

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МЕХАНИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ¹

Д.В. ГОЛУБКОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Как известно, современная концепция проектирования конструкций и изделий опирается на использование комплексных систем автоматизированного проектирования (САД) и систем инженерного анализа (САЕ). Вместе с тем, существует ряд изделий, чрезвычайно трудно поддающихся проектированию и анализу в силу неоднородности своих свойств и несовершенства соответствующего математического аппарата. К таким изделиям относятся и текстильные материалы.

Многие исследователи, занимающиеся проблемами механики нитей и тканей, отмечают сложность моделирования реальных технологических процессов с учетом реального строения нити и ее вероятностных физико-механических и геометрических свойств. Для исследования поведения таких сложных систем и процессов хорошие результаты дает применение математического анализа и компьютерного моделирования, которое позволяет исследовать влияние различных факторов как независимо друг от друга, так и в сложном их сочетании.

Моделирование текстильных материалов и их свойств в данной работе проводится на базе программного комплекса ANSYS, представляющего собой многоцелевой пакет для решения сложных проблем физики и механики. Программа об-

ладает 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 (для плоских моделей) и многое другое. Работа программного комплекса ANSYS основана на методе конечных элементов (МКЭ).

Из всего многообразия свойств текстильных материалов (особенностей строения, геометрических, механических, физических, химических, эстетических и т.д.) в работе анализируются лишь механические свойства, с учетом геометрических особенностей строения. Это обусловлено их значительным влиянием на ход протекания технологических процессов и переработки текстильного материала. Кроме того, механические свойства являются важной составляющей в совокупности эксплуатационных свойств готовых изделий. Рассмотрим детальный подход к созданию компьютеризированной конечно-элементной модели тканой структуры (плотняного переплетения), которая позволяет учитывать различные параметры ее компонентов, используемые при проектировании и производстве текстильных материалов.

¹ Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук В.А. Гусева.

Процесс моделирования основан на модульном подходе с использованием принципа гомогенизации, обобщающем свойства на нижнем уровне при переходе на верхний.

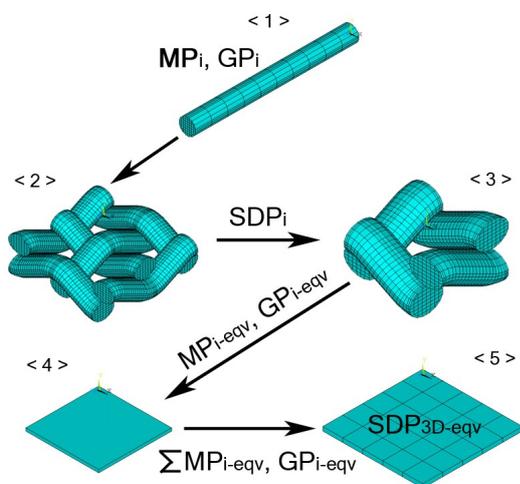


Рис. 1

Этапы моделирования текстильного материала (ткани) на основе принципа гомогенизации представлены на рис. 1, где MP_i – механические свойства (mechanical properties) отдельной нити (модуль упругости E_x , коэффициент Пуассона μ , а также нелинейные механические характеристики); GP_i – набор геометрических свойств (geometric properties) отдельной нити (неровнота по диаметрам, форма сечения, длина); SDP_i – характеристики НДС (stress-deformation properties) раппорта ткани (напряжения, деформации); MP_{i-EQV} – механические свойства, эквивалентные НДС раппорта ткани; GP_{i-EQV} – набор геометрических свойств, эквивалентных трехмерной модели раппорта ткани (ширина, длина, толщина); SDP_{3D-EQV} – характеристики НДС псевдоплоской модели ткани, эквивалентные трехмерной модели.

На основании адекватной трехмерной модели нити строится глобальная трехмерная модель ткани и после расчета разделяется на подмодели низшего уровня (гомогенизация механических свойств на мезоуровне (ячейка периодичности)), которые в конечном счете преобразуются к псевдоплоской геометрии с эквивалент-

ными физико-механическими свойствами и связываются друг с другом, образуя удобную для анализа и расчетов псевдоплоскую модель текстильного материала.

Очевидно, что при данном методе моделирования решающее значение имеет адекватность исходного этапа – создание конечно-элементной модели нити (рис.1, <1>), на которой основываются все последующие расчеты. Особенностью трехмерной модели нити является наличие в ней двух типов конечных элементов (КЭ): SOLID (объемный КЭ) и LINK (стержневой КЭ), что делает ее комбинированной (рис. 2 – схематическая комбинированная модель нити).

