

УДК 677.074/.076: 691-408.2

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ  
ДЛЯ ОБОЛОЧЕЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**THE USE OF TECHNICAL FABRICS FOR SHELL BUILDING STRUCTURES**

*А.А.КУСТОВ, Г.Г.СОКОВА, А.М.ИБРАГИМОВ*  
*A.A. KUSTOV, G.G. SOKOVA, A.M. IBRAGIMOV*

**(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Костромской государственный университет)  
(National Research Moscow State University of Civil Engineering,  
Kostroma State University)**

E-mail: AlexeyKustov@outlook.com, Sokoffg@mail.ru

*Статья посвящена отечественному и зарубежному обзору литературы по материалам, применяемым в мягких оболочечных конструкциях. Пред-*

*ставлено современное состояние дел в области производства, использования, испытаний и проектирования технических тканей с покрытием. Сформулирована проблема по прогнозированию долговечности материала с совместным учетом всей совокупности факторов и нагрузок, действующих на подобные конструкции.*

*The article is devoted to domestic and foreign literature review on materials used in soft shell structures. Presented the current state of affairs with respect to the use, manufacture, testing and design of technical coated fabrics. The problem is formulated for forecasting the durability of the materials with a joint view of the totality of the factors and the loads acting on such constructions.*

**Ключевые слова:** техническая ткань с покрытием, мягкие оболочечные конструкции, прогнозирование эксплуатационных свойств, долговечность.

**Keywords:** technical coated fabrics, soft shell structures, forecasting of operational properties, durability.

Мягкие оболочечные конструкции, имеющие малую изгибную жесткость и способность сопротивляться растягивающим нагрузкам, внедрены во множество сфер человеческой деятельности: мягкие плотины, аварийно-спасательные средства, покрытия большепролетных сооружений, воздухоопорные конструкции и прочее. Уникальность свойств подобных сооружений заключается в их многофункциональности, достаточной простоте производства и относительно небольшой стоимости, скорости монтажа и демонтажа, многократной оборачиваемости, возможности полной заводской готовности, высокой стойкости к динамическим и сейсмическим нагрузкам, малом объеме в транспортируемом состоянии и возможности их доставки любым видом транспорта на любые расстояния.

Функционирование мягких оболочечных конструкций обеспечивается механическим, гидравлическим или аэростатическим (пневматическим) способом. Поэтому основные требования, предъявляемые к материалам для оболочечных конструкций, – это стойкость к различного вида механическим и тепловым воздействиям (стойкость к разрыву, раздиранию, истиранию, воздействию внешней среды, воздухопроницаемость и т.д.) [1].

В зарубежной литературе приводится опыт проектирования и изготовления оболочечных конструкций с использованием

тканей [2...6]. По сравнению с зарубежными технологиями российский опыт проектирования и изготовления подобных материалов и конструкций весьма скромный. Из существующих нормативных документов, регламентирующих проектирование, возведение и эксплуатацию подобных сооружений, существует лишь временная инструкция 70-х годов [7]. Основами прогнозирования долговечности технических тканей с покрытием в отечественной практике занимались А.В. Данилов, В.Н. Куприянов, З.А. Камалова, Н.С. Шелихов, В.П. Шпаков, А.М. Сулейманов и др. В частности, разработаны теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности материала, выявлен механизм и разработана математическая модель процессов разрушения технических тканей с покрытием. Даны конструктивно-технологические рекомендации по повышению долговечности материала для таких конструкций [8...10].

Существует немало примеров строительных сооружений в России и за рубежом, где в качестве покрытий применяются технические ткани. При этом отмечается, что тентовая архитектура сочетает в себе множество достоинств, которые могут решить проблемы поиска форм и современных тенденций в архитектуре [11]. Ежегодные симпозиумы, выставки, конференции, посвященные как разработке быстровозводимых конструкций, так и проектированию

и изготовлению материалов для них, привлекают к себе все больше внимания энергетиков, экологов, климатологов и других специалистов [3].

Несущее покрытие мягких оболочечных конструкций представляет собой композиционный материал, состоящий из тканой армирующей основы, адгезионных слоев, основного и финишного полимерного покрытия. Тканая армирующая основа обычно изготавливается из полиэфирных, полиамидных, акриловых, арамидных нитей, а также смешанных нитей из синтетических и натуральных волокон [1]. Натуральные волокна в чистом виде почти не применяются в связи с тем, что их свойства сложно регулировать в материале. Для армирующей основы применяются как однослойные ткани главных (полотно, саржа) и производных (рогожка) переплетений, так и двухслойные ткани с базовыми переплетениями, имеющими небольшой раппорт.

