

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ  
В ПОСТРОЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 3D ПРЕФОРМ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

**NONWOVEN MATERIALS BREAKING LOAD PREDICTION  
ON BASIS OF THEIR GEOMETRIC STRUCTURE  
MATHEMATICAL MODELING**

*A.M. KISELEB*  
*A.M. KISELYOV*

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*На основе современных направлений развития индустрии композиционных материалов разработана концептуальная модель построения автоматизированных систем прогнозирования их физико-механических свойств. Приведено описание возможной реализации предлагаемого подхода. Приведены результаты моделирования геометрической структуры для тканых и нетканых материалов, доказывающие возможность практического применения разработанной концепции моделирования структур различных материалов как на уровне нити, так и на уровне волокон.*

*Based on current trends in the development of composite materials industry developed a conceptual model for building automated systems predict their physical and mechanical properties. The description of possible implementation of the proposed approach. Simulation results for the geometric structure of woven and nonwoven materials, indicating the possibility of practical application of the developed concept of modeling structures of various materials at the level of the thread and at the level of the fibers.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, прогнозирование, математическое моделирование, программное обеспечение.

**Keywords:** descriptive information, composite materials, forecasting, simulation, software.

Любое направление деятельности, особенно инновационной, начинается с обоснования актуальности решаемой задачи. В данном аспекте развития технологий производства композиционных материалов актуальность задачи подтверждена Президентом РФ. Если говорить об актуальности интенсификации индустрии композиционных материалов с технической стороны, то на сегодняшний день можно говорить о

следующих принципиально новых преимуществах композиционных материалов.

- Предел прочности стали 45 составляет 0,6 ГПа, высокопрочного чугуна до 1 ГПа, предел прочности неорганических волокон до 3...6 ГПа. Таким образом, прочностные свойства текстильных неорганических волокон приближены к механическим свойствам металлов и даже их превосходят.

- Плотность текстильных неорганических волокон  $1,0 \dots 2,25 \text{ г/см}^3$ , плотность стали 45 составляет  $7,8 \text{ г/см}^3$ . Значит, вес изделия из неорганических волокон будет весить до 8 раз легче, чем из металла.

- Существенно меняется технология получения заданной детали. В настоящее время детали из композиционных материалов получают по препреговой технологии (существует и множество других), которая предусматривает 2 основные стадии изготовления детали – изготовление преформы (приближенное получение заданной формы детали из текстильных высокопрочных нитей по различным текстильным технологиям) и последующей пропитки преформы связующим элементом для формирования заданных контуров детали. Впоследствии предусматривается размерная лезвийная обработка пропитанной преформы для получения заданных размеров детали. Данная технология обладает огромным преимуществом вследствие малого количества отходов при изготовлении детали. Традиционная технология обработки детали из отливки лезвийным инструментом существенно дороже. Это обстоятельство существенно снижает цену продукции и повышает ее конкурентоспособность.

- Перспектива снижения цены на углеродное волокно на мировых рынках. Первое углеродное волокно стоило  $300 \dots 400 \$$  за кг, сейчас его стоимость доходит до  $45 \$$  за кг. Углеродное волокно все-таки продукция элитная и применяется в большинстве случаев в оборонной и авиационной промышленности а также для изготовления различных деталей элитных автомобилей. При существенном снижении цены на углеродное волокно его применение будет носить массовый характер.

- Широкая возможность получения заданных физико-механических потребительских свойств деталей из композиционных материалов за счет применения различного сочетания текстильных волокон и нитей, состава связующего и технологии пропитки связующим. (Возможность получения полимеркомпозиционных матери-

алов (ПКМ), углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) и углерод-керамических композиционных материалов (УККМ)). Такая возможность открывает перспективу применения композиционных материалов практически в любой отрасли промышленности для любых условий эксплуатации деталей из них.

Самой первой задачей, которая встает при проектировании нового изделия, является подбор необходимого состава композиционного материала для изготовления заданной детали и проверки ее работоспособности при заданных эксплуатационных нагрузках.

Объективные причины сложности моделирования реальной структуры текстильных материалов следующие.

1. Фактор формы нитей и волокон (отношение  $L/D$  составляет  $> 103$ ). Невозможно использовать САД-системы в режиме интерактива.

2. Необходимость учета материаловедческих аспектов текстильных материалов (переменный диаметр по длине нити, различные формы поперечного сечения, крутка нити и т.д.).

3. Многообразие технологий получения текстильных материалов (ткачество, трикотаж, вязание, плетение и др.). Структура текстильного материала будет определяться технологией ее изготовления и будет всегда различна

4. Существенная зависимость структуры будущего материала от режимов работы оборудования.

5. Применение комбинированных нитей для производства текстильного материала (совокупность нескольких нитей, имеющих разные свойства).

6. Учет натяжения нитей структуры текстильного материала (предварительно напряженная конструкция).

7. Вероятностный характер получения структуры текстильного материала вследствие динамики системы станок-нить.

8. Случайный характер распределения волокон в текстильном материале (нетканые полотна).

9. Нестабильность физико-механических свойств нити по длине.

Кроме выработки перспективной концепции моделирования реальной структуры композита необходимо учитывать и возможность его программной реализации, в связи с тем что разработка оригинального ПО долгосрочный и дорогостоящий процесс. Для этого проведем краткий обзор имеющегося ПО в настоящее время по данному вопросу.