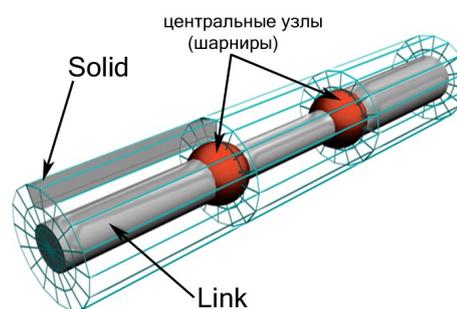


Рис. 2

Использование этих двух типов конечных элементов дает возможность создать модель нити, отвечающую основным свойствам текстильной нити – высокая прочность при растяжении и гибкость.

Сопротивление растяжению определяют центральные стержневые элементы LINK, они не передают изгибающий момент и соединяются в узлах – “шарнирах” (модель абсолютно гибкой нити). Рассматривая деформации растяжения и изгиба, а также модуль упругости как один из основных параметров, определяющих механические свойства, необходимо отметить существенное отличие осевого E_{ax} и изгибного модуля упругости E_b текстильных нитей ($E_b \ll E_{ax}$). Изгибную жесткость комбинированная модель приобретает благодаря наличию объемных КЭ SOLID. Этим элементам присваиваются низкие механические характеристики (E_b), соот-

ветствующие только изгибным деформациям реальной нити, в результате чего большие деформации изгиба в модели не приводят к появлению разрушающих напряжений, характерных для “чистого” растяжения. В то же время элементам LINK присваиваются механические свойства (E_{ax}), соответствующие деформациям растяжения реальной нити. Такое сочетание КЭ и их свойств позволяет совместить в комбинированной модели нити прочность и гибкость, а значит получить адекватную модель нити. Необходимо отметить, что 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_b этот вклад незначителен и может быть учтен при приложении нагрузок.

Элементам LINK модели могут быть присвоены различные механические свойства и геометрические характеристики сечения (площадь, диаметр), что позволяет учитывать неровноту, присущую реальным нитям – модель становится вероятностной.

Кроме того, использование элементов SOLID дает возможность учитывать пространственные контактные взаимодействия нитей основы и утка на следующем этапе моделирования – создании трехмерной модели ткани (рис. 1, <2>) (рис. 3-а) – трехмерная конечно-элементная модель ткани (4 раппорта); б) – картина напряжений в деформированном состоянии (растяжение вдоль основы)). Разработка методики моделирования проводится на примере ткани с простейшим полотняным переплетением нитей. В состав трехмерной конечно-элементной модели ткани входят нити с требуемыми механическими и геометрическими свойствами, а также свойствами контактного взаимодействия. Таким образом, модель ткани тоже является вероятностной. В ANSYS к модели могут быть приложены требуемые граничные условия и нагрузки. После расчета можно оценить НДС (напряженно-деформированное состояние) модели ткани и извлечь

требуемые результаты (напряжения, деформации, перемещения, контактное давление, область контакта и др.) .

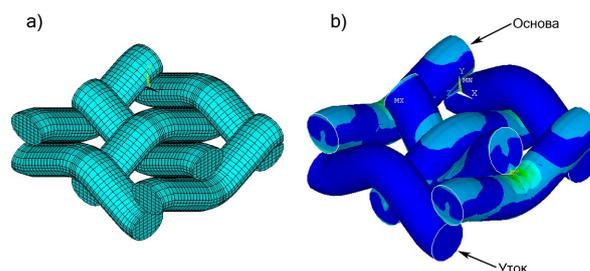


Рис. 3

Решение задач в трехмерной постановке требует достаточно больших временных затрат и мощностей вычислительных систем. При этом создание трехмерной модели ткани ведется в соответствии с методом локального приближения – моделируется ограниченное число ячеек (раппортов).

Следующим этапом моделирования является упрощение (гомогенизация) трехмерной модели ткани на мезоуровне (раппорт). Из модели выделяются трехмерные раппорты и рассматриваются отдельно (рис. 1, <3>). Основываясь на деформационных свойствах отдельных раппортов и учитывая периодичность тканой структуры, можно осуществить переход к псевдоплоской модели ткани. В основе этого перехода лежит перенос деформационных характеристик трехмерных раппортов на псевдоплоские модели раппортов (рис. 1, <4>) путем определения их эквивалентных механических свойств. Затем псевдоплоские раппорты связываются друг с другом, образуя удобную для анализа и расчетов псевдоплоскую модель текстильного материала (рис.1, <5>).

