

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ**

**FORECASTING OF A NONWOVEN BREAKING LOAD  
ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELLING  
OF THEIR GEOMETRIC STRUCTURE**

*A.M. КИСЕЛЕВ, А.П. СОРКИН, М.В. КИСЕЛЕВ*  
*A.M. KISELEV, A.P. SORKIN, M.V. KISELEV*

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

*Разработана вероятностная трехмерная модель нетканого материала на примере материала "Холлофайбер" и программное обеспечение для ее построения в зависимости от различных геометрических и физико-механических факторов. Разработана динамическая конечно-элементная модель процесса растяжения материала. Проведена серия вычислительных экспериментов для различных типов материала. Доказана адекватность разработанной модели.*

*The likelihood three-dimensional model of nonwoven in imitation of a material "Hollowfiber" and the software for its construction are developed depending on various geometric and physical-mechanical factors. The dynamic finite-element model of a material stretching process is developed. A series of computing experiments for various types of a material is carried out. Adequacy of the developed model is proved.*

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, нетканые материалы, холлофайбер, математическое моделирование, разрывная нагрузка, программное обеспечение.

**Keywords:** a finite-element method, nonwoven, hollowfiber, mathematical modelling, a breaking load, a software.

Нетканые полотна относятся к наиболее динамично растущей ассортиментной группе текстильных изделий. Среднегодовые темпы роста нетканых материалов в мире по разным источникам составляют 4...5%, причем эта тенденция сохраняется до 2010 года [1].

В настоящее время объемы производства нетканых материалов в десятки раз превысили объемы производства натуральных материалов, таких как лен и хлопок. Такая востребованность нетканых материалов обусловлена целым комплексом специфических свойств синтетических во-

локон, составляющих нетканый материал и их применением не только в бытовых, но и в технических целях. Для оценки структуры нетканых материалов применяются различные характеристики, такие как номинальная и фактическая линейная плотность, разрывная нагрузка и удлинение при разрыве, извитость волокон и ее частота и др.[1]. Однако при проектировании технологии изготовления новых нетканых материалов с заданными свойствами или расширение ассортимента имеющихся материалов актуальна задача прогнозирования данных характеристик или оптимиза-

ция технологического процесса и структурных компонентов материала. Для решения данной задачи, как правило, применяют методы математического моделирования. Обзор различных методов проектирования текстильных изделий, имеющих волокнистую структуру, приведен в [2] и показывает, что на сегодняшний день математической модели, описывающей свойства нетканых материалов, близких к ее реальному строению, нет. Очевидно, что проблема математического описания нетканых структур сложна вследствие вероятностного распределения отдельных структурных составляющих нетканых материалов, их вероятностных свойств и применения различных технологий изготовления.

Данные обстоятельства приводят к необходимости принятия упрощающих допущений для решения поставленной задачи. Так, известна теория волокнистой сетки, разработанная вначале С. Бэккером и Д.Р. Петтерсоном и впоследствии модифицированная Дж. Херлом и П. Стевенсоном. В данных аналитических моделях волокна, образующие нетканый материал, принимаются или распрямленными, или слегка изогнутыми. В реальности структу-

ру нетканого материала, согласно его определению, образуют волокна, случайным образом распределенные по его объему. Данная работа посвящена решению задачи прогнозирования разрывной нагрузки нетканого материала типа “Холлофайбер” с учетом его реального строения методами математического моделирования. В качестве метода математического моделирования выбран метод конечных элементов. Для построения математической модели использовалась динамическая модель волокнистого материала [3]. Данная модель модифицирована с учетом специфики реального строения нетканых материалов. В частности, в новой модификации математической модели добавлена возможность регулирования плотностью заполнения нетканым материалом заданного объема и существенно улучшена возможность построения одиночных волокон, составляющих нетканый материал, с любыми размерами и формами поперечного сечения. Примеры моделирования элементарных волокон или нитей представлены на рис. 1 (внешний вид и форма поперечных сечений компьютерных моделей элементарных волокон различных материалов: 1 – лен, 2 – хлопок, 3 – холлофайбер).