Большое значение для получения покрывного материала с требуемыми свойствами имеет выбор связующего для тканой основы будущего композита. Адгезионные слои обычно представлены специальными связующими смолами, которые могут быть выполнены из эпоксидных, фенольных, полиэфирных и других композиций. При выборе связующего учитывают вид полимера, внутреннее строение и структуру поверхности ткани. Основное полимерное покрытие выполняют из пластифицированного поливинилхлорида, полиуретана, политетра-фторэтилена, силикона и др. Покрытие не является несущим компонентом, а служит для фиксации и защиты нитей от агрессивных атмосферных факторов, придает материалу воздухопроницаемость и другие важные свойства. От вида покрытия также зависит важный показатель – свариваемость, или возможность склейки полотнищ материала между собой. Для повышения долговечности и декоративных свойств ткани наносят финишное (топовое) покрытие. Обычно оно выполняется из специальных лаков (например, акрилового или из поливинилденфторида (PVDF)) [12].

Применение технических тканей для покрытия строительных конструкций накладывает ряд требований к технологии раскроя таких тканей. Например, в [13] описан процесс ручной и автоматической резки текстильных материалов, и представлено оборудование для раскроя. Показаны основные проблемы, возникающие при выполнении данных операций, и методы их решения.

Не менее важной видится проблема проведения испытаний таких материалов. Поэтому интересным является опыт научных исследований, касающихся испытаний технических тканей с покрытием. В [14] представлена информация по текущей практике проектирования, стандартам испытаний, программному обеспечению, производству и возведению мембранных сооружений. Акцент в работе сделан на двухосные испытания технической ткани с покрытием. Описаны технические проблемы, связанные с проведением испытаний, проанализировано современное оборудование для натуральных испытаний технических тканей с покрытием.

В Европе производством технических тканей с покрытием занимаются фирмы: Serge Ferragi (Франция), Mehler (Германия), Sioen (Бельгия), Sedo (Испания), Naizil (Италия), Satler (Австрия), Scantarp (Финляндия), Licana (Италия) и многие другие. В России рынок представлен более скромно – Уфимский завод РТИ, Ивановский завод "Искож", ОАО "Искож" (г. Котовск), НИИРП (г. Сергиев Посад).

Несмотря на большой интерес к таким конструкциям и текстильным материалам, российских разработок в этом направлении крайне мало. Кроме того, особенности и специфичность климатических условий на большей части территории РФ (температурные перепады с экстремально низкими значениями температуры, сильные ветра, высокая солнечная активность и др.) требуют совершенно особых материалов с уникальными свойствами. Современные программные комплексы, например, MSC Software (Patran, Marc, Digimat), позволяют

моделировать материал как на микроуровне (учитывать, при этом вид ткацкого переплетения, отдельные характеристики волокон, покрытий, трещинообразование и пр.), так и на мезоуровне (проводить осреднение характеристик материала для интегральной оценки прочности и деформативности), что позволяет прогнозировать поведение материала при различных воздействиях. Однако учет всех названных воздействий, которые играют важную роль при оценке срока службы материала, требует дальнейшего усовершенствования расчетных комплексов и написания дополнительных модулей и подпрограмм.

Прогнозирование долговечности технических тканей с покрытием открывает возможность получения материалов с заранее заданным (оптимальным) сроком службы, что является экономически целесообразным [15]. В силу многократности или сезонности использования технических тканей с покрытием значительно упрощаются ремонт и замена материала с заранее известным сроком службы.

## ВЫВОДЫ

1. Технические ткани с покрытием имеют ряд преимуществ перед традиционными материалами – их широкая сфера применения делает строительные сооружения с их использованием все более популярными среди архитекторов и инженеров всего мира.

2. Спрос на новые виды материалов указывает на необходимость в проведении научно-исследовательских работ, направленных на разработку новых методик проектирования технических тканей с покрытием, основанных на моделировании структуры ткани на микро- и мезоуровне, что позволит учитывать воздействие различных факторов, в том числе агрессивной климатической среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Cherif C.* Textile materials for lightweight constructions: technologies - methods - materials - properties // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2016.

