

# МОДЕЛИРОВАНИЕ – ОСНОВНОЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ЗНАНИЙ В БИОМЕХАНИКЕ (НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ УДАРА КЛЮШКОЙ ПО ШАЙБЕ)

*Пономаренко В.К.<sup>1</sup>, Шиндер М.В.<sup>1</sup>, Новицкий О.А.<sup>2</sup>,*

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет физической культуры,

<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,  
Республика Беларусь

**Исследование операций и аналитическая биомеханика.** Как известно, биомеханика изучает закономерности механического движения живых объектов, а метод моделирования является в ней основным способом получения необходимых знаний [1]. Но движение живого тела всегда имеет определенную цель. Поэтому используемая в процессе исследования модель должна отражать основное отличие движения живого объекта от движения неживых тел – целенаправленность.

Однако целенаправленность присуща не только перемещению в пространстве живых существ, но и всем разумным их действиям, включая, в первую очередь, действия человека. Именно поэтому в первой половине XX века оформилась новая научная дисциплина, изучающая сложные целенаправленные системы с позиций оптимизации структур этих систем и их организации, – исследование операций. (Заметим, возникновение исследования операций восходит к 1885 году, когда Фредерик Тейлор показал возможность применения научного анализа в сфере производства, а именно: дал математически обоснованные рекомендации, как оптимальным образом организовать труд землекопов).

Под операцией понимают всякое мероприятие (систему действий), объединенное единым замыслом и направленное к достижению какой-то цели. Операция является управляемым мероприятием, и параметры, характеризующие организацию операции, выбираются так, чтобы по возможности наилучшим образом способствовать достижению поставленной цели. При этом в понятие «организация» включается и набор технических средств, используемых в операции.

Всякий конкретный выбор параметров, зависящих от нас, называется решением.

Решения называются оптимальными, если они по тем или иным признакам предпочтительнее других.

Для сравнения решений между собой выбирается количественный критерий, отражающий целевую направленность операции (показатель эффективности операции или целевая функция).

Различают два вида задач исследования операций: прямые и обратные.

Прямые задачи состоят в том, что определяется результат операции при заданных (не зависящих от нас) условиях и выбранном нами решении. Этим результатом может быть, в том числе, и значение критерия эффективности.

Обратные задачи заключаются в том, чтобы по заданному значению показателя эффективности определить решение (или решения), позволяющее достичь этого уровня эффективности, в частности, найти решение, дающее максимальное значение показателя эффективности [2].

Видим, что любое двигательное действие спортсмена, будучи целенаправленным, попадает в разряд операций. Однако между исследованием операций в широком смысле слова и исследованием операций применительно к спорту (аналитической биомеханикой) есть существенные отличия, обусловленные спецификой решаемых задач.

Во-первых, критерий эффективности операции в спорте всегда один – результат, показанный спортсменом. В исследовании же операций оптимизация может вестись по разным параметрам.

Во-вторых, в детерминированных задачах исследования операций, как правило, находится решение (или решения), дающее максимальное значение критерия эффективности. В спорте это невозможно. Да, бывают феноменальные рекорды, которые остаются незбылемыми на протяжении десятилетий. Однако рано или поздно их превосходят. И, наконец, в исследовании операций прямые задачи решаются проще обратных, которые относятся к классу так называемых «вариационных задач». Более того, предполагается, что для решения обратной задачи, прежде всего, надо уметь решать прямую задачу [2].

При построении моделей в сфере биомеханики может иметь место прямо противоположное явление. Может оказаться, что, учитывая специфику рассматриваемой области, легче решить обратную задачу, а затем, используя полученное решение, решать прямые задачи.

