект с высокой геометрической точностью и качеством. На рис. 5 показаны наборы элементов строительных конструкций. Сборка таких конструкций и элементов происходит с помощью фиксаторов, специально созданных для того, чтобы можно было осуществить сборку сухим способом [13]. Полости, которые присутствуют в этих элементах и конструкциях, можно заполнить утеплителем для большего уровня теплотехнических характеристик [1, 12].

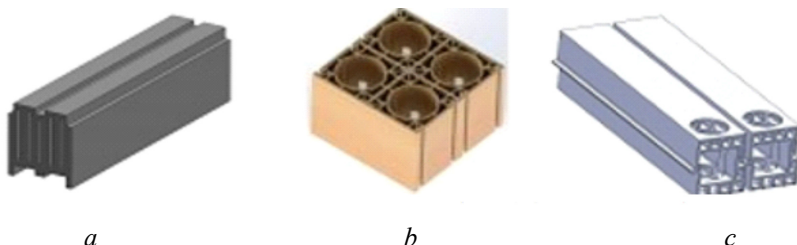


Рис. 5. Отдельные элементы универсального набора:
a – фундаментный блок; *b* – стеновой блок; *c* – балка перекрытия

Гибкие связи. Гибкие связи в многослойной ограждающей конструкции – важный элемент, соединяющий стены с прослойкой утеплителя между ними [14].

Согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции», гибкие связи следует проектировать из коррозионностойких сталей, а также из полимерных композиционных материалов. В качестве полимерных материалов используются композитные – базальто- и стеклопластики. На применение композитных гибких связей выпущен даже стандарт ГОСТ Р 54923-2012 «Композитные гибкие связи для многослойных ограждающих конструкций. Технические условия».

Благодаря низкой теплопроводности, гибкие связи из ПКМ не пропускают потоки тепла или холода, т.е. не образуются «мостики» холода в многослойной стене [14].

Пример эффективного крепления внутренней стены с облицовочным слоем в системе трехслойных стен (с использованием теплоизоляционного материала) показан на рис. 6, также возможен вариант при возведении однородных стеновых конструкций для усиления кладки.

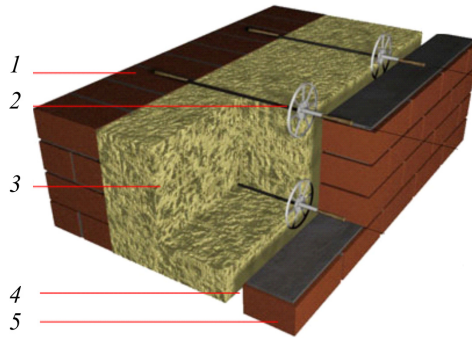


Рис. 6. Схема трехслойной стены: 1 – внутренняя часть стены; 2 – гибкая связь; 3 – утеплитель; 4 – воздушный зазор; 5 – облицовочная часть стены

Полимерные композиционные материалы в настоящее время также используются для производства укрупненных строительных конструкций: стеновых панелей, элементов балочных перекрытий и т.д. На рис. 7 представлен пример конструкции балочного перекрытия.

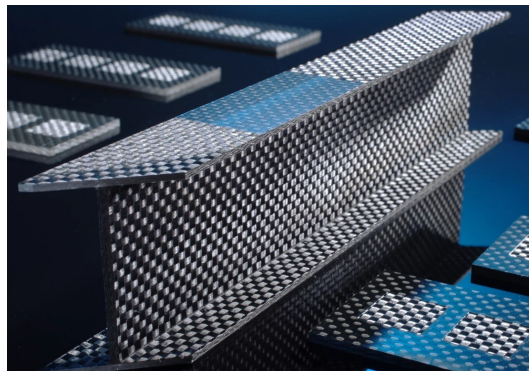


Рис. 7. Балка перекрытия из углепластика

В Штутгартском университете в Институте проектирования и строительства (ICD/ITKE) создали павильоны (рис. 8) для выставки Bundesgartenschau-2019 из полимерных композиционных материалов – стеклопластика и углепластика [15].



Рис. 8. Павильон BUGA fibre, построенный университетом Штутгарта [15]

Кроме этого, в Штутгартском университете [15] также разработаны пространственные конструкции узлов из ПКМ (рис. 9).