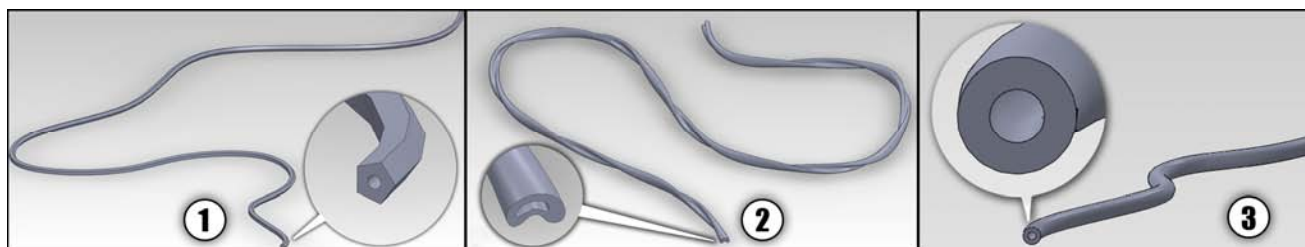


Рис 1.

Необходимо отметить, что применение данного подхода является универсальным и позволяет строить геометрические модели не только одиночных волокон синтетических материалов, но и природных, таких как лен, хлопок или др. Примененные в математической модели алгоритмы позволили решить сложную задачу построения геометрической модели нетканого материала, приблизив ее к реальной структуре

со случайным распределением одиночных волокон, ее образующих.

С использованием разработанного программного обеспечения получены примеры геометрической модели для материала холлофайбер софт Р 5190, которые приведены на рис. 2. На данном рисунке показано визуальное сравнение реальной 3D структуры материала с одним из вариантов компьютерного моделирования.

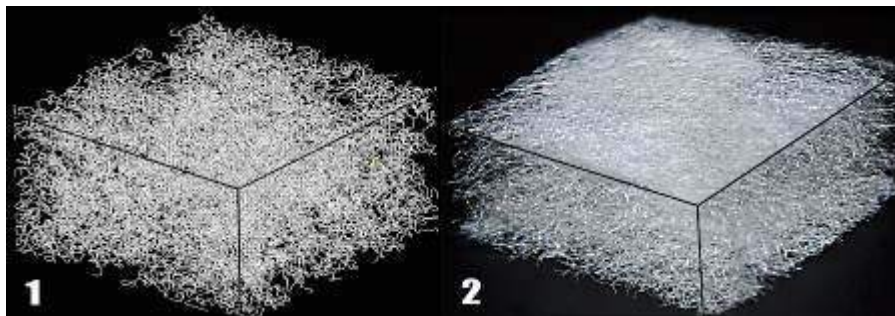


Рис. 2

Результаты, представленные на рис. 2 (геометрическая структура материала холлофайбер софт Р 5190: 1 – математическая модель, 2 – натурный образец), показывают удовлетворительное описание геометрической модели и реальной структуры материала.

После решения задачи построения геометрической модели нетканого материала можно переходить к решению задачи прогнозирования его прочности. В качестве испытуемых образцов выбраны: холлофайбер хард 170 г/м<sup>2</sup> Р 274, холлофайбер хард F 230 г/м<sup>2</sup> Р 205, холлофайбер софт 70 г/м<sup>2</sup> Р 5190, холлофайбер медиум 300 г/м<sup>2</sup>

Р 173. Для данных материалов была определена величина разрывной нагрузки экспериментально и с помощью компьютерного моделирования. Эксперименты по определению разрывной нагрузки проводились на машине РТ-250 при скорости зажима 150 мм/мин, согласно методике по ГОСТу Р 53226–2008.

Результаты расчетных и экспериментальных данных приведены на рис. 3...6 (рис. 3 – холлофайбер софт Р 5190, рис. 4 – холлофайбер медиум Р 173, рис. 5 – холлофайбер хард Р 274, рис. 6 – холлофайбер хард Р 205).