**О возможностях трехмерного моделирования в спорте.** Нами рассматривается задача моделирования взаимодействия крюка клюшки и шайбы при выполнении ударного действия клюшкой. Спецификой данной задачи является то обстоятельство, что при моделировании удара клюшкой по шайбе задачу можно решать как обратную, используя третий закон Ньютона, и рассматривать удар летящей с заданной скоростью шайбы по неподвижной клюшке. В такой постановке задачи моделирование ситуации упрощается. Принято считать, что при моделировании движений спортсмена современные системы трехмерного моделирования не могут быть использованы в силу очень большого объема вычислений и необозримости получаемых результатов. Однако время идет, информационные технологии и технические возможности компьютерной их поддержки совершенствуются стремительными темпами, и для анализа отдельных кинематических цепей такие системы уже вполне могут быть использованы. Для сформулированной задачи нами была выбрана одна из самых мощных систем трехмерного моделирования ANSYS/LS-DINA.

Аналитические методы оценки ответных реакций конструкций на внешние воздействия различной физической природы без натурального моделирования возникли довольно давно. Появление и развитие вычислительной техники дало новый толчок совершенствованию численных методов анализа, которые являются сегодня основным практическим инструментом исследователя.

В настоящее время система ANSYS является одной из самых мощных и популярных конечно-элементных расчетных систем в мире. К слову, она была создана где-то в начале или середине 50-х годов прошлого века и использовалась для выполнения вычислительных работ в американской программе космических исследований. Для расчета высоконелинейных кратковременных динамических процессов в ANSYS применяется пакет LS-DYNA, входящий в число лучших в своем классе [3]. Ввиду ограниченности объема статьи основные действия при работе с названным программным комплексом в данной статье не описываются.

Ниже приводится выполненное нами в системе моделирования ANSYS/LS-DINA описание взаимодействия шайбы и клюшки в момент удара.

#### **Решение задачи соударения шайбы с клюшкой**

**Постановка задачи.** Стандартная клюшка с изогнутым крюком принимает на себя летящую шайбу со скоростью 20 м/с. Верхняя часть клюшки и место хвата рукой хоккеиста шарнирно закреплены. Длительность удара предполагается равной 0,01 сек. Материал клюшки и шайбы – изотропен. Исследуется временная картина деформаций и напряжений, возникающих в клюшке и местах хвата.

**Создание модели.** В качестве типа элемента выбираем SOLID168, который представляет собой 10-узловой элемент высшего 3D-порядка, используемый в явных динамических методах. Он хорошо подходит для случая моделирования с помощью иррегулярных сеток, вырабатываемых различными CAD/CAM системами. Элемент определен 10-ю узлами с тремя степенями свободы в каждом из них: трансляции в узловых  $x$ ,  $y$ , и  $z$  направлениях. По умолчанию SOLID168 использует квадратичное поведение смещения с пятью точками интегрирования.

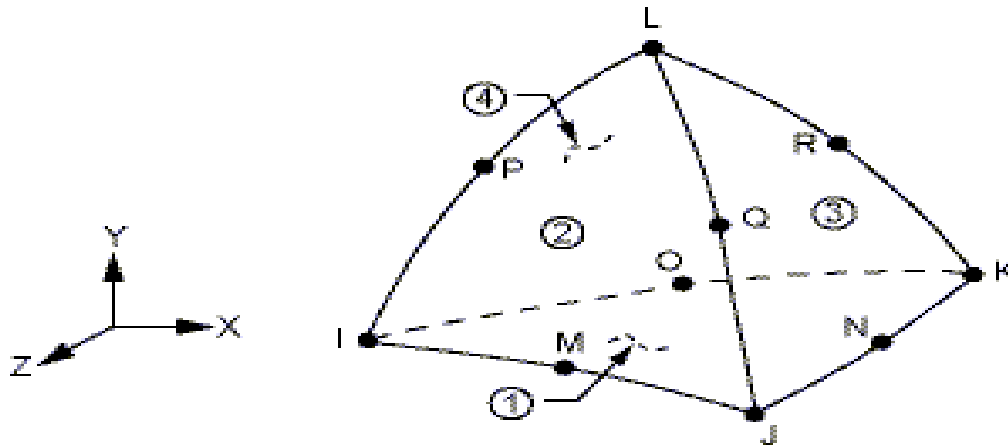


Рисунок 1 – Геометрия элемента SOLID168

В качестве типов элементов выбраны изотропные материалы:

- для клюшки – карбоновый пластик ( $E = 35$  ГПа,  $\rho = 1,9$  г/см<sup>3</sup>,  $\mu = 0,3$ );
- для шайбы – вулканизированная резина ( $E = 6$  МПа,  $\rho = 0,93$  г/см<sup>3</sup>,  $\mu = 0,48$ ).

