

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Петрухин, А.В. Золотарев

ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград

Ключевые слова и фразы: биомеханические системы; параметризация систем; проектирование технических систем.

Аннотация: Проектирование биомеханических систем является сложным процессом, требующим анализа большого количества параметров и характеристических величин, определяющих вид и назначение создаваемых систем. Внесения изменений в один или несколько базовых параметров приводит к необходимости изменения значительного числа параметров, а также проведения повторной проверки правильности и адекватности новых значений величин, определяющих вид создаваемого объекта. В работе рассматривается методика проектирования параметризованных биомеханических систем, позволяющая повысить точность и сократить время проектирования новых систем.

Исследования, проводимые в области биомеханики, охватывают различные уровни организации живой материи: ткани, органы, системы органов и др. Наибольший интерес при проведении исследований в этой области представляет описание механических явлений, происходящих в тканях и системах человека. В настоящее время выделяется ряд основных направлений, по которым происходит развитие биомеханики: медицинская биомеханика, исследующая причины, последствия и способы профилактики травматизма, прочность опорно-двигательного аппарата, вопросы протезостроения; инженерная биомеханика, связанная с роботостроением; эргономическая биомеханика, изучающая взаимодействие человека с окружающими предметами с целью их оптимизации. Различные области биомеханики исследуют поведение специализированных биомеханических систем [1].

Биомеханической системой (БМС) будем называть систему взаимодействующих биологических и технических объектов. Основной характеристический признак системы определяется временем взаимодействия элементов между собой. На основе этого признака можно выделить два класса БМС: постоянные и временные. Наиболее часто постоянные биомеханические системы используются для замещения полностью утраченных функций биологических составляющих системы. Ярким примером класса постоянных БМС являются различного вида экзо- и эндопротезы. Использование постоянных БМС подразумевает невозможность восстановления утраченных функций биологических составляющих системы.

В отличие от постоянных БМС, временные БМС позволяют полностью или частично заменить функции биологических элементов. К временным БМС относятся зубные скобы, лангеты, чрескостные аппараты. Постоянное увеличение сферы применения биомеханических систем приводит к необходимости решения проблемы совершенствования методов их проектирования, которая имеет важное социально-экономическое значение и обеспечивает сокращение сроков и улучшение исходов лечения. Для выбора конкретной реализации БМС необходимо перебрать достаточно большое количество вариантов стандартных реализаций. Кроме того, в процессе выбора системы происходит постоянное уточнение исходных данных, параметров конструкции, что может потребовать заново выполнить расчет параметров системы. Этот процесс может занимать большое количество времени и задерживать выпуск конкретной реализации системы. Для решения существующей проблемы может быть использован метод параметризации биомеханической системы. Этот метод позволяет существенно повысить эффективность процесса разработки различных реализаций БМС [2; 3].

В процессе работы с расчетной моделью БМС необходимо учитывать более десятка параметров. На основе этих параметров производится расчет значительного числа величин,

определяющих вид конкретной реализации БМС. Внесения изменений в один или несколько базовых параметров приводит к необходимости изменения значительного числа величин, а также проведения повторной проверки правильности и адекватности новых значений величин, определяющих вид БМС. Необходимо отметить, что внесение изменений в базовые параметры системы является стандартным явлением, обусловленным особенностями применения конечного продукта. Параметризация биомеханических систем предполагает замену числовых констант на математические выражения, а также выявление закономерностей между этими параметрами [4–7]. Использование параметризованной модели позволяет сократить время, необходимое на внесение изменений в модель, а также повысить точность модели за счет уменьшения количества контролируемых параметров. Для подготовки параметризованной модели требуется большее количество времени, чем для создания обычной. Рассмотрим возможности применения различных типов параметризации при проектировании БМС на примере проектирования чрескостных аппаратов.

Для того, чтобы определить возможность применения различных типов параметризации, необходимо последовательно рассмотреть процесс создания аппарата. Основой для создания новой реализации чрескостного аппарата является функциональная схема. Функциональная схема определяется назначением аппарата. Результаты анализа методов применения чрескостных аппаратов позволяют выделить две основные функции аппарата: устранение ротационной или угловой деформаций. Методики устранения каждого вида деформаций являются взаимно независимыми, поэтому конструктивные особенности, реализуемые в системе в зависимости от функционального назначения аппарата, не являются противоречащими друг другу. Благодаря этому можно реализовать одновременно все конструктивные особенности аппарата. Выбор функционального назначения аппарата является основным этапом проектирования будущей реализации системы. Для устранения угловой деформации в аппарат вводятся шарнирные опоры, и производится выбор схемы устранения угловой деформации. В соответствии со стандартными кинематическими схемами устранения угловой деформации возможно применение одно- и двухшарнирной схемы. В случае устранения ротационной деформации выбирается кольцо, на котором крепится механизм вращения спиц, обеспечивающий устранение ротационной деформации. В случае устранения угловой деформации используется 2 опоры, при проведении ротационного смещения – 3 опоры.

Таким образом, функциональное назначение аппарата определяет дерево построения модели. В данном дереве могут быть перечислены все вспомогательные элементы, которые используются при создании образца, а так же определяется порядок их создания. Для моделирования данных операций может быть использована методика иерархической параметризации. Применение данного вида параметризации позволяет запоминать не только порядок создания различных элементов, но так же иерархию между элементами модели [4–7]. Использование иерархической параметризации позволяет производить замену как отдельных элементов, так и целых узлов. При этом производится автоматический перерасчет связей между элементами. Необходимо отметить, что иерархическая параметризация позволяет использовать эскизы отдельных функциональных элементов, учитывая их базовые параметры и не определяя внутреннего строения. Эта особенность может быть использована, например, при проектировании шарнирных узлов.