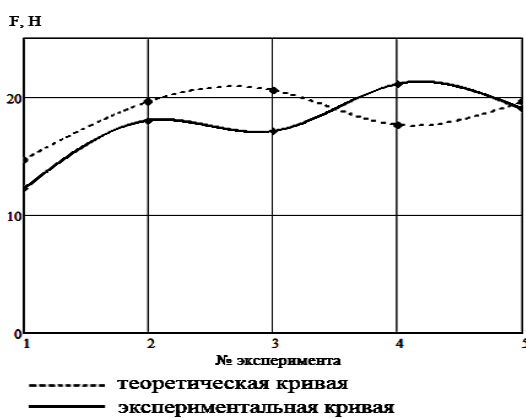


Рис. 3

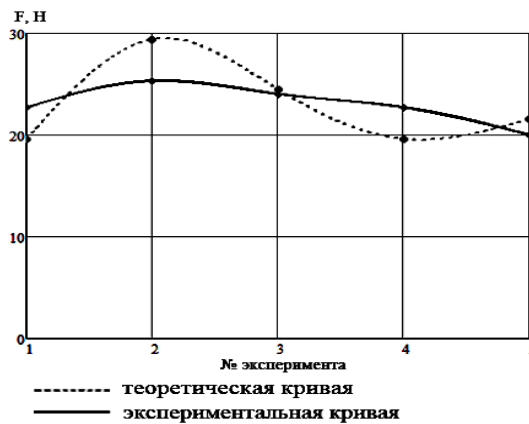


Рис. 4

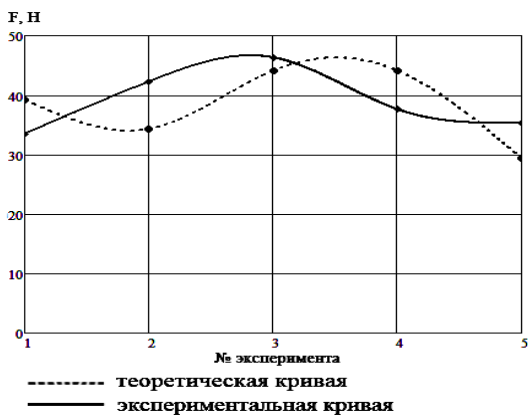


Рис. 5

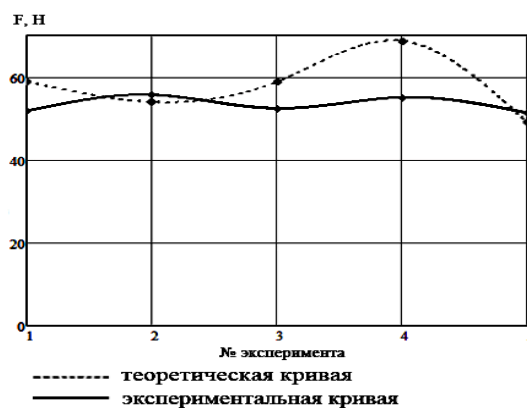


Рис. 6

Анализ данных, приведенных на рис. 3...6, показывает максимальное отклонение расчетных и экспериментальных значений предельной разрывной нагрузки 14%. Полученная погрешность в расчете, очевидно, связана с точностью воспроизведения реальной геометрии нетканого материала. Учитывая относительный размах вариации экспериментальных данных от 32 до 43% для указанных экспериментальных образцов, можно признать разработанную математическую модель адекватной.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая конечно-элементная модель, позволяющая строить геометрическую структуру нетканых материалов, близкую к реальной.

2. Использование разработанной математической модели позволяет решать задачи прогнозирования прочности нетка-

ных материалов. Приведено сравнение экспериментальных и расчетных данных, подтверждающих адекватность разработанной модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Трещалин М.Ю., Мухамеджанов Г.К., Телицын А.А., Мандрон В.С., Трещалина А.В.* Производство и методы испытаний нетканых материалов. – М.: ООО "Телер", 2008.

2. *Трещалин М.Ю., Мухамеджанов Г.К., Левакова Н.М., Мандрон В.С., Трещалина А.В., Тюменев Ю.Я.* Нетканые материалы технического назначения (теория и практика). – М.: ООО НТЦ "Рубеж", 2007.

3. *Киселев А.М.* Математическое моделирование процесса сжатия волокнистых материалов в массе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 5. С. 14...17.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 03.06.11.