

Компьютерная биомеханика

Прежде всего, что же означает само слово «биомеханика», слово, которое так часто встречается в названиях конференций и журналов, звучит из уст представителей самых разных профессий: медиков, биологов, механиков, математиков, инженеров. Слово биомеханика появилось очень давно,

когда мыслители древности стали задаваться вопросами: «как летает птица?» или «как плавает рыба?», имея в виду осуществить давнюю мечту человечества – научиться летать как птицы и плавать как рыбы. Древние учёные при этом наивно полагали, что то, как движется сам человек, им понятно. Именно поэтому изначально смысл слова «биомеханика» заключался в изучении движения живых организмов с точки зрения механики. Сам человек при этом из этого рассмотрения исключался.

Отдельные попытки перейти к изучению биомеханики человека наталкивались, особенно в средние века, на порицание и гонение со стороны церкви и тормозились господствовавшими в то время философскими представлениями. Достаточно сказать, что в трудах известных ученых можно было встретить утверждения

о том, что движения человека, определяемые его волей (или волей божьей), не обязаны подчиняться законам механики! Это заблуждение продержалось достаточно долго и наложило свой отпечаток на первоначальный этап становления биомеханики.

Как это часто бывает, необходимость решения практических задач преодолела философские каноны, частично разрушая их, частично обходя их стороной. Такие практические задачи стали возникать, прежде всего, перед медиками. Без мало-мальски грамотного понимания механики движения, как человека в целом, так и отдельных органов и систем (легких, сердца, кро-



XV Международный конгресс по биомеханике. На тренировочном стенде для спортивной стрельбы.



веносных сосудов и т.д.) невозможно было объяснить функционирование человеческого организма, объяснить возникновение многих заболеваний и определить способ их решений. Сходные задачи возникали и при изучении спортивных движений, сначала лишь для объяснения механизма того или иного движения, а потом и для их совершенствования.

В результате именно задачи медицинской и спортивной практики определили следующий этап становления биомеханики как науки и как образовательной дисциплины. В медицинских и спортивных вузах появились кафедры биомеханики, а в учебных планах – дисциплина «биомеханика». Конечно, медицинские и спортивные учебники или разделы учебников, посвященные биомеханике, не всегда были написаны грамотно с точки зрения биомеханики, ведь их писали квалифицированные биологи, физиологи, анатомы, которые в механике все же не были специалистами.

Эту ситуацию изменил следующий этап – этап бурного развития биомеханики, начало которого пришлось на 50-е и 60-е годы теперь уже прошлого столетия. Этот этап характеризовался, с одной стороны, возникновением большого количества задач, в самых разных областях, для решения которых требовалось знание биомеханики. С другой стороны, в решение этих задач был вовлечен значительный контингент механиков, математиков, инженеров. Что же это были за задачи?

Если говорить о медицине, то она подошла к разрешению таких проблем, где отрывочными знаниями в области механики и математики уже не обойтись. Так, для создания протеза конечности, который хоть как-то восполнял бы утраченную функцию, можно было обойтись знаниями анатомии и инженерной интуицией, но для создания протеза аортального клапана сердца нужно было иметь не только качественное, но и количественное описание работы сердца и динамики крови. Нужны были уравнения, описывающие механику процесса, и нужны были достаточно точные решения этих уравнений. То же самое можно сказать о любой задаче эндопротезирования. Да и к протезам конечностей стали предъявляться новые требования. Нужны были протезы, которые не просто помогают инвалиду в быту, но возвращают его к полноценному труду, позволяют ему заниматься спортом. Это потребовало разработки новых технических конструкций и новых систем управления. Кстати, известный во всем мире аппарат Илизарова тоже не смог бы появиться на свет без точного инженерного расчета. Однако, в отличие от протезов, аппарат Илизарова предназначен для лечения травмы, а значит, для правильного его применения требуется знания о процессе восстановления костной ткани, и опять же, знания не только качественные, но и количественные. К близким задачам приводит и изучение развития опухолей. Всё это способствовало формированию специального раздела биомеханики – «биомеханика роста», раздела, аналога которому в традиционной механике не существует.

Что касается спортивных задач, то они тоже вышли на другой уровень, а именно, появилась потребность не только улучшать те или иные движения, но и синтезировать принципиально новые спортивные движения. Так в одной из лабораторий и родился в свое время новый способ прыжка в высоту – спиной вперёд.