Рис. 9. Конструкция пересекающегося узла для четырёх секций из ПКМ [14]

Технологии изготовления пространственных конструкций из ПКМ в Штутгартском университете применяются методом намотки и плетения.

В Штутгартском университете разработана методология комбинированного плетения, когда основная решетка выполняется из стекловолоконной нити и затем делается армирование углеродным волокном (рис. 10). Такой метод позволяет получить сложные каркасы с заданными свойствами.

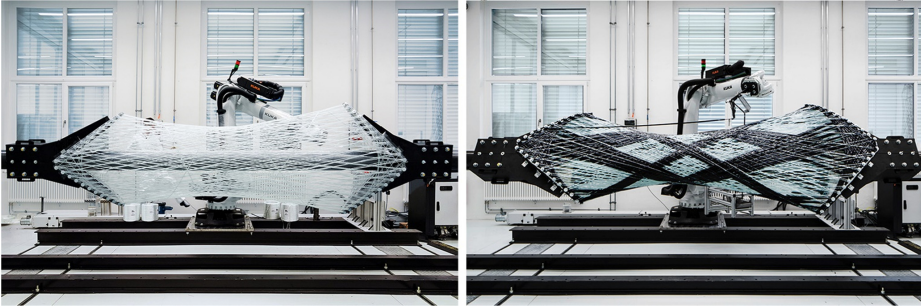


Рис. 10. Процесс намотки нитей ПКМ каркаса для павильона [16].
Основа из стекловолоконной решетки (слева) и армирование углеродным волокном (справа)

Известны купольные конструкции из стеклопластика [17] в виде ортогонального гиперболического параболоида, работающего в системе на растяжение и сжатие [17]. Такой купол представляет собой прочную и жесткую конструкцию.

Известны также сетчатые строительные конструкции из органо-углепластиков (рис. 11).



Рис. 11. Сетчатые конструкции из органо-углепластиков

Усиление строительных конструкций. Полимерные композитные материалы активно применяются для усиления строительных конструкций. Существует внешнее, внутреннее и комбинированное армирование [1].

Внешнее армирование строительных конструкций заключается в закреплении на необходимой поверхности полотен из тканых материалов (углеродные ленты, ткани, сетки, углепластиковые ламели,

мультиаксиальные ткани) с последующим нанесением защитных и укрывочных слоев полимерных материалов. Система внешнего армирования из полимерных композитов предназначена для усиления бетонных, железобетонных, каменных, армокаменных и стальных конструкций зданий и сооружений (рис. 12). Известно, что конструкции разрушаются под воздействием природных факторов и агрессивных сред. Система внешнего армирования позволяет устранить негативные последствия этих воздействий, повысить надежность, несущую способность и долговечность зданий и сооружений, подготовить их к чрезвычайным нагрузкам (например, в сейсмоопасных регионах) [18].



Рис. 12. Внешнее армирование строительных конструкций углепластиком

Система внешнего армирования регламентируется национальным стандартом РФ ГОСТ Р 57048-2016 «Система внешнего армирования из полимерных композитов» и применяется для восстановления плит перекрытий, балок, колонн, элементов ферм, фундаментов, железобетонных каркасов, пролетов лестниц и др. Они активно используются в капитальных ремонтах и реконструкциях зданий, восстановлении сооружений после пожаров и аварий.

Внешнее армирование имеет ряд достоинств:

- при усилении и сейсмоусилении строительных конструкций не требуется специальная техника или оборудование;
- работы можно проводить без остановки эксплуатации зданий и сооружений;

- общий вес усиления железобетонных конструкций за счет углеволокна остается с незначительным увеличением и существенно меньшим в сравнении с применением других технологий ремонта и восстановления железобетонных конструкций (ЖБК);

- перенос и перераспределение нагрузок позволяют значительно продлить межремонтный период частей сооружения, увеличить надежность строительных конструкций;

- материальные затраты на применение системы внешнего армирования оказываются в выгодном оптимальном соотношении с показателями по прочности, долговечности и общим экономическим эффектом.