При проектировании чрескостного аппарата основные параметры аппарата определяются пространственным положением контрольных точек тела пациента, для которого подготавливается аппарат. К базовым параметрам аппарата относятся: внутренний диаметр колец, положение верхнего и нижнего колец. В связи с тем, что конкретные значения этих параметров становятся известными только на этапе апробации модели, можно либо использовать усредненные значения, либо использовать вариационную параметризацию основных параметров аппарата. Использование вариационной модели позволяет существенно расширить иерархическую модель, применяемую при проектировании функциональной схемы аппарата.

После определения геометрических размеров аппарата производится предварительная подборка реализаций деталей в зависимости от базы данных типоразмеров деталей. На основе величины внутреннего диаметра опоры необходимо подобрать элементы, из которых оно будет собрано. В соответствии с классификацией деталей аппарата, кольцо может быть собрано из двух полуколец или двух дуг. В зависимости от требований лечащего врача, выбирается реализация детали, наиболее полно удовлетворяющая геометрическим параметрам аппарата. На основе расстояния между опорами и наличия шарнирного крепления определяется тип стержней,

используемых для крепления опор. Количество требуемых стержней определяется кинематической схемой аппарата.

Выбор элементов на основе базы типоразмеров элементов соответствует применению методики табличной параметризации системы. Основным недостатком данного вида параметризации является невозможность изменения геометрических параметров элементов. Для устранения этого недостатка необходимо использовать геометрическую параметризацию отдельных элементов. Для этого каждый конструктивный элемент представляется в виде совокупности элементов построения и элементов отображения. Элементы построения определяют параметрические связи. При этом одни элементы построения могут зависеть от других. Изменение значения этих параметров приводит к изменению представления элемента. Применение геометрической параметризации позволяет более гибко редактировать отдельные элементы модели. Это является обязательным условием при создании различных видов БМС, учитывающих анатомические особенности пациентов, для которых она проектируется.

После первичной компоновки и расчета основных параметров аппарата необходимо провести предварительный контроль адекватности собранной модели. Для реализации этой функции на основе функциональной схемы выбранных элементов рассчитывается возможность крепления стержней, колец и базовых элементов. Учитываются особенности строения отдельных элементов. Так, например, в полукольцах, в отличие от дуг, используется один ряд креплений. Также, при выборе точек крепления необходимо учитывать, что проекции мест крепления одного стержня на обоих опорах должны совпадать. Определение базовых точек крепления накладывает существенные ограничения на места крепления второстепенных элементов. Для проведения такого анализа необходимо проверить все взаимосвязи между элементами. Использование дерева построения модели позволяет сократить глубину поиска взаимосвязей между элементами, а также ускорить этот процесс за счет использования специализированных методов работы с «деревьями».

После определения возможности крепления базовых элементов производится вторичная компоновка. Для обеспечения функций аппарата необходимо правильно выбрать реализацию базовых узлов. На данном этапе, определяется строение дополнительных узлов, описанных в виде эскизов на этапе определения функциональной схемы аппарата. Узлы, описанные совокупностью базовых параметров, подлежат табличной параметризации. Т.е. на основе базы данных типовых функциональных узлов аппарата производится поиск реализаций узлов для шарнирного соединения стержней, винтовых пар, обеспечивающих вращение спиц при устранении ротационного смещения и т.д. Так же производится определение индивидуальных размеров дополнительных элементов, из которых состоят базовые узлы.

Рассмотренная методика проектирования параметризованных биомеханических систем позволяет существенно повысить точность проектирования и сократить время проектирования БМС, а также устранить вероятность получения ошибочных значений в процессе изменения базовых параметров системы. Данная методика основана на параметризации чрескостного аппарата с использованием иерархической, вариационной и геометрической типов параметризации. Разработанная методика может применяться для проектирования различных видов постоянных и временных биомеханических систем, учитывающих особенности индивидуального строения биологических составляющих систем [8; 9].

Список литературы

1. Бернштейн, Н.А. Общая биомеханика (Основы учения о движениях человека) / Н.А. Бернштейн. – М. : Изд. РИО ВЦСПС, 1996.
2. Половинкин, А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение : монография / А.И. Половинкин. – М. : Информэлектро, 1991.
3. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / Под. ред. А.И. Половинкина – М. : Радио и связь, 1981. – 344 с.
4. Ильин, В.А. Аналитическая геометрия / В.А. Ильин, Э.Г. Позняк. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 240 с.
5. Кудрявцев, Л.Д. Курс математического анализа / Л.Д. Кудрявцев. – М. : Дрофа. – 570 с.
6. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М. : Мир, 2001.
7. Самарский, А.А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.

8. Воробьев, А.А. Индивидуальное компьютерное моделирование голени с помощью современных методов диагностики для нужд ортопедической косметологии / А.А. Воробьев, А.В. Петрухин, М.Е. Егин, С.В. Поройский, А.С. Баринов, А.В. Золотарев // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 12–13.

9. Воробьев, А.А. Новый программный продукт в индивидуальном компьютерном моделировании / А.А. Воробьев, А.В. Петрухин, М.Е. Егин, С.В. Поройский, А.С. Баринов, А.В. Золотарев // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 11–12.

© А.В. Петрухин, А.В. Золотарев, 2009