

Лекция №1

Цели и задачи Биомеханики

Цель биомеханики двигательных действий состоит с одной стороны, в повышении эффективности двигательных действий человека, а с другой – в предупреждении травм при выполнении двигательных действий и уменьшении их последствий.

Рассмотрим, как достигается **первая цель** – повышение эффективности двигательных действий человека.

Первая задача состоит в разработке биомеханических критериев и оценке двигательных действий спортсмена с точки зрения их эффективности в решении двигательной задачи.

Второй задачей является разработка новых вариантов техники и оценка их эффективности.

Третьей задачей является моделирование новых двигательных действий и оценка возможности их выполнения спортсменом.

Четвертой задачей является разработка биомеханически целесообразных тренажеров для занятий физической культурой и **спортом**.

Пятой задачей является разработка и улучшение снаряжения спортсмена, повышающего эффективность двигательных действий. Не менее важной целью биомеханики является предупреждение травм при выполнении двигательных действий и уменьшение их последствий.

Поэтому **шестой задачей**, которую помогает решить биомеханика, является оценка правильности существующей техники и выявление ошибок, которые могут привести к травмам.

Современный инвентарь, используемый в футболе и хоккее, а также в боксе, легкой атлетике и велоспорте также использует знания, накопленные биомеханикой.

Биомеханика как учебная дисциплина. Её цели и задачи

Биомеханика (от греч. «био» - жизнь и «механика» - орудие) возникла на стыке двух наук – биологии и механики. Таким образом, предметом биомеханики является *изучение механического движения живых самоорганизующихся систем и, прежде всего, человека*. Под самоорганизующейся системой понимают систему, обладающую способностью улучшать свою организацию, то есть совокупность связей между большим числом структурных элементов, определяющих функционирование системы в целом.

Рассмотрим биологические и механические явления в живых системах. Движения человека подчиняются всем законам и закономерностям, которые определяют на Земле движение любого материального тела – это и закон всемирного тяготения, и законы Ньютона, законы гидроаэромеханики, колебательные и волновые явления и т. д. Движения человека, как правило, очень сложны, поскольку его двигательный аппарат представляет собой механическую систему, состоящую из более чем 200 костей и нескольких сотен сухожилий, число мышц, обслуживающих движения, более 600. Всё это необходимо для того, чтобы обеспечить чисто механическое перемещение человека во внешней среде.

Работа мышц – это биологический процесс, при котором мышечные волокна должны быть активированы, чтобы они могли выполнить механическую работу по перемещению звеньев тела. Чтобы совершить работу, необходимо затратить энергию. В организме человека – это результат биохимических реакций. С механической точки зрения человек представляет собой систему, обладающую внутренним источником энергии, биологическим по происхождению. Чтобы мышцы сократились в необходимой последовательности и с определёнными усилиями и в результате создали требуемый механический эффект движения, ими надо управлять, что делают головной мозг и нервная система, функционирование которых имеет биологическую природу.

В каждом движении присутствуют ориентировочная, исполнительная и контрольная части. Исполнительная часть – это и есть механическое движение, которое изучают в биомеханике. Но оно всегда определяется психической и физиологической деятельностью мозга, обеспечивающей не только непосредственное управление движением, но и также ориентировочную и контрольную части двигательного действия по системам внутренней биологической обратной связи.

Спортивная биомеханика изучает двигательные действия человека при выполнении им спортивных упражнений. Спортивная биомеханика изучает движения человека в процессе выполнения физических упражнений. Это необходимо для обеспечения роста спортивных результатов вплоть до рекордного для конкретного спортсмена или определённого вида спорта. Биомеханические исследования выявляют помогающие или препятствующие факторы при совершенствовании в движениях; разработки новых видов инвентаря, тренажёров, спортивных снарядов и оборудования; предупреждения травм.

Основными задачами спортивной биомеханики являются:

- совершенствование спортивной техники, моделирование и конструирование её наиболее рациональных вариантов;
- биомеханический контроль техники отдельных спортсменов с целью исправления ошибок и повышения уровня спортивно-технического мастерства;
- выявления биомеханических закономерностей совершенствования двигательных действий;
- разработка биомеханически целесообразных тренажёров, совершенствование спортивного инвентаря.

В спорте и физическом воспитании обучают движениям и совершенствуют двигательные возможности человека. Следовательно, спортивная биомеханика является составной частью теории и методики спортивной тренировки и физического воспитания.