На рис. 13 показан процесс внешнего армирования строительных конструкций и стен тканевыми полимерно-композитными материалами.



Рис. 13. Процесс внешнего армирования строительной конструкции ПКМ

Внутреннее армирование используется в конструкциях, в которых среда агрессивна по отношению к арматуре, а не к бетону.

Внутреннее армирование подразделяется:

- на дискретное – осуществляется стеклопластиковыми стержнями, которые равнозначны стальным по прочности;

- дисперсное – в этом случае в бетонную смесь добавляются рубленое стеклопластиковое волокно. Волокна распределяются в бетоне либо хаотично, либо в определенном направлении.

Для внутреннего армирования строительных конструкций используются различные виды арматуры и пластин, а также тканые композитные материалы. На рис. 14 показано дискретное армирование строительных конструкций стеклопластиковой арматурой.

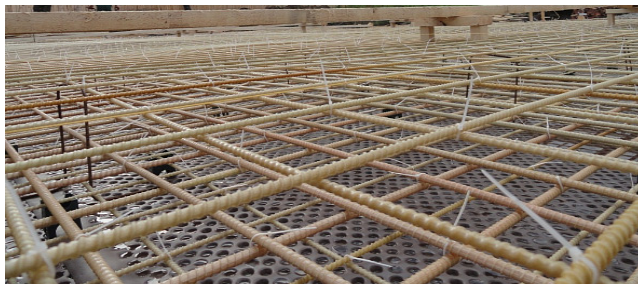


Рис. 14. Внутреннее армирование с помощью стеклопластиковой арматуры

Появляются также технологии устройства буронабивных свай, когда в пробуренную скважину устанавливают армокаркас из полимерных композиционных материалов.

Также существует комбинированное армирование строительных конструкций. Такое армирование используется, когда внешнего армирования недостаточно для сопротивления механическим нагрузкам, оно дополняется внутренней стержневой арматурой, пластиковой или стальной.

Внешняя и внутренняя отделка зданий и сооружений. Полимерные композитные материалы также используются для внешней и внутренней отделки зданий и сооружений. Это обеспечивает небольшую массу при высоких показателях жесткости и прочности. Использование данных материалов для внешней и внутренней отделки позволяет защитить строительные конструкции от воздействия внешних факторов. Такие панели монтируют, когда необходимо создать красивый, но в то же время долговечный фасад здания. На рис. 15 показано использование композитных материалов для внешней отделки зданий.

Изготовление элементов инженерных систем. Одно из обширных направлений использования ПКМ – изготовление элементов различных инженерных систем. Из ПКМ изготавливают коллекторы канализационных систем больших диаметров, прокладываемые под автомагистралями с большой интенсивностью движения (рис. 16).

В угледобывающей промышленности используются стеклопластиковые отводы и тройники для дегазационных трубопроводов [1, 10].

В химической промышленности незаменимы устойчивые к агрессивному воздействию кислот емкости и резервуары из стеклопластика.



Рис. 15. Внешняя отделка здания из углепластика



Рис. 16. Трубы из стеклопластика

Изготовление строительного инвентаря. Полимерные композиционные материалы используются для изготовления различного строительного инвентаря, в частности композитной опалубки. В последнее время вырубают большое количество деревьев, и с каждым годом эта цифра возрастает. В 1993 г. ученые разработали композитную опалубку, что привело к ее бурному применению в строительной отрасли. В России данный вид опалубки редко применяется и не производится, потому что не развит технологический процесс и мало научно-исследовательских работ на эту тему [19].

Преимущества опалубки из полимерных композиционных материалов [19]:

- легкость (данный вид опалубки легок, поэтому её легко переносить без использования механических средств);
- скорость (благодаря легкости и простоте монтажа, сборку может производить один человек);

- многоразовость (опалубка имеет оборачиваемость не менее 100 циклов при условии правильной эксплуатации);
- модульность (все элементы имеют стандартную высоту из строительных стандартов – 60 см, на объекте применяются только необходимые панели);
- гладкие рабочие поверхности (бетон не прилипает к поверхности опалубки, что позволяет ее легко отмыть с помощью воды);
- складирование (полностью разбирается и может компактно храниться).