В скобках указаны значения модуля Юнга, плотности и коэффициента Пуассона.

Геометрия модели создавалась методом «снизу-вверх»: сначала создавались ключевые точки, затем геометрические примитивы (линии, плоскости, объемы). При создании модели активно использовались такие приемы, как экструзия, булево сложение и вычитание, сплайны и т. д. Окончательно геометрическая модель состояла из 45 ключевых точек, 43 линий, 21 площади и 2 объемов (клюшка и шайба).

После автоматического меширования модели (разбиение модели на конечные элементы) создано 6282 узла и 3410 элементов.

Ниже приводятся некоторые визуализированные результаты проведенного моделирования.

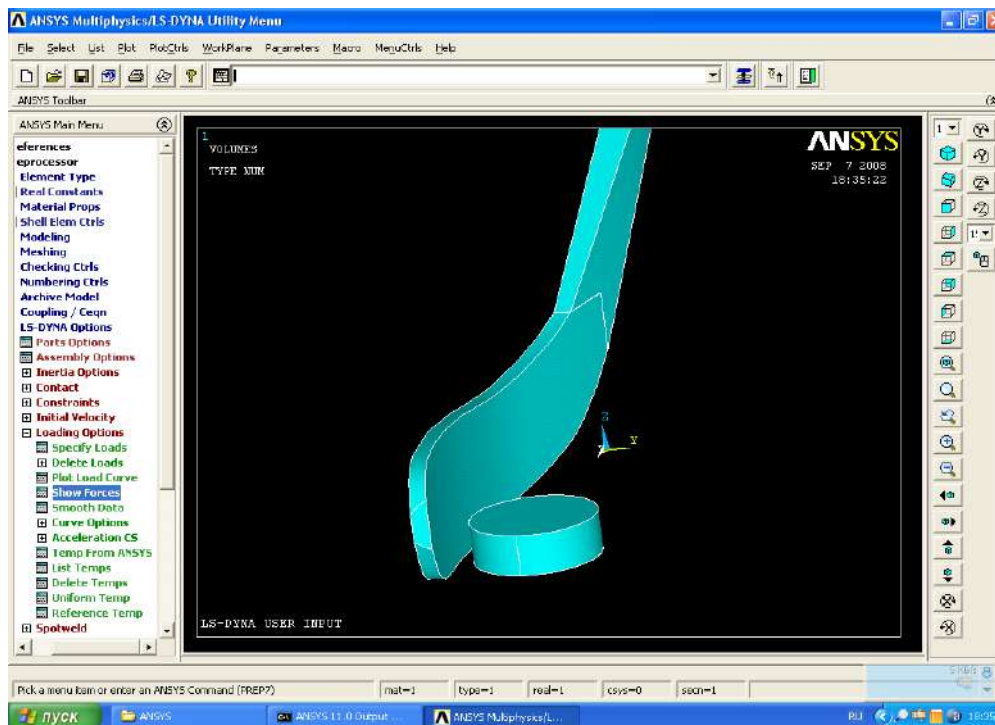


Рисунок 2 – Геометрическая модель (нижняя часть)

