

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

At present the most powerful numerical method for calculating deflected mode of component parts, units, mechanisms, machine-building and other structures is the finite-element method. It is based on the replacement of the subject under study by a set of finite number of discrete elements which are mutually bound in units. The finite-element method embraces the following set of operations: the fragmentation of a body into finite elements and assignment of units where movements are determined; determination of dependencies between forces and movements in the units of elements; composition of the set of algebraic equilibrium equations (assembly); solution of the set of equations; determination of the components of body deflected mode. The article shows the possibility of modeling and study of deflected mode of structure elements at alternating bending using the method described above. Steel samples having the form of small beams with rectangular cross section were used as models. The results obtained showed great convergence of finite-element modeling with experimental data.

Введение. К проектированию современных машин сегодня предъявляются очень серьезные требования. Разрабатываемая конструкция должна быть надежной, долговечной, выполнять возлагаемые на нее функции, и при этом затраты связанные как с ее проектированием, так и производством, должны быть минимальными.

Все вышесказанное относится и к разработке автотранспорта, специализированных машин, осуществляющих валку, трелевку древесины и другого технологического оборудования, используемого в современном технологическом процессе.

Надо отметить, что многие детали узлов таких машин и элементы несущих конструкций находятся в условиях сложного нагруженного состояния и подвергаются в процессе работы значительным динамическим нагрузкам.

Исследование статической и динамической прочности несущих элементов лесной техники является одним из наиболее трудоемких этапов проектирования.

В настоящее время для снижения затрат, связанных с поиском оптимальной конструкции, все чаще прибегают к численным методам решения таких задач, наиболее мощным из которых является метод конечных элементов (МКЭ), основанный на замене исследуемого объекта совокупностью конечного числа дискретных элементов, связанных между собой в узлах [1]. В этом случае схема создания математической модели следующая: исследуемый объект – идеализированная расчетная схема – система линейных алгебраических уравнений. Непосредственный переход к расчетной схеме дает возможность естественно формулировать граничные условия, произвольно располагать узлы сетки элементов, сгущая ее в местах ожидаемого большого градиента искомых величин, применять метод для исследования

областей, состоящих из фрагментов различной физической природы и т. д.

При обеспечении непрерывности перемещений и использовании вариационных принципов для построения матрицы жесткости, дающей связь между усилиями и перемещениями узлов элемента, МКЭ с математической точки зрения тождествен методу Ритца. Однако основное отличие МКЭ состоит в кусочно-непрерывном определении полей, которое позволяет рассматривать нерегулярные границы тела. Вторым существенным достоинством такого определения является то, что уравнения равновесия образуют ленточную матрицу, для которой эти уравнения легко решаются прямыми или итерационными методами [1, 2].

Такой метод известен еще и как метод перемещений, который эквивалентен минимизации полной потенциальной энергии системы, выраженной через поле перемещений. В данном случае рассматривают следующую последовательность проведения расчета по МКЭ.

1. Разбиение тела на конечные элементы и назначение узлов, в которых определяются перемещения.
2. Определение зависимостей между усилиями и перемещениями в узлах элемента, т. е. построение матриц жесткости.
3. Составление системы алгебраических уравнений равновесия (сборка).
4. Решение системы уравнений.
5. Определение компонентов напряженно-деформированного состояния тела.

В настоящее время МКЭ реализован в таких программах, как NASTRAN, ANSYS и пр. Программы данного типа предлагают широкий спектр возможностей конечно-элементного анализа, начиная от простого линейного стационарного анализа и заканчивая комплексным нелинейным анализом переходных процессов.

Решение типичной задачи по МКЭ включает следующие три этапа: построение модели; задание нагрузок и получение решения; обзор результатов.

Создание сложных пространственных конечно-элементных моделей связано с большими затратами времени. Точность описания топологии модели в большой степени определяет точность расчетов, выполненных по этой модели, и в итоге – надежность спроектированной и изготовленной машины.