Опалубки из ПКМ позволяют монтировать стены практически любой толщины и высоты, возводить конструкции любой формы и сложности, а также получить гладкую и однородную поверхность стен, обеспечивая этим высокий уровень качества. Легкость таких панелей обеспечивает высокую скорость работы [19].

На рис. 17 показана опалубка из полимерных композиционных материалов.



Рис. 17. Опалубка для бетонирования стен из ПКМ

Изготовление элементов благоустройства территории. В настоящее время полимерные композиционные материалы активно используются для изготовления элементов благоустройства территории. В основном для этого используются изделия, выполненные из стеклопластика и древесно-полимерных композитов.

Уличная мебель, малые архитектурные формы, скамейки из композита – это самое современное решение в благоустройстве городов и частных территорий.

На рис. 18 показано использование полимерно-композитных материалов для изготовления малых архитектурных форм в виде скамьи из стеклопластика [20].



Рис. 18. Скамья из стеклопластика

Также с помощью полимерных композиционных материалов можно выполнить декорирование дома и дачного участка. Например, стеклопластик – это тот материал, который создаётся вместе с изделием, т. е. форма его зависит от формы той основы, на которой происходит его изготовление. Это даёт возможность дизайнерам проявить свою фантазию: стены самых причудливых форм, балки под старину, садовые скульптуры, всевозможные горки для ландшафтного дизайна – всё это и многое другое доступно из стеклопластика.

Элементы декора. Для высотного домостроения из ПКМ возможно изготовить объемный, сложной формы декоративный элемент для фасада здания. Он должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать ветровые нагрузки, а также он должен быть довольно легким, чтобы его было технологически просто установить. Стеклопластик подходит наилучшим образом для изготовления пространственных элементов декора фасадов. Малый удельный вес ПКМ позволяет с легкостью крепить его к вертикальным стенам зданий. На рис. 19, 20 показаны примеры таких элементов декора из стеклопластика.

Стеклопластиковые опоры. Удачным решением является установка стеклопластиковых столбов – опор освещения, светофоров, дорожных знаков. Краш-тесты, проведенные с опорами освещения, изготовленными из стеклопластика, показали, что автомобиль, сбивающий

столб, остается с минимальными повреждениями, потому что ПКМ способны поглощать ударную нагрузку. Такая опора выдерживает ветровые нагрузки, не подвержена коррозии и может быть изготовлена в любом цветовом решении. Поэтому установка таких столбов гораздо выгоднее и безопаснее в отличие от металлических или железобетонных. На рис. 21 показаны опоры освещения из ПКМ.

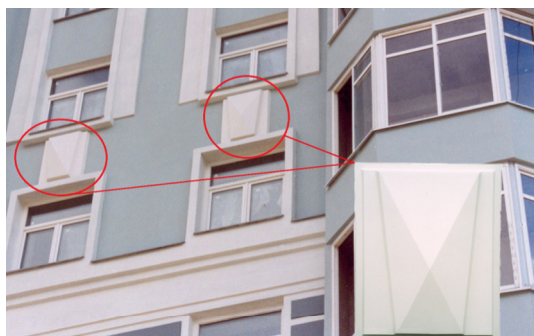


Рис. 19. Стеклопластиковый декор на фасаде дома



Рис. 20. Элементы стеклопластиковой лепнины над окнами дома

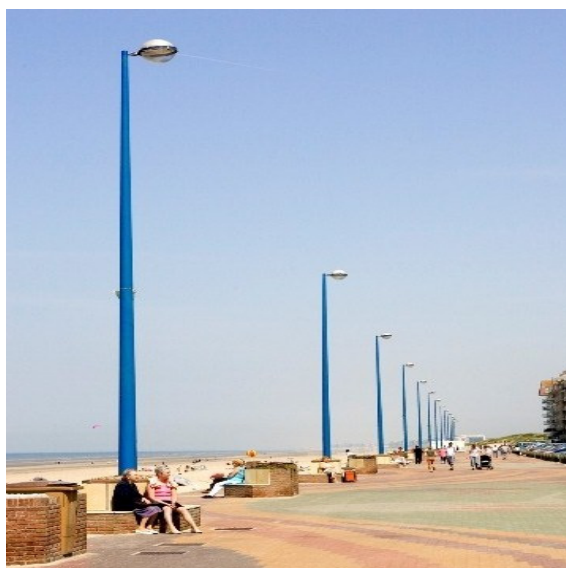


Рис. 21. Опоры освещения из ПКМ

Выводы. Полимерные композиционные материалы нашли широкое применение в строительной отрасли.