Этапы измерений

В исследовании какого-либо явления существуют три этапа:

1. Измерение механических характеристик.

Измерение механических характеристик осуществляется на основе описываемых в этой лекции методов. 2. Обработка результатов исследования.

В настоящее время для обработки результатов используют специальные компьютерные программы. Так. Например, компьютерная программа Video Motion, предназначенная для атлетизма, позволяет на основе данных видеосъёмки рассчитать

траекторию, скорость и ускорение движения любой точки тела спортсмена, в том числе и грифа штанги.

3. Биомеханический анализ и синтез.

На заключительном этапе измерений на основе полученных механических характеристик оценивается техника двигательных действий спортсмена и даются рекомендации по ее совершенствованию.

Основные понятия кинематики и кинематические характеристики

Кинематика – раздел механики, в котором изучается механическое движение, но не рассматриваются причины, вызывающие это движение. Описание движения как тела человека (его частей) в различных видах спорта, так и различных спортивных снарядов являются неотъемлемой частью спортивной биомеханики и в частности кинематики.

Время – одно из фундаментальных понятий. Можно сказать, что это то, что отделяет два последовательных события. Один из способов измерить время – это использовать любой регулярно повторяющийся процесс. В спорте используются специальные временные характеристики:

Момент времени (t) - это временная мера положения материальной точки, звеньев тела или системы тел. Моментами времени обозначают начало и окончание движения или какой либо его части или фазы.

Длительность движения (Δt) – это его временная мера, которая измеряется разностью моментов окончания и начала движения $\Delta t = t_{\text{кон.}} - t_{\text{нач.}}$

Темп движения (N) – это временная мера повторности движений, повторяющихся в единицу времени. $N = 1/\Delta t$; (1/с) или (цикл/с).

Ритм движений – это временная мера соотношения частей (фаз) движений. Он определяется по соотношению длительности частей движения.

Положение тела в пространстве определяют относительно некоторой системы отсчёта, которая включает в себя тело отсчёта (то есть относительно чего рассматривается движение) и систему координат, необходимую для описания на качественном уровне положение тела в той или иной части пространства.

С телом отсчёта связывают начало и направление измерения. Например, в целом ряде соревнований началом координат можно выбрать положение старта. От него уже рассчитывают различные соревновательные дистанции во всех циклических видах спорта. Тем самым в выбранной системе координат «старт – финиш» определяют расстояние в пространстве, на которое переместится спортсмен при движении. Любое промежуточное положение тела спортсмена во время движения характеризуется текущей координатой внутри выбранного дистанционного интервала.

Для точного определения спортивного результата правилами соревнований предусматривается по какой точке (пункт отсчёта) ведётся отсчёт: по носку конька конькобежца, по выступающей точке грудной клетки бегуна-спринтера, или по заднему краю следа приземляющегося прыгуна в длину.

В некоторых случаях для точного описания движения законов биомеханики вводится понятие материальная точка.

Материальная точка – это тело, размерами и внутренней структурой которого в данных условиях можно пренебречь.

Движение тел по характеру и интенсивности могут быть различными. Чтобы охарактеризовать эти различия, в кинематике вводят ряд терминов, представленных ниже.

Траектория – линия, описываемая в пространстве движущейся точкой тела. При биомеханическом анализе движений прежде всего рассматривают траектории движений характерных точек человека. Как правило, такими точками являются суставы тела. По виду траектории движений делят на прямолинейные (прямая линия) и криволинейные (любая линия, отличная от прямой).

Перемещение – это векторная разность конечного и начального положения тела. Следовательно, перемещение характеризует окончательный результат движения.

Путь – это длина участка траектории, пройденной телом или точкой тела за выбранный промежуток времени.

Лекция №12

Биомеханический анализ движений человека

3.1. Понятие о биомеханическом анализе

Биомеханический анализ движений человека всегда начинается с определения различных характеристик движущегося тела. Этими характеристиками могут быть различные механические характеристики (например, перемещение, скорость, ускорение) и биологические характеристики (сила тяги мышцы, время суммарной электрической активности мышцы). Некоторые из этих характеристик определяются экспериментально, а остальные – расчетным путем. В биомеханике широко используются механические характеристики движущегося тела. Прежде чем перейти к описанию механических характеристик введем ряд понятий, характеризующих механическое движение тел.