Задача настоящего исследования состояла в выявлении степени соответствия напряженно-деформированного состояния плоских балочных образцов, подвергаемых действию знакопеременного изгиба, полученного с помощью МЭК и определенного экспериментально, а также с помощью других расчетных методов.

1. Оборудование и методика проведения испытаний натуральных образцов. В качестве материалов для изготовления и дальнейшего исследования образцов были использованы алюминиевые сплавы, различные партии которых отличались как химическим составом, так и технологией получения.

Нагружение образцов знакопеременным изгибом производилось с помощью специально разработанных вибродинамических стендов (частота испытаний до 3 кГц). Испытательный стенд работал в автоколебательном режиме с автоматическим поддержанием амплитуды колебаний образцов, что осуществлялось с помощью прибора стабилизации амплитуды ПСА, включающего в себя управляемый усилитель с использованием фазовращателя, ограничителя и фильтров, настроенных на собственные частоты колебаний образцов. Измерение амплитуды колебаний образцов, колеблющихся на первой форме колебаний, осуществлялось с помощью виброметра и контролировалось оптическим микроскопом [3]. Образцы представляют собой балочки прямоугольного сечения (1,8×6 мм). Все партии образцов подвергались термической обработке T5 (закалка с 525°C в воду с последующим искусственным старением при $t = 175^\circ\text{C}$ в течение восьми часов, охлаждение на воздухе).

Измерение напряжений в различных сечениях образцов производилось по стандартным методикам тензометрирования [4].

2. Применение различных методик для оценки напряженно-деформированного состояния моделей. При расчете с помощью МКЭ на первом этапе с помощью САД системы была создана трехмерная модель испытуемого образца (рис. 1).

Следующим этапом анализа является создание конечно-элементной модели (узлов и

элементов), которая адекватно описывает геометрическую модель.

Затем по созданной КЭ сетке проводится комплекс расчетов. Сначала в зависимости от условий нагружения и вычисляемых параметров выбирается тип анализа. На рис. 2 показан модальный анализ образца колеблющегося на первой собственной форме, на рис. 3 – на второй.

Рис. 1. Трехмерная модель образца

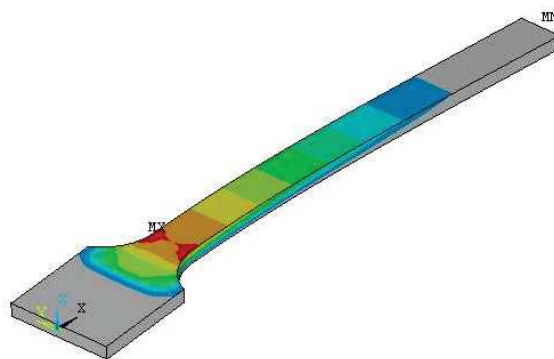


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние образца колеблющегося на первой форме

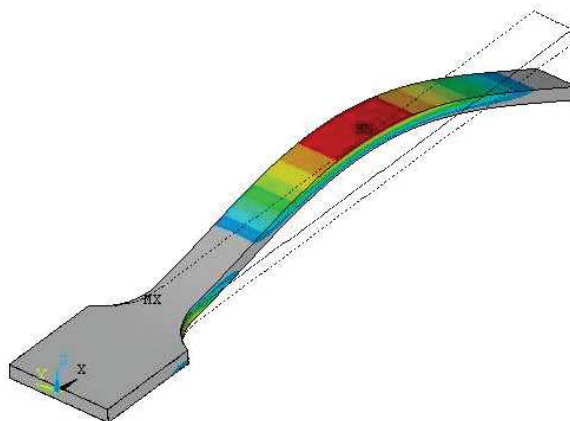


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние образца колеблющегося на второй форме

На рис. 4 показаны зависимости распределения прогибов по длине образца, полученные различными методами.

