УДК 691.175.3

###### ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А.Г. Черных, д.т.н., проф., Д.В. Нижегородцев, асс., Е.Ю. Курило, инженер, Н.Н. Гриднев, студент*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4,*

*тел. (981) 825-78-12, E-mail:* [*mdvd0d@yandex.ru*](mailto:mdvd0d@yandex.ru)

*Аннотация:*

Применение полимерных композитных материалов (ПКМ) в строительных конструкциях создает необходимость в анализе длительного изменения свойств материала. В работе приведён анализ существующих моделей работы композитных материалов в условиях продолжительной эксплуатации. Сделан вывод о возможности применения исследованных методик к ПКМ, применяемых в современных зданиях и сооружениях.

*Ключевые слова*: армированный полимер, композиционный материал, стеклопластик, длительная прочность.

*Abstract:*

The use of polymer composite materials (PCM) in building structures creates the need for analysis of long-term changes in the properties of the material. The paper analyzes the existing models of composite materials in long-term operation. The conclusion is made about the possibility of applying the studied methods to PCM used in modern buildings and structures.

*Keywords*: FRP, composite materials, fiberglass, long-term strength.

Непрерывное развитие строительной отрасли обеспечивает необходимость в создании материалов, превосходящих по физико-механическим параметрам традиционно используемые материалы, применяемые при возведении зданий и сооружений. Перспективно применение композитов, в связи с тем, что они могут существенно увеличить долговечность сооружения за счет меньшего коррозионного износа, а также снизить вес конструкций, в том числе и тех, что работают в экстремальных условиях [1].

Полимерные композитные материалы (ПКМ) – искусственный продукт, состоящий из двух компонентов – матрицы и наполнителя, образующих единую структуру. Возможности применения ПКМ в различных конструкциях зданий и сооружений рассмотрены в научных трудах различных авторов [2-4].

Важнейшим свойством ПКМ выделяют возможность регулировать требуемые параметры, достигая их оптимального значения для конкретных задач [2-4].

Применение ПКМ в строительных конструкциях возможно в случае обеспечения требуемого уровня надежности здания, сооружения, то есть способности выполнять свои функции в течение расчетного срока эксплуатации объекта.

Основная задача настоящего исследования – выполнение ретроспективного анализа с целью выявления математических моделей, позволяющих оценить изменения прочности и иных свойств материала при длительной эксплуатации. При этом необходимо учесть опыт аналогичных исследований других конструкционных материалов, например, древесины [5].

В отечественной и зарубежной практике существует множество теоретических подходов к оценке физико-механических свойств ПКМ [1-11], изложенных в научных работах Регеля Р.В., Журкова С.Н., Филлипса, Д., Харриса Б., Бартенева Г.М., Френкеля С.Я. и др.

По результатам ретроспективного анализа было также выявлено, что проблема оценки эксплуатационных свойств и прогнозирование гарантийного ресурса работы изделий является наиболее актуальной. Необходимо найти решение, которое позволит точнее прогнозировать время, в течение которого композит будет способен удовлетворять эксплуатационному назначению при действии на него совокупного множества факторов [6].

При производстве полимерного композиционного материала необходимо задаваться вопросами прогнозирования длительности прочности на стадии изготовления состава композита, что становится возможным в результате применения математической модели, которая описывает изменения свойств в процессе эксплуатации ПКМ.

Ресурс и срок службы конструкций из ПКМ во многом зависит от способности воспринимать статические и динамические нагрузки при длительном воздействии различных факторов. Говоря о сроке службы ПКМ, следует различать два понятия: длительную прочность и выносливость. Под рассматриваемой длительной прочностью понимают величину, полученную при проведении испытаний при статической нагрузке в течение установленного промежутка времени [8]. Среди основных факторов, которые влияют на ее величину, можно выделить следующие:

* величина приложенной нагрузки;
* время действия нагрузки;
* температура.

Модель разрушения композита, отображающая термофлуктуационный характер длительной прочности описана в работе, разработанной под руководством С.Н. Журкова [7].