3.2. Механическое движение тела

Механическое движение тела – это изменение положения тела в пространстве относительно других тел. Механическое движение является неотъемлемым компонентом функционирования человеческого организма. Чтобы определить положение какого-либо тела в пространстве, прежде всего, нужно выбрать тело отсчета.

Скалярная величина (от лат. *scalaris* — ступенчатый) в механике – величина, каждое значение которой может быть выражено одним числом. То есть скалярная величина определяется только своим значением, в отличие от векторной, которая кроме значения имеет направление. К скалярным величинам относятся длина, площадь, время, температура и т. д.

Тело человека – это не материальная точка, а очень сложная биомеханическая система переменной конфигурации. При изучении кинематики движений человека мы можем исследовать движение отдельных точек его тела (например, центров суставов) и производить анализ и оценку их движений с помощью механических характеристик. При изучении движений отдельных звеньев тела человека мы можем вычленивать и наблюдать наиболее простые формы движения тела – **поступательное и вращательное**.

Поступательным движением тела называется такое движение, при котором всякая прямая, проведенная в этом теле, перемещается, оставаясь параллельной самой себе. Поступательное движение не следует

смешивать с прямолинейным. При поступательном движении тела траектории его точек могут быть как прямолинейными, так и криволинейными (например, траектория полета ядра или траектория ОЦТ тела человека в полетной фазе бегового шага).

При поступательном движении тела все его точки движутся по одинаковым и параллельно расположенным траекториям и имеют в каждый момент времени равные скорости и равные ускорения. Поэтому поступательное движение тела вполне определяется движением какой-либо его одной точки, а, значит, задача изучения поступательного движения тела сводится к изучению движения любой его точки.

Вращательным движением тела называется такое движение, при котором какие-либо две его точки остаются все время неподвижными. Прямая, проходящая через эти точки, называется осью вращения. Траекторией движения любой точки тела при вращательном движении будет окружность.

3.3. Классификация механических характеристик движения человека

Исследуя движения человека, измеряют количественные показатели механического состояния тела человека или его движения, а также движения звеньев тела, то есть регистрируют механические характеристики движения.

Механические характеристики движения человека – это показатели и соотношения, используемые для количественного описания и анализа двигательной деятельности человека.

Механические характеристики делятся на две группы:

- *кинематические* (описывают внешнюю картину движений);
- *динамические* (несут информацию о причинах возникновения и изменения движения человека, а также показывают, как меняются виды энергии при движениях и происходит сам процесс изменения энергии).

3.4. Кинематические характеристики движения человека или спортивных снарядов

Кинематические характеристики движения человека делятся на следующие группы:

- *пространственные,*

- *временные,*
- *пространственно-временные.*

3.4.1. Пространственные характеристики

Для простоты, будем считать, что тело человека является твердым телом. Тогда положение тела в пространстве будут характеризовать следующие пространственные характеристики:

- *координаты тела;*
- *перемещение тела;*
- *траектория тела.*

Координаты тела – это пространственная мера местоположения тела относительно системы отсчета.

Положение тела в пространстве может быть описано с помощью декартовых и полярных координат. Для определения положения точки на плоскости в декартовой системе координат достаточно двух линейных координат: x и y , в пространстве – трех: x , y , z .

Перемещение тела (ΔS) – вектор, соединяющий начальное положение точки (тела) с его конечным положением. При прямолинейном движении перемещение тела совпадает с траекторией движущегося тела. При криволинейном – не совпадает.

Траектория движения тела – это геометрическое место положений движущегося тела в рассматриваемой системе координат.

В тяжелой атлетике одним из критериев мастерства является траектория движения штанги. **Путь** – физическая величина (скалярная), численно равная длине траектории движения точки или тела.

3.4.2. Временные характеристики

Временные характеристики раскрывают движение во времени. К временным характеристикам относятся:

- *длительность движения тела,*
- *темп движений,*
- *ритм движений.*

Длительность движения тела – это временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения тела.

Фаза – это часть движения, в течение которой решается самостоятельная двигательная задача.

Например, в беге существуют фаза опоры и фаза полета. Каждая из этих фаз характеризуется определенной длительностью.

Темп движений определяется количеством движений звена человека (например руки или ноги) в единицу времени. Эта характеристика определяется для повторных (циклических движений). Темп движений – величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность движений, тем ниже темп. При педалировании в максимальном темпе спортсмен выполняет три цикла в секунду, при беге – 2,8 циклов в секунду, при беге на коньках – 1,8 циклов в секунду.

