

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАССЕ

А.М. КИСЕЛЕВ

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

Разработана вероятностная трехмерная конечно-элементная модель волокнистого материала и программное обеспечение для ее построения в зависимости от различных геометрических и физико-механических факторов.

The likelihood three-dimensional certainly-elementary model of a fibrous material and the software for its construction is developed, depending on various geometric, physical and mathematical factors.

Ключевые слова: деформация сжатия, деформирование волокнистой массы, метод конечных элементов, программное обеспечение, batch-файл.

Деформация сжатия текстильных материалов является одним из наиболее распространенных процессов как в технологических процессах их переработки, так и в процессе эксплуатации готовых изделий. Решение таких задач, как оптимизация выбора предельного давления сжатия паков хлопка для уменьшения их объема при транспортировании, рациональная загрузка исходным сырьем бункерных устройств, выбор плотности намотки паковок текстильных материалов для обеспечения при этом прочности технологической оснастки, невозможно без детального исследования сжатия текстильных материалов в массе на уровне отдельных волокон. При решении данных задач необходимо обес-

печить такие уровни давлений в текстильных материалах, которые не повлияют с отрицательной стороны ни на выходные качественные характеристики готового продукта, ни на его эксплуатационные свойства. Наиболее системно данные вопросы изложены в [1].

Задачей настоящего исследования являлось построение диаграммы деформирования волокнистой массы при деформации сжатия. Для решения данной задачи выбран численный метод – метод конечных элементов [2]. В качестве программного обеспечения, реализующего данный метод, использован ППП ANSYS. Для упрощения решения задачи конечным пользователем была использована технология batch-

файла. Для создания batch-файла с описанием задачи была разработана программа на языке VB .NET, в графическом интерфейсе которой пользователь задает исходные данные для решения задачи. В качестве исходных данных выступали следующие параметры: длина элементарного волокна, его диаметр и физико-механические характеристики (модуль упругости, плотность и коэффициент Пуассона), размеры бункера и физико-механические свойства материала его стенок, плотность волокнистой массы по трем осям координат, коэффициент трения покоя и динамический коэффициент трения. Первым этапом решения задачи являлось построение геометрической модели волокнистой массы в прямоугольном бункере заданных размеров. Как известно, элементарные волокна в массе, ограниченной стенками бункера, могут иметь самую разную геометрическую форму. Все эти волокна в общем случае находятся в произвольно-ориентированном состоянии. Каждое элементарное волокно изогнуто случайным образом в пределах самого себя, волокна переплетаются друг с другом, если на этапе формирования волокнистой массы они не были ориентированы каким-либо специальным образом. При этом волокнистая масса в общем случае неоднородна в пределах своего объема, то есть плотность волокон на единицу объема в пределах бункера может быть различной. Из вышесказанного можно сделать вывод, что математическое описание геометрии волокнистой массы, находящейся в бункере, является достаточно сложной задачей, поэтому при ее построении был принят ряд допущений.

1. Для описания вероятностного характера исходных параметров моделирования выбран случайный закон их распределения.

2. Поперечное сечение элементарных волокон описывается квадратом.

3. Элементарное волокно описывается как совокупность конечных элементов, соединенных между собой по граням.

4. Диаметры элементарных волокон одинаковы.

Второе допущение можно считать уместным, так как диаметр одного волокна на несколько порядков меньше его линейных размеров и форма сечения при построении модели не имеет принципиального значения, в то же время при описании сечения квадратом существенно упрощаются расчеты.

Для построения геометрической модели волокнистой массы разработан алгоритм и программа на ЭВМ. Пример построения геометрической модели волокнистой массы приведен на рис. 1.

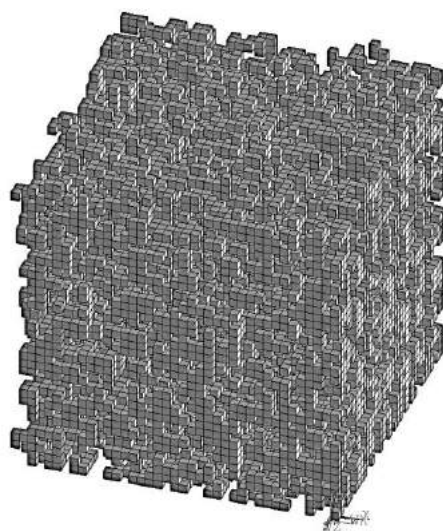


Рис. 1.