В России применение композитов отстает от зарубежных стран как по различным отраслям, так и по уровню технологий, объемам производства, развитости внутреннего рынка. Объемы производства композитов в развитых странах и в России несопоставимы по масштабам и отличаются на порядок по объемам. На сегодняшний день потребление композитных материалов на душу населения в России составляет около 0,5 кг, что в 12–15 раз меньше, чем в развитых странах. Внедрение ПКМ в строительную отрасль затрудняется из-за того, что в настоящее время практически отсутствует соответствующая нормативная база, регламентирующая их расчеты и использование, а также многие специалисты строительной отрасли зачастую просто не обладают достоверной информацией о технических характеристиках полимерных композиционных материалов.

Столь неблагоприятное положение композитной отрасли в России объясняется многими причинами, среди которых ключевыми являются:

- ограниченные объемы исходного российского химического сырья для производства полимерных композиционных материалов;
- отсутствие отечественного технологического оборудования для получения исходных компонентов композиционных материалов;
- направленное развитие материаловедения в первую очередь для авиационной отрасли;
- сложный и длительный процесс сертификации отечественных разработок (три года и более).

Библиографический список

1. Рысокович, А.С. Применение композитных материалов в строительстве / А.С. Рысокович // Материалы VI науч.-практ. конф. «Современные тенденции образования и строительства», 2020. – С. 1–8.
2. Власенко, Ф.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин // Труды Всерос. науч.-исслед. ин-та авиац. материалов. – 2013. – № 8. – С. 4–13.
3. Полимерные композиционные материалы: основные типы [Электронный ресурс] / PLASTINFO: сайт. – URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/110/> (дата обращения: 05.02.2023).
4. Композиционные материалы и их классификация [Электронный ресурс] / PROIZ-THE: сайт. – URL: <https://proiz-teh.ru/kompozicionnye-materialy.html> (дата обращения: 05.02.2023).
5. Степанов, А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов / А.А. Степанов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

6. Гавриленко, В.А. Композиты XXI века: возможности и реальность / В.А. Гавриленко // Деловой журнал neftegaz.ru. – 2019. – № 2 (86). – С. 30–33.
7. Дженни, Б. Использование композитных материалов в оборонной промышленности и аэрокосмической индустрии / Б. Дженни // Вестник электроники. – 2014. – № 1. – С. 24–27.
8. Анализ российского рынка композитных материалов: итоги 2019 г. Прогноз до 2022 г. [Электронный ресурс] // Marketing rbc: сайт. – URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12447> (дата обращения: 05.02.2023).
9. Катаева, Т.А. Преимущества композитных материалов и эффективность их использования в промышленном производстве в России / Т.А. Катаева // Материалы VIII Междунар. студ. науч. конф. «Студенческий научный форум». – 2016. – С. 10–17.
10. Шишакина, О.А. Полимерные композиционные материалы в строительстве / О.А. Шишакина, А.А. Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 12–2. – С. 234–238.
11. Современные композиционные строительные материалы / И.Ю. Шитова, Е.Н. Самошина, С.Н. Кислицына, С.А. Болтышев. – Пенза: ПГУАС, 2015. – С. 13–16.
12. Новоковский, К. Разновидности полимеров и сферы их применения в строительстве [Электронный ресурс] / К. Новоковский // МАИСТРО: строит. портал. – URL: <https://maistro.ru/articles/building-materials-and-technologies/raznovidnosti-polimerov-i-sfery-ih-primeneniya-v-stroitelstve> (дата обращения: 06.12.2023).
13. Вержбовский, Г.Б. Быстровозводимые малоэтажные здания из композитных материалов [Электронный ресурс] / Г.Б. Вержбовский // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2015. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3122> (дата обращения: 16.03.2023).
14. Луговой, А.Н. Композитные гибкие связи для трехслойных панелей / А.Н. Луговой, А.Г. Ковригин // Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 22–24.
15. Früh, N. Multi-stage filament winding: Integrative design and fabrication method for fibre-reinforced composite components of complex geometry / N. Früh, J. Knippers // Composite Structures. – 2021. – № 268. – P. 113969. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.113969
16. Structural design assisted by testing for modular coreless filament-wound composites: The BUGA Fibre Pavilion / M.G. Perez, B. Rongen, V. Koslowski, J. Knippers // Construction and Building Materials. – 2021. – № 301. – P. 124303. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124303
17. Волк, А.И. Строительные материалы, изделия и конструкции из стеклопластиков / А.И. Волк, В.А. Иванов, В.Т. Попов. – Киев: Будівельник, 1974. – 168 с.
18. Вахрушева, Е.А. Внешнее армирование углеродным волокном как метод усиления строительных конструкций [Электронный ресурс] / Е.А. Вахрушева // Архитектура и дизайн. – 2018. – № 3. DOI: 10.7256/2585-7789.2018.3.29873. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29873 (дата обращения: 02.12.2023).
19. Имомназаров, Т.С. Применение композитной опалубки в строительстве / Т.С. Имомназаров, К.А. Костюкова, Г.А. Харисова // Системные технологии. – 2017. – № 23. – С. 22–23.
20. Имомназаров, Т.С. Использование композитных материалов при благоустройстве городских территорий / Т.С. Имомназаров, Е.М. Тушикова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 204–211.