В атлетизме темп выполнения силовых упражнений существенно влияет на гипертрофию скелетных мышц. Установлено, что эксцентрические упражнения, выполняемые в высоком темпе, оказывают большее повреждающее действие на скелетные мышцы по сравнению с умеренным темпом. Вследствие этого степень гипертрофии мышц при выполнении силовых упражнений в высоком темпе будет больше.

Ритм движений – временная мера соотношения частей (фаз) движения.

Пример. В беге отношение фазы опоры к фазе полета характеризует ритм движений бегуна. Это отношение называется *ритмическим коэффициентом*. У детей 5-6 лет ритмический коэффициент равен двум, то есть фаза опоры значительно превышает фазу полета. У взрослых мужчин 20-29 лет это значение ритмического коэффициента равно 1,4. У сильнейших спринтеров этот показатель равен 0,8.

Во многих видах спорта, например, толкании ядра, барьерном беге ритм является важнейшим критерием технического мастерства спортсмена.

3.4.3. Пространственно-временные характеристики

К пространственно-временным характеристикам относят:

- *скорость тела;*
- *ускорение тела.*

Поступательное движение тела

Скорость тела (V) – это векторная величина, определяющая быстроту и направление изменения положения тела в пространстве с течением времени. Скорость измеряется отношением перемещения тела (ΔS) к затраченному времени $V = \Delta S / \Delta t$.

В спорте скорость движения человека или снаряда является критерием спортивного мастерства. Существует ряд видов спорта, в которых чем выше скорость перемещения спортсмена, тем выше результат, табл. 3.1.

Ускорение тела (a) – это вектор, характеризующий быстроту и направление изменения скорости тела.

В атлетизме ускорение штанги регистрируется с помощью специальных датчиков-акселерометров, устанавливаемых на грифе штанги. По данным Н.Б. Кичайкиной, Г.А. Самсонова (2010) максимальное ускорение штанги при подъеме из приседа со штангой массой 90 кг (60% от 1ПМ) составляет 6,0 м/с². Если масса штанги увеличивается до 120 кг (80% от 1 ПМ) значение максимального ускорения штанги снижается до 3,5 м/с².

Можно также определять ускорение движения штанги расчетным путем. В программе Video Motion, предназначенной для атлетизма, рассчитываются: перемещение, скорость и ускорение штанги по данным видеосъемки.

Ускорение может являться одним из критериев спортивного мастерства спортсмена. Способность быстро набирать скорость, то есть развивать большое ускорение, характеризует спортсменов высокой квалификации.

Вращательное движение тела

Мерой изменения положения тела при вращательном движении тела является угол поворота ϕ . Чтобы знать положение тела во вращательном движении в любой момент времени, надо знать зависимость угла поворота ϕ от времени: $\phi = \phi(t)$.

Данное уравнение выражает закон вращательного движения тела. Основными кинематическими характеристиками вращательного движения тела являются его **угловая скорость (ω)** и **угловое ускорение (e)**.

При вращательном движении тела разные его точки имеют различные линейные скорости и ускорения. Линейная скорость точки вращающегося тела численно равна произведению угловой скорости на радиус вращения и направлена по касательной к окружности вращения (перпендикулярно радиусу вращения R): $V = \omega R$.

Таким образом, линейные скорости точек вращающегося тела пропорциональны их расстояниям от оси вращения (чем дальше удалена точка от оси вращения, тем большую линейную скорость она имеет).

Пример. При выполнении гимнастом большого оборота на перекладине линейная скорость точки, расположенной в области тазобедренного сустава составляет 10,8 м/с, а точки, расположенной в области голеностопного сустава – 18,0 м/с.

В таблице 3.2. представлена взаимосвязь кинематических характеристик при поступательном и вращательном движениях тела.

Таблица 3.2. Взаимосвязь показателей при поступательном и вращательном движении тела (Н.Б. Кичайкина, 2000)

3.5. Классификация динамических характеристик движений человека

Скорость движений человека и движимых им тел изменяются под действием сил. Чтобы раскрыть механизм движений (причины их возникновения и направленность их изменений) исследуют динамические характеристики. К ним относятся:

- **инерционные характеристики** (особенности тела человека и движимых им тел);
- **силовые** (особенности взаимодействия звеньев тела и других тел);
- **энергетические** (характеристики состояния систем).