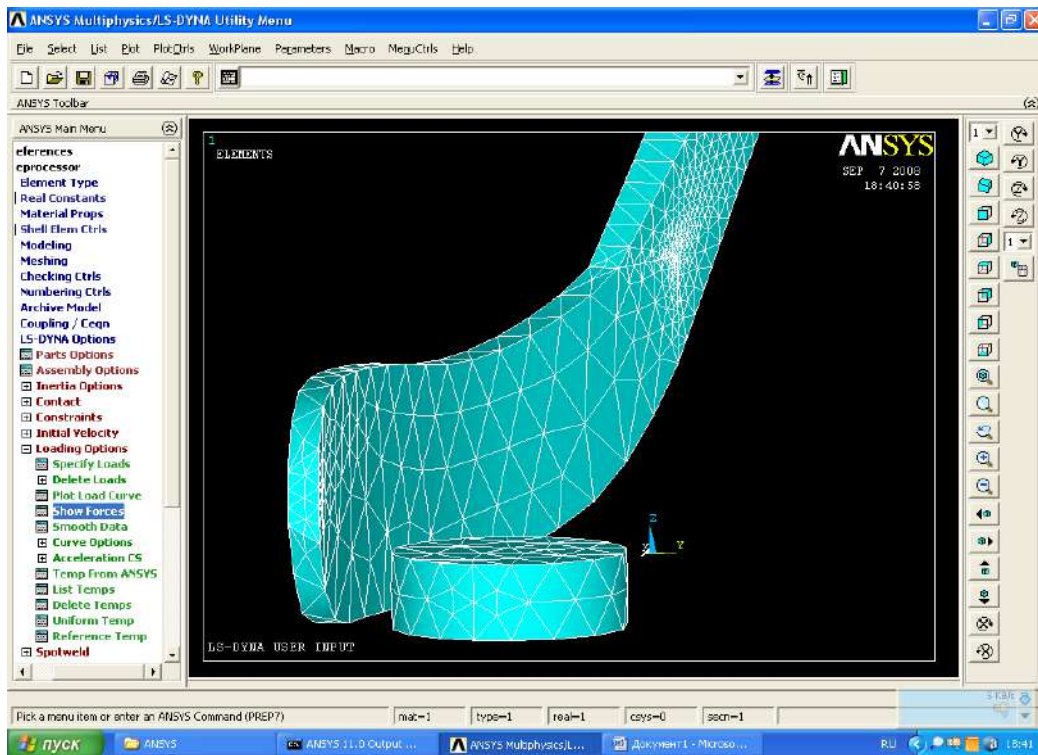


Рисунок 3 – Модель после меширования

Для моделирования контакта были созданы два компонента, состоящие из узлов поверхности шайбы (ШАЙБА) и всех узлов клюшки (КЛУШКА). Задана начальная скорость шайбы, направленная перпендикулярно крюку клюшки ( $V_y = -20$  м/с в глобальной системе координат). После выполнения ряда опций задача была поставлена на счет. Расчет производился на ПЭВМ с процессором Intel Pentium Core 2 Duo E8400 с производительностью 20 GFLOPS под управлением операционной системы Windows XP-64. Расчет происходил без сбоев и длился 12 часов.

