

5. Ільків, О. Інноваційна діяльність як основа професійної діяльності / О. Ільків // Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві: збірник наукових праць. – 2013. – № 1 (21). – Режим доступу: <http://esnuir.cenu.edu.ua/bitstream/123456789/2675/1/Ilkiv.pdf>.

6. Лапичак, І.Є. Інтеграція професійних знань і вмій при підготовці фахівців з фізичного виховання у вищих навчальних закладах: автореф. дис. ... канд. наук з фіз. виховання і спорту: спец. 24.00.02 «Фізична культура, фізичне виховання різних груп населення» / І.Є. Лапичак. – Львів, 2013. – 20 с.

7. Мезенцева, Н.В. Инновационные технологии в педагогике физической культуры и спорта / Н.В. Мезенцева, Д.А. Шубин // Молодежь и наука: сб. материалов VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section13.html>.

8. Панфилов, О.П. Инновационные подходы к повышению качества подготовки специалистов по физической культуре / О.П. Панфилов, В.В. Борисова, Т.А. Шестакова // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт [Электронный ресурс]. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-podhody-k-povysheniyu-kachestva-podgotovki-spetsialistov-po-fizicheskoj-kulture-2>.

9. Редько, Т.М. Розвиток здатності майбутнього фахівця фізичного виховання до інноваційної діяльності / Т.М. Редько // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Сер.: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт [Електронний ресурс]. – 2013. – Вип. 112(2). – С. 239–241. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VchdpuPN\\_2013\\_112\(2\)\\_57.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VchdpuPN_2013_112(2)_57.pdf).

10. Савченко, В.А. Педагогічні умови застосування інноваційних технологій з фізичного виховання у післядипломній підготовці вчителів початкових класів: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / В.А. Савченко. – Дніпропетровськ, 2012. – 246 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СПОРТЕ

*Новицкий О.А.*, канд. физ.-мат. наук, доцент,

*Шиндер М.В.*,

Белорусский государственный университет физической культуры,

Республика Беларусь

Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики [1]. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики. Первое использование МКЭ было связано с решением задач для космических исследований в 1950 г. Позднее метод был осмыслен математиками, которые занимались теоретическими вопросами обоснования сходимости и точности получаемых результатов. В дальнейшем МКЭ из численной процедуры решения задач строительной механики превратился в метод решения дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений. В последнее время в связи с бурным развитием вычислительной техники метод нашел свое широкое применение практически во всех областях инженерной мысли. Подкрепленный строгим математическим обоснованием МКЭ стал одним из самых применяемых на сегодняшний день методов численного расчета.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную функцию можно аппроксимировать моделью, состоящей из отдельных участков (элементов), на каждом из которых она приближается кусочно-непрерывной функцией, построенной на значениях исследуемой непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемого элемента. В общем случае непрерывная функция заранее неизвестна, и нужно определить ее значения в некоторых внутренних точках рассматриваемой области. Первоначально предполагаются известными числовые значения функции в некоторых внутренних точках области (в узлах). После этого переходят к общему случаю. Таким образом, порядок построения дискретной модели состоит из следующих этапов:

1) область определения непрерывной функции разбивается на конечное число подобластей (элементов). Эти элементы составляют область и имеют общие точки (узлы);

2) в рассматриваемой области фиксируется конечное число точек (узлов). В этих точках вводятся фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределенным по границам элементов. Элементы взаимодействуют между собой только в узловых точках;

3) первоначальное значение непрерывной функции в узловых точках предполагается известным;

4) для каждого из элементов области определяется аппроксимирующая функция (функция элемента). Чаще всего она выбирается в виде линейных, квадратичных или кубических полиномов. Для каждого элемента можно подбирать свой полином, однако должно выполняться условие непрерывности функции вдоль границ элемента;

5) на множестве узлов опять задаются значения функции, на этот раз являющиеся переменными. Узловые значения функции выбираются из условия минимизации функции, связанной с физической природой задачи. Процесс минимизации сводится к решению систем линейных алгебраических уравнений относительно значений функции в выбранных узлах.

Таким образом, конструкция рассматривается как совокупность элементов, соединенных в конечном числе узловых точек. Если известны соотношения между силами и перемещениями для каждого из элементов, известно и состояние системы в целом.

Одним из наиболее успешных программных продуктов, реализующих МКЭ, является программа ANSYS – универсальная программная система, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет [1]. Программа, разработанная американской фирмой ANSYS Inc., обладает многими возможностями конечно-элементного анализа – от простого линейного статического до сложного нелинейного динамического (нестационарного).

Процедура типового расчета может быть разделена на три основных этапа:

- построение модели;
- приложение нагрузок (включая и граничные условия) и получение решения;
- просмотр и анализ результатов.

Первый этап требует наибольших затрат времени (имеется в виду время пользователя, а не время работы компьютера). Он включает задание типов конечных элементов, свойств материала, геометрии модели и генерацию конечно-элементной сетки.

На втором этапе выбирается тип анализа, устанавливаются его параметры, прикладываются нагрузки и инициируется решение. Под нагрузками понимаются граничные условия в виде условий закрепления, а также задание внешних и внутренних усилий. Большинство этих нагрузок может быть приложено или к твердотельной модели (в ключевых точках, по линиям и поверхностям), или к конечно-элементной модели (в узлах и к элементам).

По команде /SOLVE программа обращается за информацией о модели и нагрузках к базе данных и выполняет вычисления. Результаты записываются в специальный файл и в базу данных. При этом в базе данных может храниться только один набор результатов, тогда как в файл могут быть записаны результаты для всех шагов решения.