Основными характеристиками прочности полимеров являются разрушающее напряжение, максимальное значение относительной деформации и временная характеристика прочности. В условиях постоянной температуры длительная прочность может определяться следующим соотношением:

 (1)

где *A* и *a* – константы, характеризующие материал и зависящие от температуры;

 – постоянное напряжение, кгс/см2 [7, 9].

Уравнение С.Н. Журкова приводит к эмпирическому установлению выражения, которое связывает величину прочности при одноосном растяжении со временем до разрушения τ:

 (2)

где , , – эмпирические параметры;

*k* – константа Больцмана [7].

Данное уравнение может выполняться в широком диапазоне температур и времени нагружения в вакууме, в воздухе и коррозионных средах.

Прологарифмировав и переписав в следующем виде уравнение (2):

 (3)

можно заметить, что предел прочности в виде константы материала, отсутствует, так как величина прочности зависит от температуры и времени действия нагрузки.

Температурно-временная зависимость прочности (время до разрушения) обусловлена кинетической природой термофлуктуационного механизма разрушения:

 (4)

где – постоянная величина, близкая к периоду колебаний атомов 10-12-10-13;

– начальный активационный барьер процесса разрушения;

– постоянная, зависящая от структуры и природы материала;

– напряжение в материале, кгс/см2;

– постоянная Больцмана;

Т – абсолютная температура [11].

Приведенная в работе информация и уравнения Журкова (1-4) позволяют сделать вывод о том, что для производства полимерного композитного материала с обеспечением длительной прочности, требуется учесть:

* режим эксплуатации;
* влияние внешних факторов на прочностные характеристики полимерного композита в процессе изготовления;
* влияние внешних факторов на прочностные характеристики полимерного композита в процессе эксплуатации;
* совместное воздействие различных внешних факторов на материал.

Такие исследования позволят разработать новые расчетные методики, в том числе в области совместной работы ПКМ и других материалов, что в итоге расширит сферу применения полимерных композитов в различных конструкциях зданий.

**Литература**

1. Баженов, С.Л. Механика и технология композиционных материалов // Долгопрудный: Интеллект, 2014. – 332 с.
2. Гроховский А.Д., Нижегородцев Д.В. Композитная арматура. проблемы производства и применения // Наука и инновации в технических университетах: материалы Тринадцатого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых, 2019. С. 51-53.
3. Денисова А.Д., Шеховцов А.С. Расчет эффективной силы предварительного напряжения (ПН) в системах внешнего армирования (СВА) с ПН, применяемых при усилении изгибаемых железобетонных конструкции (ЖБК) // Российско-китайский научный журнал «Содружество», 2018. № 24, с. 41-47.
4. Петров В.М., Нижегородцев Д.В., Яковлев С.П. Исследование образцов в виде плит из бетона, армированных прямоугольной решёткой из плоских композитных вставок // Композитные материалы в строительстве объектов транспортной инфраструктуры. Материалы научно-практической конференции, 2018. С. 25-29.
5. Chernykh A., Korolkov D., Nizhegorodtsev D., Kazakevich T., Mamedov Sh. Estimating the residual operating life of wooden structures in high humidity conditions // Architecture and Engineering. 2020. Т. 5. № 1. С. 10-19.
6. Бондарев Б.А., Борков П.В., Комаров П.В. и др. Циклическая долговечность полимерных композиционных материалов строительного назначения: монография // Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2013. – 112 с.
7. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел // Вестник АН СССР, 1957. Вып.11. С. 78 - 85.
8. Баурова Н.И., Зорин В.А. Методы оценки эксплуатационных свойств деталей из полимерных композиционных материалов: метод. пособие // М.: МАДИ, 2017. – 84 с.
9. Роговин З.А. Успехи химии и физики полимеров: сборник  
   статей для химико-техн. спец. вузов // М.: Химия, 1970. – 448 с.
10. Гуль В.Е. Прочность полимеров // М-Л.: Химия, 1964. – 228 с.
11. Манин В.Н. Физико-химическая стойкость полимерных  
    материалов в условиях эксплуатации: книга для химико-техн. спец.  
    вузов // Л.: Химия, 1980. – 248 с.