

Таким образом, общемировая практика реновации промышленных объектов актуальна и для Республики Беларусь. Формирование такого рода объектов на месте пустующих промышленных предприятий в городах нашей страны позволит улучшить городскую среду, обеспечить пешеходную и транспортную доступность ранее изолированных районов старой промышленной застройки и включить их в пространство городского центра.

Список литературы

1 Малков, И. Г. Предпосылки, целесообразность и особенности перепрофилирования зданий / И. Г. Малков, И. В. Руденкова // Вестник Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 86–93.

2 Руденкова, И. В. Классификация способов зонирования в ходе реновации заводской территории в парковую зону: достоинства и назначение, возможности решения проблем реновационного процесса / И. В. Руденкова, А. В. Балахонова // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 2. Промышленное и гражданское строительство / Белорус. гос. ун-т транспорта ; редкол.: Ю. И. Кулаженко (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2023. – С. 38–40.

3 ТКП 45-3.01- 16-2008 (02250). Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки. – Введ. 01.07.09. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 64 с.

4 Реконструкция промышленного здания: методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура» / сост. О. И. Сысоева, Е. В. Морозов и Г. Л. Залеская. – Минск : БНТУ, 2014. – 44 с.

УДК 691.175.3

ГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. И. ВАЛИЕВ

*Научный руководитель – А. М. Сулейманов (д-р техн. наук, профессор)
Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация*

Одним из перспективных направлений в области строительного материаловедения является разработка научных принципов изготовления гибридных полимерных композитов конструкционного назначения.

Гибридными называют композиционные материалы, которые содержат в себе более одного вида наполнителя в полимерной матрице, изготавливаются с целью повышения упруго-механических свойств изделий [1].

В строительной практике известны примеры мостовых сооружений, несущие элементы которых выполнены гибридными (с гетероолокнистым

армированием) с целью обеспечения условий прочности, деформативности и устойчивости. Примеры реализованных гибридных мостов: мост в округе Бат (штат Кентукки, США); мост Томс-Крик (Блэксбург, штат Вирджиния, США); мост на железнодорожной линии Dover Sea Wall (графство Кент, Великобритания, рисунок 1); мост Департамента транспорта штата Вирджинии (рисунок 2), производства «Strongwell Corporation» и др. На практике полимерные композитные мостовые сооружения, в том числе гибридные (в основном пултрузионные, на основе сочетания стеклянных/углеродных волокон и эпоксидного связующего), с аналогами мостов из стали являются коррозионно-стойкими, долговечными, выдержали высокие перепады температур, УФ-излучения и эксплуатируются по сей день [2].



Рисунок 1 – Мост на железнодорожной линии Dover Sea Wall



Рисунок 2 – Мост Департамента транспорта Вирджинии

Согласно структуре рынка, потребление полимерных композитов в период с 2017–2023 гг. выросло на 17,1 % в объемном выражении, прогнозируется, что объем рынка будет увеличиваться с 2023 г. по 2029 г. на 3,67 % каждый год. По типу армирующего наполнителя 87 % рынка занимают стекловолокна за счет дешевизны и оптимальных свойств, 11 % – углеволокна с высокими показателями прочности, 2 % составляют остальные типы волокон. По полимерной матрице наиболее востребованными считаются эпоксидные смолы, которые обеспечивают высокую прочность по сравнению с другими видами полимерной матрицы, по объему рынка составляют в среднем 12,5 %, 54,5 % – полиэфирные и другие реактопласты, 33 % составляют термопласты [3].

Прочность композитов, армированных волокнами различной природы в едином полимерном связующем, зависит от широкого ряда факторов: физических, химических, в том числе технологических.

Реализация прочности волокон в гибридных полимерных композитах в значительной степени зависит от адгезионной прочности соединений в элементарных ячейках системы «волокно – матрица», которая прогнозирует эффективность диссипации напряжений от волокон к связующему при нагружении с выявлением вероятного механизма разрушения гибридного полимерного композита.

Направленное регулирование адгезионной прочности в гибридном полимерном композите реализуется путем модифицирования как армирующих волокон различной природы, так и полимерного связующего. Необходимо отметить, что уже в процессе получения волокон технологически предусмотрена стадия замасливания с целью улучшения технологических свойств, адгезии, защиты от механических повреждений. Также известны методы химической модификации поверхности волокон термохимической, плазмохимической, электрохимической и другими видами обработки [4]. Известны методы модифицирования полимерной матрицы в основном с использованием функционализированных термопластов [5]. Закономерности влияния модифицирования на адгезионную прочность до сих пор недостаточно изучены за счет сложности процессов, протекающих межфазных явлений и трудоемкости экспериментального определения адгезионной прочности за счет ее неинвариантности по отношению к методу измерения (внешнее усилие при отделении наполнителя от матрицы трактуется как на преодоление сил адгезии, так и на другие побочные процессы), что проявляется на чувствительности к размеру экспериментальных образцов.

Адгезия является самопроизвольным процессом, работа которого характеризуется прочностью адгезионной связи. Процесс образования адгезионной связи обеспечивается в результате тесного контакта между молекулами и реакционноспособными функциональными группами наполнителя и матрицы. Взаимодействие конденсированных фаз может быть обусловлено различными связями: ван-дер-ваальсовыми, химическими.

Основной целью разработки гибридных полимерных композитов является достижение максимальной адгезии в элементарной ячейке системы «различные типы волокон – матрица». Выделяют несколько теорий адгезии: механическая, молекулярная, электрическая, диффузионная, релаксационная и теория слабого слоя. В зависимости от условий образования адгезии один из механизмов может быть преобладающим, чаще является смешанным.