3.5.1. Инерционные характеристики тела

Разные тела изменяют скорость под действием сил по-разному. Это свойство тел называется инертностью.

Инертность – свойство физических тел, от которого зависит величина получаемых ускорений при их взаимодействии.

Инерционные характеристики – это характеристики тела или системы тел. Среди инерционных характеристик различают: **массу тела** и **момент инерции тела**.

Масса тела (m) – мера инертности тела при *поступательном* движении. Она измеряется отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению: $m = F/a$,

где: m – масса; F – сила; a – ускорение.

Масса тела зависит от количества вещества, которым обладает тело и характеризует его свойство – как именно приложенная сила может изменить его движение. Одна и та же сила вызовет большее ускорение у тела с меньшей массой, чем у тела с большей массой.

В атлетизме при тренировке спортсмены используют штангу различной массы. Из личного опыта им известно, что придать штанге, имеющей большую массу ускорение значительно сложнее, чем штанге маленькой массы.

В случае вращательного движения мало знать массу тела, важно еще знать распределение масс относительно оси вращения. Например, фигурист при

вращении прижимает руки к туловищу, а затем разводит их в стороны. Общая масса системы при этом не изменяется, а распределение масс становится другим, и это сказывается на движении, оно замедляется (Н.Б. Кичайкина, 2000). В механике существует характеристика, определяющая меру инертности тела во вращательном движении – момент инерции тела.

Момент инерции тела (J) – мера инертности твердого тела при вращательном движении.

Момент инерции зависит от распределения массы относительно оси вращения. Его достаточно легко найти для простых геометрических фигур (шар, цилиндр и др.), но определить его в многозвенной системе тела человека при различных позах непросто.

Лекция №8

Поступательное движение твердого тела:

До сих пор мы изучали движения одной материальной точки. Перейдем теперь к изучению движения твердого тела. Начнем с изучения простого вида движения тела—поступательного.

Движение тела называется поступательным, если любая прямая, неизменно связанная с телом, перемещается параллельно самой себе. Примерами поступательного движения тела могут служить движение кузова вагона на прямолинейном участке пути, движение поршня внутри цилиндра и пр.

При поступательном движении тела все его точки описывают конгруэнтные кривые, имеют равные скорости, а следовательно, и равные ускорения.

Наиболее простым движением твердого тела является поступательное движение. Соединим две какие-либо точки тела отрезком прямой. При поступательном движении тела этот прямолинейный отрезок передвигается параллельно самому себе, не изменяя своего направления. Движение тела называют поступательным, если каждая проведенная в теле прямая сохраняет свое направление.

Для выяснения вопроса, является ли данное движение поступательным, нет необходимости проводить в теле множество прямых и проверять, не меняет ли каждая из них своего направления во время движения тела. Движение тела вполне определяется движением трех его точек, не лежащих на одной прямой. Следовательно, нужно провести минимум две прямые; конечно, эти прямые должны быть непараллельны между собой.

Из определения видно, что поступательное движение может совершать только тело. Одна точка не может двигаться поступательно. Вместе с тем поступательное движение твердого тела вполне характеризуется движением любой из его точек.

Если тело движется поступательно, то все его точки описывают одинаковые траектории.

Поступательное движение иногда различают по траекториям, описываемым точками тела. Так, например, говорят, что спарник паровой машины, установленной на фундаменте, совершает круговое поступательное движение; это означает, что все точки спарника описывают одинаковые окружности. Говорят, например, что поршень совершает прямолинейное поступательное движение; это означает, что все точки поршня описывают одинаковые и параллельные прямолинейные траектории.

Если тело движется поступательно, то все его точки имеют одинаковые скорости

Одинаковость скоростей не следует понимать как их постоянство, как неизменяемость во времени. Если тело движется поступательно, то в данное

мгновение скорости всех точек тела одинаковы; с течением же времени скорости могут измениться. Но если изменится скорость одной точки, то на столько же изменятся скорости всех других точек тела, и они опять-таки останутся одинаковыми.

Одинаковость скоростей всех точек тела — необходимый, но недостаточный признак поступательного движения тела.

Если тело движется поступательно, то все его точки имеют одинаковые ускорения

Лекция №8

Поступательное движение твердого тела:

До сих пор мы изучали движения одной материальной точки. Перейдем теперь к изучению движения твердого тела. Начнем с изучения простого вида движения тела—поступательного.