Программа ANSYS обладает широкими возможностями для просмотра полученных результатов. Для каждого узла ANSYS позволяет получить значения искомых физических величин, для модели в целом – картину деформированного состояния, выводить на экран изолинии, линии тока, создавать анимационные ролики и т. д.

Среди различных типов анализа, реализуемых ANSYS, мы рассмотрели модальный анализ [2] модели хоккейной клюшки. Рассматриваемый анализ помогает установить параметры колебаний конструкций: с его помощью определяются собственные частоты и формы колебаний. Кроме того, он используется как отправная точка для других, более подробных динамических расчетов, таких, как нестационарный динамический анализ или отклик системы на гармоническое воздействие.

С помощью твердотельного моделирования нами создана реалистичная модель клюшки (рисунок 1), представляющая объемную фигуру, ограниченную 14 поверхностями и каркасом из 35 линий. В качестве материала клюшки использован карбоновый пластик с механическими характеристиками:

- модуль Юнга  $E = 1,65 \times 10^{11}$  Па;
- коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ ;
- плотность  $\rho = 1900$  кг/м<sup>3</sup>.

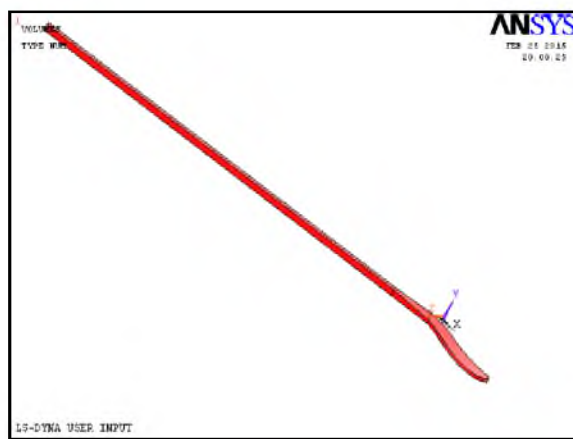


Рисунок 1 – Модель хоккейной клюшки

Из встроенной в ANSYS библиотеки в качестве конечного элемента выбран 4-уловый элемент SOLID285 (рисунок 2). Тип материала – линейный, изотропный.

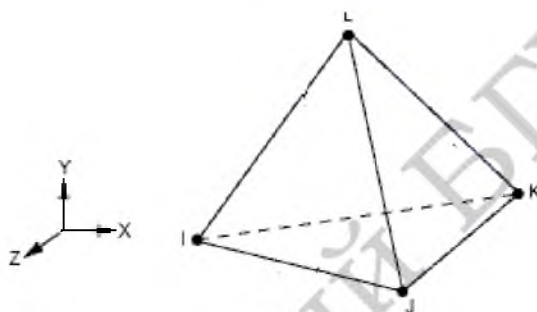


Рисунок 2 – Конечный элемент SOLID285 (I, J, K, L – узлы)

В результате меширования (построения расчетной сетки) было создано 5631 элементов, соединенных в 1596 узлах (рисунок 3).

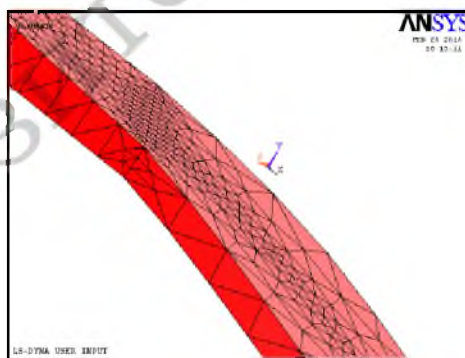


Рисунок 3 – Фрагмент сеточного разбиения клюшки

Выбран модальный тип анализа с извлечением 6 колебательных мод методом BlockLanczos, который используется программой ANSYS по умолчанию, в диапазоне циклических частот от 0 до 10000 с<sup>-1</sup>. Ограничения, накладываемые на модель, сводились к закреплению торцевой площадки ручки клюшки.

Затем программа была запущена на расчет. Процессу решения сопутствовало лишь одно незначительное замечание, что говорит о корректности поставленной задачи.

Результаты расчета записываются в соответствующий файл и с помощью постпроцессора могут быть выведены на экран или отправлены на печать. На рисунке 4 представлена выведенная на экран монитора таблица, содержащая полученные собственные частоты.

***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****				
SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	37.352	1	1	1
2	39.598	1	2	2
3	157.96	1	3	3
4	232.39	1	4	4
5	360.36	1	5	5
6	526.92	1	6	6

Рисунок 4 – Собственные частоты колебаний хоккейной клюшки

Постпроцессор позволяет получить самую разнообразную информацию, полученную в результате решения поставленной задачи. На рисунке 5 представлены последовательные кадры анимационного ролика, содержащие форму колебаний 3-й моды с циклической частотой  $\omega_3 = 157,96 \text{ c}^{-1}$ , на временном интервале, равном одному периоду. С нашей точки зрения, данная мода представляет практический интерес, так как по форме она соответствует движению крюка клюшки в заключительной фазе броска, при котором шайбе придается вращательное движение. Этот факт позволяет учитывать резонансные явления в тренировочном процессе отработки техники броска шайбы.



Рисунок 5 – Форма колебаний третьей колебательной моды

1. Moaveni, S. FINITE ELEMENT ANALYSIS / S. Moaveni. – PRENTICE HALL, Upper Saddle River, New Jersey, 1999. – 527 p.
2. Леонтьев, Н.В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа / Н.В. Леонтьев. – Н. Новгород: ННГУ, 2006. – 101 с.