Даже перечисленных проблем было бы достаточно, чтобы вдохнуть в биомеханику новую волну и вывес-

ти её на новый уровень развития. Однако так получилось, что примерно в те же годы потребность в биомеханике возникла еще в ряде отраслей. Это были отрасли, в которых работали инженеры, математики и механики, отрасли, где создавались новые виды техники, управляемой человеком. При этом управление той или иной машиной часто было связано с вредными механическими воздействиями на человека, как правило, вибрационными или ударными или теми и другими вместе. Такие воздействия в зависимости от интенсивности приводили к дискомфорту, к снижению работоспособности, к профессиональным заболеваниям и даже к травмам, иногда со смертельным исходом. Причем чем мощнее создавалась машина, тем более вредным оказывалось воздействие на человека-оператора. Примеров здесь очень много: вибрация и удары на гусеничных транспортных средствах сельскохозяйственного, строительного и военного назначения, вибрация на вертолётах, вибрация на космических кораблях на этапе запуска и ударные воздействия при приземлении, вибрационные и ударные воздействия, сопровождающие многие технологические процессы на производстве.

Сюда же следует отнести проблему защиты человека в случае аварии и разработку средств аварийного спасения. Это и аварии на транспорте, и катапультирование пилотов, и аварийная посадка космического корабля, и аварийные ситуации, возникающие при ведении военных действий.

Итак, за разработку систем аварийного спасения и систем защиты от вредных механических воздействий брались грамотные инженеры, механики, математики. У них был опыт создания систем виброзащиты, противоударной защиты, но применительно к приборам, а вот применительно к человеку решать подобные задачи они оказались не готовы. Достаточно сказать, что во всех расчетных схемах человек поначалу был представлен абсолютно твердым телом или, попросту говоря, болванкой с заданной массой, что не могло не сказаться на качестве результата и часто приводило к печальным последствиям.

Стоит вспомнить, сколько травм, в том числе и смертельных, получили пилоты при катапультировании. Катапультирующие устройства, решая, казалось бы, свою основную задачу по выбросу пилота в нужном направлении на нужное расстояние от летательного аппарата, в то же время часто приводили к травмам позвоночника. Это происходило именно потому, что конструкторами не учитывались динамические свойства тела человека. То же самое можно сказать о первых ремнях безопасности на автомобилях. Уберегая водителя при столкновении автомобиля от удара о рулевую колонку (наиболее опасная травма), они в то же время травмировали грудную клетку.

Требовался новый подход, который опирался бы на знание динамики тела человека в условиях вибрационных и ударных воздействиях. Поэтому был развернут широкий фронт экспериментальных работ, результаты которых и послужили основой для первых механических и математических моделей тела человека. С помощью этих моделей некоторые задачи частично были решены. Уменьшилось количество травм при катапультировании, появились более совершенные ремни безопасности, подголовники, надувные мешки, утапливаемые рулевые колонки и т.д. Тем не менее,

существующие проблемы решены далеко не полностью, а к ним добавляются все новые и новые с каждым следующим шагом в развитии техники. Для их решения требуются новые математические модели, и одновременно возрастает требование к уровню их адекватности.

Особо нужно сказать ещё об одном направлении биомеханики, которое определяется не прикладными задачами, а фундаментальными исследованиями. Речь идёт о попытках проникнуть в тайны биологической подвижности, которые стали активно предприниматься начиная с двадцатых годов прошлого века при исследованиях сокращения скелетных мышц. Существенный прорыв здесь произошел в те же пятидесятые годы, когда появление электронной микроскопии позволило сформулировать ряд гипотез о механизме мышечного сокращения на молекулярном уровне. Подтвердить справедливость этих гипотез удалось только после того, как были построены соответствующие математические модели, которые связали процессы, происходящие на микроуровне, с наблюдаемым процессом сокращения изолированной скелетной мышцы. Были сделаны крупные шаги на пути проникновения в секреты биологической подвижности. Эти шаги были отмечены двумя Нобелевскими премиями, но, как это часто бывает, только взойдя на очередную вершину, ученые увидели, как много непокорённых вершин ещё впереди.

