

УДК 667.021

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ППП ANSYS***Д.В. ГОЛУБКОВ, В.А. ГУСЕВ*

(Костромской государственной технологической университет)

E-mail: info@kstu.edu.ru

*Представлен общий подход к моделированию текстильных нитей методом конечных элементов с использованием конечно-элементного комплекса Ansys. Описана трехмерная комбинированная конечно-элементная модель нити, сочетающая в себе основные свойства, присущие реальным нитям – прочность и гибкость. На основе данной модели нити рассмотрены предпосылки к созданию компьютерной модели тканой структуры.*

*The general approach to modeling of textile yarns by method of finite elements using the FE application Ansys is presented. 3D combined FE model of yarn is described, characterized by the main properties of the real yarn – durability and flexibility. The prerequisites for the creation of the computer model of the woven structure are studied on the base of the given model.*

**Ключевые слова:** тканая структура, компьютерное моделирование, прочность, гибкость, метод конечных элементов, трехмерная модель нити.

За последнее десятилетие широкое распространение в промышленности получили различные виды текстильных материалов, выполняющих функции конструктивных элементов и изделий: фильтры, тканые контактные устройства, материалы для нужд медицины и др. Они не только успешно конкурируют с традиционными материалами и изделиями, выполненными из металлов, пластмасс, керамики, но и способствуют разработке прогрессивных техноэкономических решений в различных сферах хозяйственной деятельности.

Разработка этих материалов и изделий создала предпосылки для проведения фундаментальных исследований свойств химических, синтетических и других во-

локон и нитей при различных активных внешних воздействиях, разработки на этой основе положений теории механического поведения текстильных структур и математических моделей, характеризующих взаимосвязь между структурой и свойствами материалов, а также методов компьютерного проектирования тканых структур.

Таким образом, была поставлена задача о создании компьютерной модели тканой структуры, позволяющей получать различные характеристики поведения материала в зависимости от внешних воздействий, в том числе механические свойства. Одним из этапов на пути создания компьютерной модели тканой структуры стал этап моделирования нити.

Создание компьютерной модели нити и моделирование ее свойств проводится на базе программного комплекса ANSYS, представляющего собой многоцелевой пакет для решения сложных проблем физики и механики. Программа обладает широким перечнем расчетных средств, который может учесть разнообразные конструктивные нелинейности; дает возможность решить самый общий случай контактной задачи для поверхностей; допускает наличие больших деформаций и углов поворота; позволяет выполнить интерактивную оптимизацию и многое другое – вместе с параметрическим моделированием, адаптивным перестроением сетки и программированием (APDL-ANSYS Parametric Design Language). Работа программного комплекса ANSYS основана на методе конечных элементов (КЭ).

По определению нить есть линейное соединение волокон, сформированное в непрерывную прядь, имеющую характерные для текстильных материалов свойства, к которым относят высокую прочность при растяжении и гибкость. Так как моделирование осуществляется с помощью метода

конечных элементов, необходимо выбрать подходящий конечный элемент. Здесь нужно отметить, что была поставлена задача создания трехмерной модели нити. Таким образом, для решения объемной задачи из базы ANSYSa можно использовать 3D конечный элемент типа SOLID (рис. 1 – типы конечных элементов, используемые при моделировании нити; ( $G_n, G_{i, i+1, i+2...}$  – совокупность геометрических характеристик КЭ (координаты узлов, диаметры...);  $M_n, M_{i, i+1, i+2...}$  – совокупность физико-механических свойств КЭ (модули упругости, кривые деформирования...)), но применение только одного этого типа элемента не позволит создать адекватную модель нити, отвечающую перечисленным выше свойствам (прочность и гибкость). То есть, управляя модулем упругости (основным параметром, определяющим механические свойства), можно получить либо прочную, но жесткую нить, либо гибкую нить, обладающую малым сопротивлением разрыву. Для решения этой проблемы в модели нити используется еще один тип конечного элемента – LINK (стержневой конечный элемент) (рис. 1).

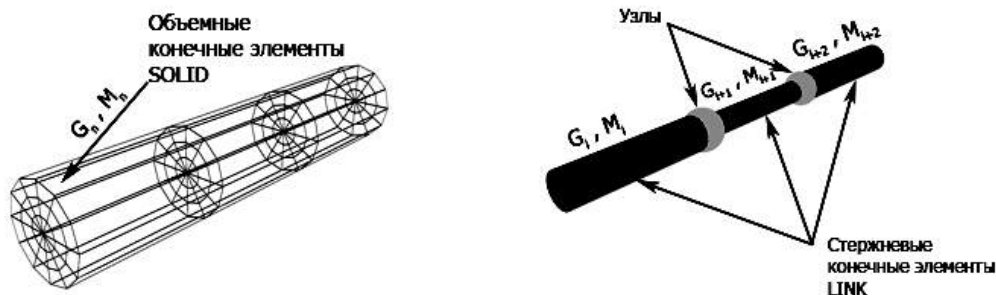


Рис.1

Наличие данного типа конечного элемента позволяет сделать модель нити комбинированной, в которой одна часть структуры отвечает за гибкость (наличие изгибной жесткости – элементы SOLID), а

другая – за прочность на растяжение (элементы LINK). Пример комбинированной трехмерной конечно-элементной модели участка нити представлен на рис. 2-а.