КЭ для создания псевдоплоской модели ткани являются элементы LINK, определяющие прочностные характеристики при растяжении, и оболочечные элементы SHELL, определяющие изгибную жесткость. Элементы SHELL в ANSYS не имеют визуальной толщины (также, как и элементы LINK), однако наделены этим свойством – псевдоплоская геометрия. Псевдоплоская модель ткани существенно

сокращает время расчетов и позволяет при этом увеличить масштабы проектирования.

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 можно осуществить необходимые операции, включая собственно создание трехмерной модели, определение граничных условий, задание необходимых внешних воздействий (нагрузок), 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 формирования команд для создания модели трудоемок, так как содержит множество операций, в том числе повторяющихся,

поэтому он должен быть автоматизиро-

ванным.

В настоящее время ведется разработка программного обеспечения, позволяющего пользователю ввести необходимые параметры, например, геометрические, выбрать закон и диапазон их распределения (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).

Разрабатываемая программа AnstEX (рис. 4 – внешний вид интерфейса программы AnstEX) в соответствии с заложенными данными вычисляет параметры модели и генерирует текстовый файл, содержащий всю информацию о модели и представляющий собой набор команд ANSYS. Далее этот файл может быть запущен на решение в ANSYS в Batch-режиме.

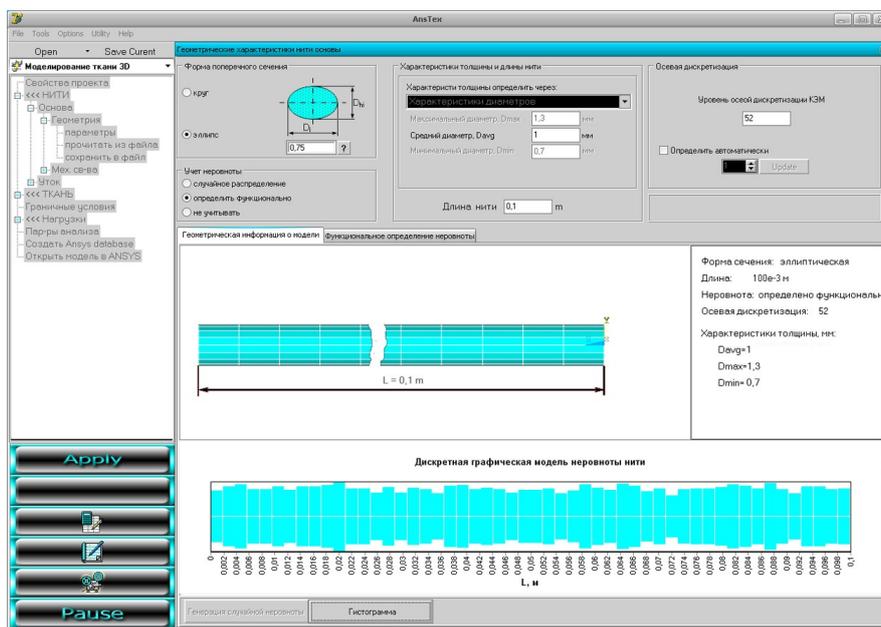


Рис. 4

Полученная конечно-элементная модель нити позволяет учитывать геометрическую неоднородность (неровнота, колебания размеров и формы поперечного сечения) и неоднозначность механических свойств, присущих реальным текстильным

материалам. Это дает возможность моделировать вероятностные физико-механические и геометрические свойства нити.

Наличие объемных КЭ SOLID в комбинированной структуре модели нити по-

зволяет создать на ее основе трехмерную конечно-элементную модель ткани, позволяющую учитывать объемное контактное взаимодействие нитей основы и утка.

Использование принципа гомогенизации дает возможность перехода к псевдоплоской геометрии текстильного материала, что значительно сокращает время расчетов и способствует увеличению масштабов проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити). – М.: Легпромбытиздат, 1989.
2. Карабасов Ю.С. Новые материалы/ Кол. авторов под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИСиС, 2002.
3. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование свойств текстильных нитей. – Витебск: ВГТУ, 2004.
4. Документация Ansis Help.

Рекомендована кафедрой технологии художественной обработки материалов и технического сервиса. Поступила 05.06.09.