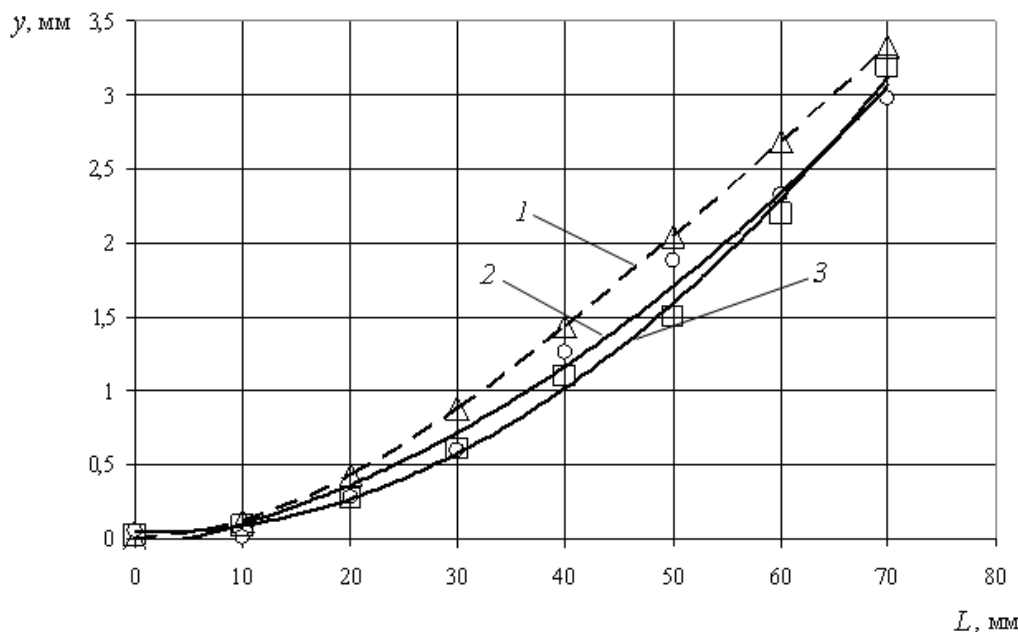


Рис. 4. Прогиб образца колеблющегося на первой форме:
 1 – кривая, полученная на основании решения уравнения упругой линии;
 2 – кривая, полученная на основании измерений амплитуды колебания различных точек образца;
 3 – кривая, полученная на основании расчета МКЭ

В таблице приведены результаты определения изгибных напряжений опытным путем и расчетными методами в различных поперечных сечениях.

Таблица
Напряжения изгиба образцов

Расстояние от заделки, мм	Напряжения, полученные по результатам тензометрирования σ_{-1} , МПа	Напряжения, полученные на основании расчета МКЭ σ_{-1} , МПа	Напряжения, полученные на основании расчета уравнения упругой линии σ_{-1} , МПа
0	322	338,6	349,5
30	125,5	132,0	148,0
50	44,0	48,5	43,3

Выводы. Сравнивая данные, полученные экспериментальным путем и на основании расчетных методов, можно отметить, что метод конечно-элементного моделирования

позволяет смоделировать напряженно-деформированное состояние объекта с высокой степенью точности.

Литература

1. Морозов, Е. М. Метод конечных элементов в механике разрушения / Е. М. Морозов, Г. П. Никишков. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 256 с.
2. Метод конечных элементов в статике сооружений / Я. Шмельтер [и др.]; пер. с пол. М. В. Предтеченского; под ред. В. Н. Сидорова. – М.: Стройиздат, 1986. – 220 с.
3. Блохин, А. В., Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования / А. В. Блохин, Ф. Ф. Царук, Н. А. Гайдук // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – Минск, 2002. – Вып. X. – С. 213–215.
4. К расчету напряженного состояния пластин, колеблющихся на низких ультразвуковых и звуковых частотах / В. Б. Немцов [и др.] // Теоретическая и прикладная механика. – Минск: Выш. шк., 1989. – Вып. 16. – С. 113–117.