References

1. Rysokovich A.S. Primenenie kompozitnyh materialov v stroitelstve // Materialy VI nauchno-prakt. konf. *Sovremennye tendencii obrazovaniya i stroitel'stva*, 2020, pp. 1–8.
2. Vlasenko F.S., Raskutin A.E. Primenenie polimernyh kompozitsionnyh materialov v stroitel'nyh konstrukciyah. *Trudy VIAM*. № 8. – 2013, pp. 4–13.

3. PLASTINFO: Polimernye kompozicionnye materialy: osnovnye tipy [URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/110/>].
4. PROIZ-THE: Kompozicionnye materialy i ih klassifikaciya [URL: <https://proiz-teh.ru/kompozicionnye-materialy.html>].
5. Stepanov A.A. Obrabotka rezaniem vysokoprochnyh kompozicionnyh polimernyh materialov. L., Mashinostroenie (Leningr. otd-ie) 1987, 176 p.
6. Gavrilenko V.A. Kompozity 21 veka: vozmozhnosti i realnost // *DELOVOJ ZHURNAL NEFTEGAZ.RU*, 2019. № 2 (86), pp. 30-33.
7. Dzhenni B. Ispol'zovanie kompozitnyh materialov v oboronnoj promyshlennosti i aerokosmicheskoy industrii // *Vestnik elektroniki* (№ 1), 2014, pp. 24-27.
8. Analiz rossijskogo rynka kompozitnyh materialov: itogi 2019. Prognoz do 2022 g // *Marketing rbc*. [URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12447/>]
9. Kataeva T.A. Preimushchestva kompozitnyh materialov i effektivnost' ih ispol'zovaniya v promyshlennom proizvodstve v Rossii // *Materialy VIII Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii Studencheskij nauchnyj forum*, 2016, pp. 10-17.
10. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. Polimernye kompozicionnye materialy v stroitel'stve // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* (№ 12-2), 2019, pp. 234-238.
11. SHitova I.YU., Samoshina E.N., Kislicyna S.N., Boltyshev S.A. Sovremennye kompozicionnyestroitel'nye materialy // Penza: PGUAS, 2015, pp. 13-16.
12. Novokovskij K. Raznovidnosti polimerov i sfery ih primeneniya v stroitel'stve // *MAIS-TRO*. [URL: <https://maistro.ru/articles/building-materials-and-technologies/raznovidnosti-polimerov-i-sfery-ih-primeneniya-v-stroitel'stve>].
13. Verzhbovskij G.B. Bystrovovodimye maloetazhnye zdaniya iz kompozitnyh materialov. *Elektronnyj nauchnyj zhurnal Inzhenernyj vestnik Dona*. № 3 (2015) [Elektronnyj resurs]. [http // www. ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3122](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3122)
14. Lugovoj A.N., Kovrigin A.G. Kompozitnye gibkie svyazi dlya trekhslojnyh panelej // *Stroitelnye materialy*. – 2014. – № 5. Pp. 22-24.
15. Nikolas Früh, Jan Knippers. Multi-stage filament winding: Integrative design and fabrication method for fibre-reinforced composite components of complex geometrie // *Composite Structures*, 2021. № 268. 113969. [<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113969>].
16. Marta Gil Perez, Bas Rongen, Valentin Koslowski, Jan Knippers // *Construction and Building Materials*, 2021. № 301. 124303[<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124303>]
17. Volk A.I., Ivanov V.A., Popov V.T. Stroitel'nye materialy, izdeliya i konstrukcii iz stekloplastikov. Kiev: Budivelnik, 1974, 168 p.
18. Vahrusheva E.A. Vneshnearmirovanie uglerodnym voloknom kak metod usileniya stroitel'nyh konstrukcij // *Arhitektura i dizajn*. – 2018. – № 3. DOI: 10.7256/2585-7789.2018.3.29873 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29873
19. Imomnazarov T.S., Kostyukova K.A., Harisova G.A. Primenenie kompozitnoj opalubki v stroitel'stve // *Sistemnye tekhnologii*, 2017. № 23, pp. 22-23.
20. Imomnazarov T.S., Tupikova E.M. (2017) Composite structures application in urban landscaping. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18 (2), pp. 204–211.