Что же определяет сегодняшнее состояние биомеханики и её завтрашний день? Какое бы направление из перечисленных выше мы ни взяли, везде сложилась сходная ситуация. Везде результаты были достигнуты во многом благодаря математическому моделированию. Первые математические модели были достаточно просты и допускали аналитическое исследование. Следующий шаг в совершенствовании математических моделей был бы невозможен без их компьютерной реализации, однако эта реализация носила пока ещё вспомогательный характер.

Сегодня положение меняется, и компьютерное моделирование становится всё чаще определяющим звеном в решении поставленной задачи, будь то модель тела человека в условиях катастрофы, модель протезирования тазобедренного сустава или модель молекулярных белковых структур, участвующих в процессе мышечного сокращения. Характерной чертой современных моделей является их сложная структура, число степеней свободы и количество варьируемых параметров достигает нескольких сотен.

В этой связи можно привести один пример. Современные требования к автомобильной продукции, выходящей на европейские дороги, содержат десятки нормативов, которые касаются не только безопасности водителя и пассажиров, но и безопасности пешеходов или велосипедистов в случае столкновения с автомобилем. Для выполнения этих требований на стадии проектирования автомобиля приходится моделировать столкновение автомобиля с пешеходом в самых разных ситуациях, при этом оптимизируется не только форма автомобиля, но и механические свойства корпуса, например, жесткость крышки капота. В этих условиях даже запись уравнений, описывающих процесс, оказывается невозможной без применения компьютерных технологий, которые, кстати говоря, иногда позволяют решать задачу и не записывая сами уравнения.

Всё это позволяет сегодня говорить о компьютерной биомеханике как о сложившемся понятии и как о области, в которой, в силу специфики факультета, могут преуспеть не только преподаватели, но и студенты, найдя применение своим знаниям как у нас в стране, так и за рубежом.

Это направление не только бурно развивается, но и продолжает расширять сферы своего влияния. Об этом свидетельствует, в частности, увеличивающееся с каждым годом количество международных конференций. Помимо регулярных конференций Европейского общества биомеханики и Международного общества биомеханики ежегодно проходит до десяти международных конференций по тем или иным разделам биомеханики, и в том числе по компьютерному моделированию в биомеханике. Количество зарубежных журналов по биомеханике и смежным с ней дисциплинам тоже перевалило за десяток.

Российские ученые занимают в этом процессе достойное место, имея по некоторым вопросам или даже разделам приоритетные позиции. Наши имена можно встретить в составе научных и программных комитетов международных конференций, в числе председателей секций этих конференций. Такая активность позволила, в частности, на прошедшей в сентябре 13-й Европейской конференции по биомеханике получить четыре гранта для молодых российских учёных и студентов (небывалое количество для одной страны).

У студентов нашего факультета есть все возможности приобщиться к этому процессу. На третьем курсе им предлагается курс по выбору «Механика живых систем», являющийся во многом вводным курсом, в котором студенты знакомятся с основными задачами биомеханики и методами их решения. В последующем они могут прослушать спецкурсы и спецсеминары, направленные на более детальное знакомство с компьютерной биомеханикой, такие как «Методы математического моделирования живых систем», «Моделирование биологической подвижности», «Решение задач оптимизации систем человек-машина». Наши студенты имеют возможность выбрать по этой проблематике курсовую и дипломную работу, продолжить обучение в аспирантуре с возможной стажировкой в одном из европейских вузов. В минувшем учебном году по этому направлению нашими аспирантами были защищены две кандидатские диссертации. Одна диссертация была выполнена на кафедре моделирования электромеханических и компьютерных систем (научный руководитель – проф. В.П.Трегубов) и посвящена моделированию работы мышц. Другая диссертация была выполнена на кафедре вычислительных методов механики деформируемого тела (научный руководитель – проф. Ю.М.Даль) и посвящена моделированию заболевания глаукомой. Есть у наших выпускников возможность продолжить обучение по компьютерной биомеханике и за рубежом. Очередная Нобелевская премия за достижения в этой области также ждёт своего героя. Так что в добрый путь!

**В.П.ТРЕГУБОВ, доктор физ.-мат. наук, профессор
кафедры компьютерного моделирования и
многопроцессорных систем, член Научного совета РАН
по биомеханике**