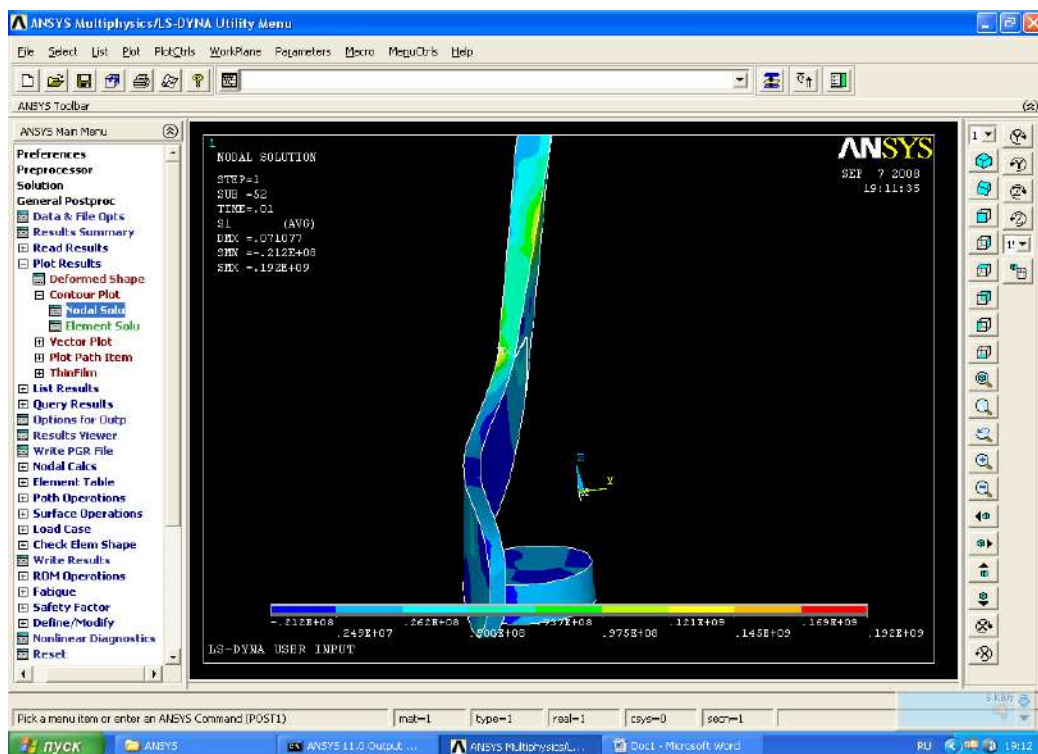


Рисунок 4 – Картина напряженного состояния клюшки (нижняя часть) и шайбы



Используя полученные в результате моделирования данные, можно экстраполировать в дальнейшем возникшие напряжения на кисть руки и предплечье, тем самым появляется возможность визуализации реальной картины мышечных усилий.

1. Сотский, Н.Б. Биомеханика / Н.Б. Сотский. – Минск: БГУФК, 2005.
2. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988.
3. Галагер, Р. Метод конечных элементов. Основы: пер. с англ. / Р. Галагер; – М.: Мир, 1984.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ И ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ**

*Руденик В.В., канд. пед. наук, доцент<sup>1</sup>,  
Позюбанов Э.П., канд. пед. наук, доцент<sup>2</sup>,  
Сотский Н.Б., канд. пед. наук, доцент<sup>2</sup>,*

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет физической культуры,  
Республика Беларусь

Специфическая цель системы подготовки в спорте – научить спортсменов с необходимой эффективностью решать двигательные задачи, возникающие в процессе их соревновательной деятельности. Двигательные задачи, как известно, решаются посредством двигательных действий. Спортивная педагогика выступает заказчиком на проведение биомеханических исследований. Главнейшая потребность спортивной педагогики – биомеханическое обоснование систем движений, посредством которых спортсмены и могут решать определенные двигательные задачи с необходимой эффективностью. Одно из направлений биомеханических исследований – оптимизация известных способов решения двигательных задач. Используя собственные специфические методы исследований, в биомеханике устанавливается направление изменений характеристик систем движений, реализуя которые, спортсмены повысят эффективность приложения сил для более совершенного достижения поставленной цели.

Используя результаты биомеханических исследований, спортивные педагоги разрабатывают программы тренирующих воздействий, направленные на совершенствование механизмов управления движениями и на развитие двигательного потенциала, необходимого для их реализации. Важно подчеркнуть, что в спорте одни и те же двигательные задачи могут быть решены с достаточно высокой эффективностью разными способами (например, в прыжках в высоту, в плавании и т. д.). Вполне естественно, что при разных способах решения двигательных задач оптимизация систем движений, посредством которых они могут быть решены, должна осуществляться в разных направлениях. Должна иметь специфику и архитектура моторного потенциала человека.

Важное значение при решении двигательных задач придается в спортивной педагогике двигательной установке.

Способ решения двигательной задачи как объект исследований в психологии выступает, прежде всего, при исследовании установок. Явление установки открыто в 1888 г. немецким психологом Л. Ланге [1]. В физиологии установка рассмотрена с позиций враты-