Отечественное ПО на сегодняшний день неконкурентно по своим функциональным возможностям и не нашло широкого применения в промышленности.

Отметим, что наиболее распространены системами, которые моделируют структуру и свойства композиционных материалов и нашли широкое применение в авиационной и оборонной промышленности, являются: NX, MSCNASTRAN, Teamcenter, CATIA, FIBERSIM и ANSYS. Для моделирования структуры композита представляет интерес ПО DIGIMAT компании CompMechLab® Ltd. Данный продукт позволяет моделировать структуру полимерного композита, армированного волокнами. Компания ANSYS разработала специальный модуль CompositePrepPost для моделирования многослойных композитов.

Задача выбора программного обеспечения проектирования и расчета композиционных материалов сложна и зависит от множества факторов и вида производства, однако можно сформулировать некоторые основные принципы или рекомендации с целью его выбора для композиционных материалов.

1. Универсальность программной системы для решения широкого круга мультифизических и связанных задач с целью решения большинства задач в одном расчетном пакете.

2. Связь форматов выходных данных выбранной системы проектирования с широко известными CAD/CAM/CAE-системами для передачи в них промежуточных данных и выполнения дальнейших расчетов.

3. Доступный уровень технической поддержки выбранной системы.

4. Возможность ввода в систему новых типов конечных элементов типа UserDefine.

5. Наличие в системе внутреннего языка описания объекта (ЯОО) для возможности формирования задачи пользователя вне зависимости от основного программного модуля.

6. Четкое разграничение функционального назначения выбираемого ПО – производственное (PLM) или научное (Research).

7. Выбор производственной PLM-системы зависит от большого числа факторов и определяется подходами технологического форсайтинга.

Исходя из указанных выше требований в Костромском государственном технологическом университете разработаны методики построения структуры текстильных материалов, близких к реальной структуре [1...5]. Методика построения структуры текстильных материалов, близких к реальной структуре, представлена на рис. 1.



Рис. 1

На рис. 2 представлены примеры моделирования сложной трехмерной структуры на основе нити и нетканого материала Холлофайбер Софт 70 г/м<sup>2</sup> P5190.

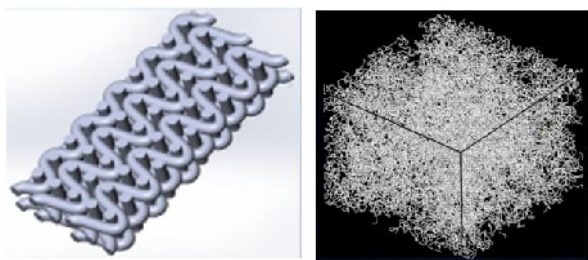


Рис. 2

Приведенные примеры моделирования структуры реального материала доказывают широкую универсальность предлагаемых подходов как для материалов с регулярной упорядоченной структурой, состоящей из нитей, так и для материалов со случайным распределением отдельных волокон.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция построения автоматизированных систем проектирования 3D-преформ и прогнозирования заданных свойств композиционных материалов.

2. Приведены примеры моделирования структур материалов, состоящих из нитей с регулярной структурой и волокон со случайным распределением по объему, доказывающие возможность и перспективность предложенной концепции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Киселев А.М.* Моделирование структуры и деформационных свойств волокнистых холстов: Дис....канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2012.

2. *Киселев М.В., Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н.* Моделирование структуры тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3. С.23...28.

3. *Бенецкая В.В., Киселев М.В., Киселев А.М.* Объектное представление модели 3D-ткани // Сб. мат. Межвуз. научн.-техн. конф. аспирантов и студентов: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК - 2013). Часть 1. – Иваново: Текстильный институт ИВГПУ, 2013.

4. *Киселев М.В., Трещалин Ю.М.* Конкурентоспособные композиты для оборонных и гражданских секторов экономики России // Актуальные проблемы социально-экономического развития России. Научно-аналитический журнал. – 2012, №4. С. 31...34.

5. *Киселев М.В., Трещалин Ю.М.* Создание и исследование композиционных материалов на основе нетканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №2. С.95...100.

## REFERENCES

1. Kiselev A.M. Modelirovanie struktury i deformatsionnykh svoystv voloknistykh holstov: Dis....kand. tehn. nauk. – Kostroma: KGTU, 2012.

2. Kiselev M.V., Beneckaja V.V., Seliverstov V.Ju., Kiselev A.M., Rudovskij P.N. Modelirovanie struktury tkanej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 3. S.23...28.

3. Beneckaja V.V., Kiselev M.V., Kiselev A.M. Ob'ektnoe predstavlenie modeli 3D-tkani // Sb. mat. Mezhvuz. nauchn.-tehn. konf. aspirantov i studentov: Molodye uchenye – razvitiju tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (POISK - 2013). Chast' 1. – Ivanovo: Tekstil'nyj institut IVGPU, 2013.

4. Kiselev M.V., Treshhalin Ju.M. Konkurentosposobnye kompozity dlja obronnyh i grazhdanskih sektorov jekonomiki Rossii // Aktual'nye problemy social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossii. Nauchno-analiticheskij zhurnal. – 2012, № 4. S. 31...34.

5. Kiselev M.V., Treshhalin Ju.M. Sozdanie i issledovanie kompozicionnykh materialov na osnove netkanykh poloten // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №2. S. 95...100.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 30.09.15.