Для прогнозирования адгезионного взаимодействия с последующим регулированием (при необходимости) ключевой задачей является оценка параметров свободной энергии фаз в гибридном полимерном композите. Для максимальной реализации прочности волокон в полимерной матрице есть необходимость выполнения условия:

$$W_k - W_a = 2\gamma_s - \gamma_1(1 + \cos\theta) = 0,$$

где W_k – работа когезии волокна (работа против сил молекулярного притяжения), затрачиваемая для обратимого изотермического разделения на две

части столбика конденсированной фазы единичного сечения и непосредственно связанная со свободной поверхностной энергией (γ_s), которая приводит к сцеплению молекул в конденсированных фазах [5]; W_a – термодинамическая работа адгезии, затрачиваемой на преодоление сил межмолекулярного взаимодействия электростатической природы, определяемая по уравнению Юнга – Дюпре, путем объединения уравнения Томаса Юнга и уравнения Атанаса Дюпре по формуле $W_a = (\gamma_l + \gamma_s) - \gamma_{ls}$, и равна $W_a = \gamma_l (1 + \cos\theta)$ [6, 7]; γ_s – свободная поверхностная энергия твердой фазы; γ_l – свободная поверхностная энергия жидкой фазы; γ_{ls} – межфазная энергия; θ – равновесный краевой угол смачивания.

Таким образом, при контакте двух конденсированных фаз с приблизительно одинаковыми поверхностными натяжениями ($\gamma_s = \gamma_l$) равновесный краевой угол смачивания будет близок к нулю (т. е. $\cos\theta = 1$), что значительно скажется на степени реализации прочности различных типов волокон в полимерной матрице.

Для разработки гибридных полимерных композитов со сбалансированными свойствами необходим рациональный подбор компонентов для системы «волокна различной природы с замасливателями – полимерная матрица» с учетом технологии изготовления полимерных композитов, структуру рынка армирующих наполнителей и матрицы, опыта реализации сооружений из полимерных композитов.

Список литературы

1 Скудра, А. М. Структурная теория армированных пластиков / А. М. Скудра, Ф. Я. Булавс. – Рига : Зинатне, 1978. – 192 с.

2 Potyrala, P. B. Use of fibre-reinforced polymers in bridge construction. State of the art in hybrid and all-composite structures [Электронный ресурс] / P. B. Potyrala. – Режим доступа : <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/12353>. – Дата доступа : 03.12.2023.

3 Дориомедов, М. С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) / М. С. Дориомедов // Труды ВИАМ. – 2020. – № 6–7 (89) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskiy-i-mirovoy-rynok-polimernyh-kompozitov-obzor>. – Дата доступа : 02.12.2023.

4 Сидорина, А. И. Модификация поверхности углеродных армирующих наполнителей для полимерных композиционных материалов электрохимической обработкой (обзор) / А. И. Сидорина // Труды ВИАМ. – 2022. – № 4 (110). Ст. 07 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.viam-works.ru>. – Дата доступа : 03.12.2023. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-4-61-74.

5 The influence of «fiber-matrix interface energetic characteristics on the polymer composite strength / I. M. Karzov [et all.] // Moscow University Chemistry Bulletin. – 2010. – Vol. 51, N. 6. – P. 462.

6 Старостина, И. А. Развитие методов оценки поверхностных кислотно-основных свойств полимерных материалов / И. А. Старостина, О. В. Стоянов, Э. Краус // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 4. – С. 58–68.

7 Athanase M. Dupre. Theorie mecanique de la chaleur / Athanase M. Dupre, Paul Dupre. – Paris : Publisher Gauthier-Villars, 1869.

УДК 725.9

ГЕОКУПОЛ КАК СТРУКТУРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

А. А. ВЕПРИКОВА, А. Н. САНКОВА

Научные руководители: С. В. Тикунова (канд. филос. наук, доцент)

Л. А. Пашкова (ст. преп.)

Белгородский государственный технологический университет

им. В. Г. Шухова, Российская Федерация

Геопупол является одним из важных структурных элементов архитектурной среды, который способен обеспечить не только эстетическую компоненту объекта, но и функциональное и экологическое преимущество. В настоящей статье был рассмотрен геопупол как архитектурный элемент, изучены основные принципы строительных и инженерных аспектов данной конструкции, ее преимущества и недостатки, проведен комплексный анализ аналогичных объектов с применением геодезического купола, а также рассмотрены примеры успешной реализации геопуполов в различных странах для создания устойчивой и экологически чистой архитектурной среды.

Цель исследования состоит в том, чтобы выявить способность геопупола благоприятствовать созданию комфортного и энергоэффективного жилого и рабочего пространства, а также оценить их эстетическую привлекательность и уникальные архитектурные возможности.

Геопупол – это архитектурный элемент, представляющий собой изогнутую форму, выполненную в виде полусферы или сферы, собранную из стержней, образующих геодезическую структуру. Он используется в различных областях архитектуры, от жилых домов до коммерческих и образовательных зданий.

Геодезический купол является одним из самых эффективных способов создания пространств, которые идеально сочетают в себе эстетику и функциональность. Он позволяет не только создавать уникальные архитектурные формы, но и оптимизировать использование пространства внутри здания. Гибкость этой конструкции позволяет создавать разнообразные помещения, приспособленные под конкретные потребности людей, будь то жилое зда-