2. *Foster B., Mollaert M.* European Design Guide for Tensile Surface Structures. – 2001.

3. *Palmer R. P.A.* Flexible composite materials in architecture construction and interiors – Birkhäuser Verlag GmbH. – 2013.

4. *Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер Э. и др.* Пневматические строительные конструкции – М.: Стройиздат, 1983.

5. *Ермолов В.В.* Воздухоопорные здания и сооружения – М.: Стройиздат, 1980.

6. *Chua T.W.* Multi-scale modeling of textile composites // Technische Universiteit Eindhoven. – 2011.

7. *Вознесенский С.Б., Андриенко Е.Г.* Временная инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации воздухоопорных пневматических сооружений. – 1977.

8. *Onate E., Kropf B., Bletzinger K.-U.* Composites and Inflatable Structures Structural membranes. – 2015.

9. *Мухамедова И.З.* Исследование процессов деформирования и деструкции армированных полимеров: Дис...канд. техн. наук. – Казань, 2005.

10. *Tian D.* Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture - Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Architectural Design. – 2011.

11. *Palmer R. P.A.* Flexible composite materials in architecture construction and interiors – Birkhäuser Verlag GmbH. – 2013.

12. *Knippers J., Cremers J., Gabler M. L.J.* Construction Manual for Polymers + Membranes // M. Institut für international Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. – Munich, 2011.

13. *Viļumsons-Nemes I.* Industrial cutting of textile materials // Woodhead Publishing Limited. – 2012.

14. *Beccarelli P.* Biaxial Testing for Fabrics and Foils Optimizing Devices and Procedures // Springer-Briefs in Applied Sciences and Technology. – 2015.

15. *Сулейманов А.М.* Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности материалов мягких оболочек строительного назначения: Дис...докт. техн. наук. – Казань, 2006.

## REFERENCES

1. *Cherif C.* Textile materials for lightweight constructions: technologies - methods - materials - properties // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2016.

2. *Foster V., Mollaert M.* European Design Guide for Tensile Surface Structures. – 2001.

3. *Palmer R. P.A.* Flexible composite materials in architecture construction and interiors – Birkhäuser Verlag GmbH. – 2013.

4. *Ermolov V.V., Bjerd U.U., Bubner Je. i dr.* Pnevmaticheskie stroitel'nye konstrukcii – M.: Strojizdat, 1983.

5. *Ermolov V.V.* Vozduhoopornye zdanija i sooruzhenija – M.: Strojizdat, 1980.

6. Chua T.W. Multi-scale modeling of textile composites // Technische Universiteit Eindhoven. – 2011.
  7. Voznesenskij S.B., Andrienko E.G. Vremennaja instrukcija po proektirovaniju, montazhu i jekspluatacii vozduhoopornyh pnevmaticheskikh sooruzhenij. – 1977.
  8. Onate E., Kroplin B., Bletzinger K.-U. Composites and Inflatable Structures Structural membranes. – 2015.
  9. Muhamedova I.Z. Issledovanie processov deformirovanija i destrukcii armirovannyh polimerov: Dis...kand. tehn. nauk. – Kazan', 2005.
  10. Tian D. Membrane Materials and Membrane Structures in Architecture - Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Architectural Design. – 2011.
  11. Palmer R. P.A. Flexible composite materials in architecture construction and interiors – Birkhäuser Verlag GmbH. – 2013.
  12. Knippers J., Cremers J., Gabler M. L.J. Construction Manual for Polymers + Membranes // M. Institut für international Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. – Munich, 2011.
  13. Viļumsons-Nemes I. Industrial cutting of textile materials // Woodhead Publishing Limited. – 2012.
  14. Beccarelli P. Biaxial Testing for Fabrics and Foils Optimizing Devices and Procedures // Springer-Briefs in Applied Sciences and Technology. – 2015.
  15. Sulejmanov A.M. Jeksperimental'no-teoreticheskie osnovy prognozirovanija i povyšhenija dolgovechnosti materialov mjagkih oboloček stroitel'nogo naznachenija: Dis...dokt. tehn. nauk. – Kazan'. 2006.
- Рекомендована кафедрой технологии и проектирования тканей и трикотажа КГУ. Поступила 26.01.17.
-