A. Dudarev, S. Kaloshina, E. Bayandin

THE USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTION

The review collected and analyzed the most well-known cases of application and use of polymer composite materials in the construction industry. Polymer composite materials are a special class of structural materials that have recently appeared relative to other well-known building materials. Chronologically, polymer composite materials have been developed since the middle of the 20th century, initially for the aviation, rocket and space industries, later for ship-building, then products from polymer composite materials for the national economy and construction began to be produced. In the construction industry, polymer composite materials have found application, largely due to their unique properties described in the article. The greatest use of polymer composite materials in terms of specific content in new buildings is noted as self-supporting enclosing structures, sandwich panels, frames. Moderate use of polymer composite materials in terms of specific content is observed as flexible ties, exterior trim panels, lighting network supports, decorative elements, and landscaping elements.

Another area of application in the construction of composites has recently become an increasing creation of lightweight equal-strength structures by reinforcing columns, beams, shells with glued fiberglass or carbon fiber. Strengthening due to external reinforcement has a number of advantages: the transfer and redistribution of loads can significantly extend the overhaul period of parts of the structure, increase the reliability of building structures. The use of fiberglass, carbon fiber is the most promising, since their high specific strength makes it possible to create a fairly light and high-strength structure.

There has been a trend towards the creation of new composite materials with desired properties in the future.

Keywords: polymer composite materials, fiberglass, carbon fiber, enclosing structures, self-supporting wall, flexible connection.

Дударев Александр Сергеевич (Пермь, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий машиностроения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 29, e-mail: fanta88@mail.ru).

Калошина Светлана Валентиновна (Пермь, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 29, e-mail: kaloshina82@mail.ru).

Баяндин Евгений Владимирович (Пермь, Российская Федерация) – магистрант кафедры инновационных технологий машиностроения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 29, e-mail: e-bayandin@mail.ru).

Aleksandr Dudarev (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Innovative Engineering Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: fanta88@mail.ru).

Svetlana Kaloshina (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Operations and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: kaloshina82@mail.ru).

Evgeniy Bayandin (Perm, Russian Federation) – Master's Student of the Department of Innovative Engineering Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: e-bayandin@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Поступила: 13.06.2023

Одобрена: 25.02.2024

Принята к публикации: 11.03.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Дударев, А.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительстве / А.С. Дударев, С.В. Калошина, Е.В. Баяндин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2024. – № 1. – С. 5–27. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.01

Please cite this article in English as: Dudarev A., Kaloshina S., Bayandin E. Application of polymer composite materials in construction. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2024, no. 1, pp. 5-27. DOI: 10.15593/2409-5125/2024.01.01