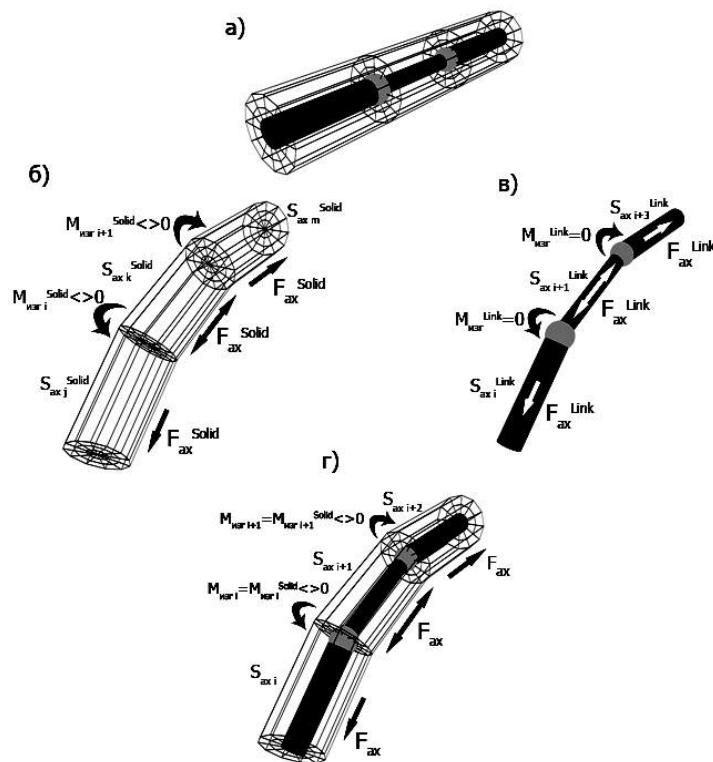


Рис. 2

На рис. 2 также показано условное распределение силовых факторов и напряжений по каждой из составляющих комбинированной структуры (б, в) и в комбинированной трехмерной конечно-элементной модели (г) в ANSYS:

$F_{ax}^{Solid}$ ,  $F_{ax}^{Link}$  – осевые (axial) усилия, возникающие вследствие растяжения нити;

$M_{изг\ i, i+1, i+2...}$  – моменты, возникающие в узлах (элементы Link) и сечениях (элементы Solid) вследствие изгиба нити;

$S_{ax\ i, i+1, i+2...}^{Link}$  – нормальные (растягивающие) напряжения в элементах Link;

$S_{ax\ j, k, m...}^{Solid}$  – нормальные (растягивающие) напряжения в  $j_M$ ,  $k_M$ ,  $m_M$  и т.д. элементах Solid.

Как видно из рис. 2-в, структурный фрагмент модели нити из КЭ Link не передает изгибающий момент (абсолютно гибкая нить)  $M_{изг}^{Link} = 0$ . Узлы в данном случае являются "шарнирами", а элементы Link могут иметь только линейное напряженное состояние. Структурный же фрагмент модели нити из элементов Solid обладает изгибной жесткостью и может передавать изгибающий момент  $M_{изг}^{Solid} \neq 0$  (рис. 2-б).

Характерной особенностью комбинированной модели нити является существенное отличие механических свойств составляющих ее структур. Главным образом, сильно отличаются модули упругости ( $E$ ) элементов Solid и Link:

$$E_{Solid} \ll E_{Link}$$

Такое отличие механических свойств позволяет добиться наличия больших изгибных деформаций без возникновения разрушающих напряжений в элементах Solid. В то же время осевые деформации вызывают возникновение существенных напряжений в элементах Link.

КЭ Solid имеют объемное напряженное состояние и, таким образом, кроме придания необходимой изгибной жесткости в составе комбинированной модели они вносят свой "вклад" в сопротивление растяжению, но вследствие малых значений  $E_{Solid}$  этот вклад незначителен.

Относительные величины силовых факторов, напряжений и механических характеристик в комбинированной структуре представлены на диаграмме (рис. 3).