После построения геометрической модели можно переходить непосредственно к решению поставленной задачи, предварительно задав физико-механические свойства материалов и граничные условия. В данной работе модели поведения материалов при нагружении приняты идеально упругими, так как реальные законы поведения элементарных волокон многих материалов при деформации сжатия на сегодняшний день неизвестны, однако присутствуют данные о величине модуля упругости. В принципе возможно задание любой нелинейной модели поведения материалов. Модель сжатия волокнистой массы построена на основе динамической модели деформированного твердого тела. При решении задачи учтены нелинейности, характерные для данной задачи – геометрическая нелинейность и контактное взаимо-

действие волокон друг с другом и стенками бункера. В качестве граничных условий задавались силы сжатия волокнистой массы q (рис. 2 – распределение суммарных перемещений волокнистой массы при сжатии на одном из вариантов расчета) и скорость изменения данной силы. Задание в качестве граничных условий скорости действия силы или ускорения позволяет учесть, при необходимости, влияние скорости деформации на напряженно-деформированное состояние волокнистой массы или релаксации материала после снятия нагрузки. В процессе расчета при заданной фиксированной нагрузке определялась величина сжатия материала, характеризующаяся величиной h .

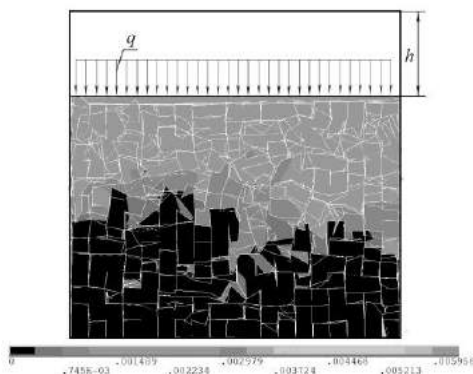


Рис. 2

С использованием разработанной модели был проведен ряд вычислительных экспериментов, в которых моделировался процесс сжатия волокнистой массы под действием силы различной величины. Деформированное состояние одного из вариантов сжатия волокнистой массы приведено на рис. 2.

Задание граничных условий при выполнении вычислительного эксперимента соответствовало экспериментальным данным, приведенным в [3]. Расчеты проводились для волокнистых масс различных плотностей. На рис. 3 (расчетные диаграммы сжатия волокнистой массы при различной плотности и сравнение с экспериментальными данными) представлено пять кривых для различной плотности заполнения бункера волокнами и диаграмма сжатия массы капроновых волокон по данным [3]. Кри-

вые 1...5 построены по данным вычислительного эксперимента, кривая 6 – по экспериментальным данным [3].

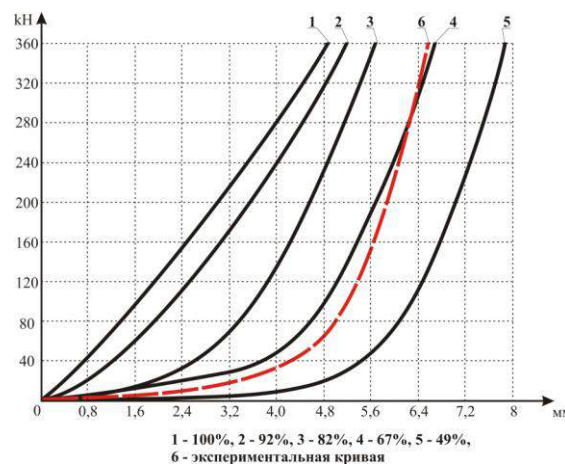


Рис. 3

Анализ результатов, представленных на рис. 3 показывает, что предложенная математическая модель достаточно качественно описывает процесс сжатия волокон при удовлетворительных количественных характеристиках. При этом наблюдается существенная зависимость диаграммы сжатия от плотности деформируемого материала. К сожалению, в экспериментальных данных, приведенных в [3], не указывается плотность, при которой проводился эксперимент по сжатию волокон в массе, однако по результатам полученных расчетов можно предположить, что экспериментальные данные были получены при плотности, близкой к 67%, что соответствует кривой 4 на рис. 3. Зависимость 1 на рис. 3, полученная при 100%-ном заполнении, то есть монолитной массе, является теоретической и подтверждает линейную зависимость деформации от нагрузки при идеально упругой диаграмме деформирования сжимаемого материала. Анализ характера наклона теоретических зависимостей сжатия материала и характера наклона экспериментальной кривой показывает их некоторое различие, которое можно объяснить нелинейной диаграммой деформирования материала сжимаемых волокон.

ВЫВОДЫ

1. Разработана вероятностная трехмерная конечно-элементная модель волокнистого материала и программное обеспечение для ее построения в зависимости от различных геометрических и физико-механических факторов.

2. Разработана динамическая модель процесса сжатия волокон в массе, позволяющая строить диаграммы деформирования материала при деформации сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балясов П.Д.* Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства. – М.: Легкая индустрия, 1975.

2. *Hallquist J.O.*, *LS-DYNA Theoretical manual*. – Livermore.: Livermore software technology corporation, 1998.

3. *Сухарев В.А., Матюшев И.И.* Расчет тел намотки. – М.: Машиностроение, 1982.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 04.06.10.