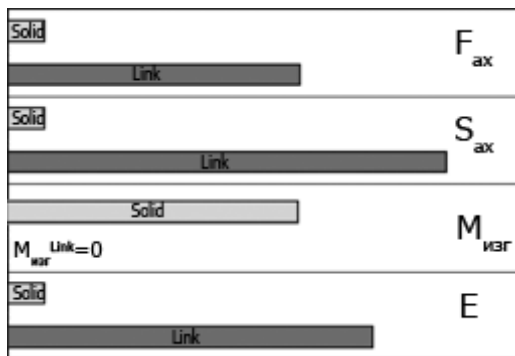


Рис. 3

Очевидно, что рассчитывать параметры модели и строить каждый раз необходимую нам модель вручную долго и трудоемко. В ANSYS существует так называемый пакетный (Batch) режим, то есть на командном уровне осуществить необходимые операции, включая собственно создание трехмерной модели, определение граничных условий, задание необходимых внешних воздействий (нагрузок), и т.д. вплоть до формирования внешнего текстового файла с интересующими нас результатами. Набор необходимых команд можно представить в виде текстового файла и в Batch-режиме соответствующим образом запустить в ANSYS.

Процесс вычисления параметров и формирование команд для создания модели содержит множество операций, в том числе повторяющихся, и также трудоемких, поэтому данный процесс должен быть автоматизированным.

В настоящее время ведется разработка программного обеспечения, позволяющего пользователю ввести необходимые параметры, например: геометрические параметры, выбрать закон их распределения и диапазон изменения (статистическая модель); механические свойства в виде функциональной зависимости или в табличной форме, определить граничные условия (закрепления) и характер внешнего воздействия на модель (силовые факторы, перемещения, температуру, гравитационный эффект...) и т.д.

Разрабатываемая программа в соответствии с заложенными данными вычисляет параметры модели и генерирует текстовый файл, содержащий всю информацию о модели и представляющий собой набор команд ANSYS-са. Далее этот файл может быть запущен на решение в ANSYS в Batch-режиме.

Внешний вид интерфейса программы ANSTex представлен на рис. 4.

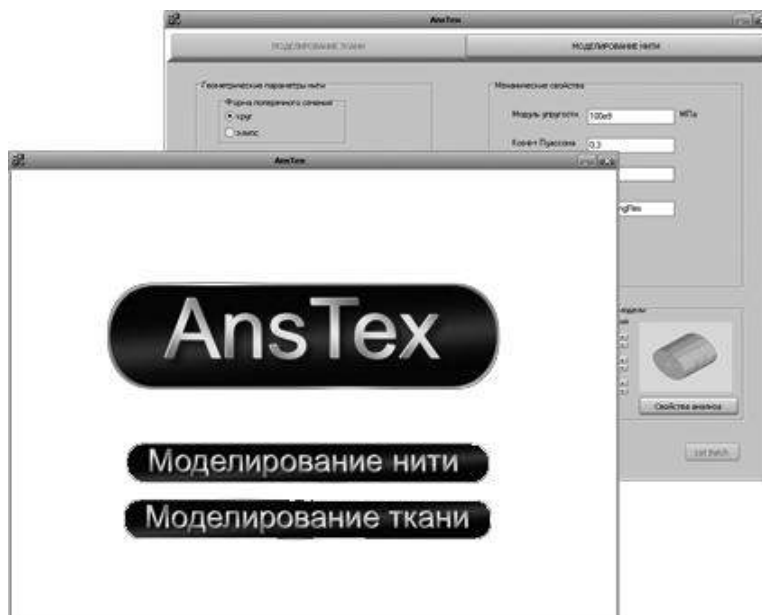


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

1. Разработан общий подход к моделированию текстильных нитей на основе метода конечных элементов с использованием конечно-элементного комплекса ANSYS и получена трехмерная модель нити, сочетающая в себе основные свойства, присущие текстильным нитям (прочность и гибкость), которая позволяет учитывать геометрическую неоднородность и неоднозначность механических свойств нитей: неровноту, колебания размеров и формы поперечного сечения, изменение механических характеристик как вдоль нити, так и по ее объему.

2. Разработано программное обеспечение, с помощью которого можно быстро получить модель нити с необходимыми характеристиками. Наличие объемных КЭ Solid в комбинированной структуре моде-

ли нити дает возможность моделировать контактные взаимодействия нитей (например, контактные взаимодействия нитей основы и утка в составе ткани).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити)/Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков. – М.: Легпромбытиздат, 1989.
2. Карбасов Ю.С. Новые материалы/ Колл. авторов под научн. ред. Ю.С. Карбасова. – М.: МИСиС, 2002.
3. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование свойств текстильных нитей. – Витебск: ВГТУ, 2004.
4. Документация ANSYS Help.

Рекомендована кафедрой технологии художественной обработки материалов и технического сервиса. Поступила 02.10.09.