Движение тела называется поступательным, если любая прямая, неизменно связанная с телом, перемещается параллельно самой себе. Примерами поступательного движения тела могут служить движение кузова вагона на прямолинейном участке пути, движение поршня внутри цилиндра и пр.

При поступательном движении тела все его точки описывают конгруэнтные кривые, имеют равные скорости, а следовательно, и равные ускорения.

Наиболее простым движением твердого тела является поступательное движение. Соединим две какие-либо точки тела отрезком прямой. При поступательном движении тела этот прямолинейный отрезок передвигается параллельно самому себе, не изменяя своего направления. Движение тела называют поступательным, если каждая проведенная в теле прямая сохраняет свое направление.

Для выяснения вопроса, является ли данное движение поступательным, нет необходимости проводить в теле множество прямых и проверять, не меняет ли каждая из них своего направления во время движения тела. Движение тела вполне определяется движением трех его точек, не лежащих на одной прямой. Следовательно, нужно провести минимум две прямые; конечно, эти прямые должны быть непараллельны между собой.

Из определения видно, что поступательное движение может совершать только тело. Одна точка не может двигаться поступательно. Вместе с тем поступательное движение твердого тела вполне характеризуется движением любой из его точек.

Если тело движется поступательно, то все его точки описывают одинаковые траектории.

Поступательное движение иногда различают по траекториям, описываемым точками тела. Так, например, говорят, что спарник паровой машины, установленной на фундаменте, совершает круговое поступательное движение; это означает, что все точки спарника описывают одинаковые окружности. Говорят, например, что поршень совершает прямолинейное поступательное движение; это означает, что все точки поршня описывают одинаковые и параллельные прямолинейные траектории.

Если тело движется поступательно, то все его точки имеют одинаковые скорости

Одинаковость скоростей не следует понимать как их постоянство, как неизменяемость во времени. Если тело движется поступательно, то в данное

мгновение скорости всех точек тела одинаковы; с течением же времени скорости могут измениться. Но если изменится скорость одной точки, то на столько же изменятся скорости всех других точек тела, и они опять-таки останутся одинаковыми.

Одинаковость скоростей всех точек тела — необходимый, но недостаточный признак поступательного движения тела.

Если тело движется поступательно, то все его точки имеют одинаковые ускорения

Лекция №4

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Динамика изучает движение с точки зрения причины, вызывающей или изменяющей это движение. Масса – это мера инертности тела при поступательном движении. Масса измеряется отношением величины приложенной силы к вызываемому ею ускорению. Масса тела характеризует, как именно приложенная сила может изменить движение тела. Момент инерции – это мера инертности тела при вращательном движении. Сила – векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия одного тела на другое в данный момент времени. Численно она определяется произведением массы тела и его ускорения, вызванного данной силой: $F = ma$. Если на тело одновременно действуют несколько сил, то под силой понимается их векторная сумма. Момент силы – это мера вращающего действия силы на тело. Чтобы сила могла проявить свое вращающее действие, она должна иметь плечо, т.е. не должна проходить через ось вращения. Момент силы считают положительным, когда сила вызывает поворот тела против часовой стрелки, и отрицательным – по часовой стрелке. Определение силы или момента силы, если известна масса или момент инерции, позволяет узнать только ускорение, т.е. как быстро изменяется скорость. Но необходимо еще узнать, на сколько именно изменится скорость. Для этого должно быть известно, как долго была приложена сила. Количество движения (импульс) – это мера поступательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения. Кинетический момент (момент количества движения) – это мера вращательного движения тела, характеризующая его способность передаваться другому телу в виде механического движения.

Законы динамики

Первый закон Ньютона устанавливает причину, вызывающую движение или изменяющую его скорость. Такой причиной является взаимодействие тела с другими телами. Первый закон Ньютона: существуют системы отсчета, относительно которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действие их компенсируется. Мерой взаимодействия тел, в результате которого изменяется характер их движения, является сила. Если тело приобрело ускорение, то причину следует искать в действии силы со стороны другого тела. Например, при выполнении прыжка в высоту вертикальная скорость тела спортсмена после отрыва от опоры до достижения наивысшего положения все время уменьшается. Причина этого – сила взаимодействия тела спортсмена и земли – сила земного тяготения. В гребле причиной и ускорения лодки, и ее замедления является сила сопротивления воды. В одном случае она, воздействуя на корпус лодки, замедляет движение, а в другом, взаимодействуя с веслом, увеличивает скорость судна.

Второй закон Ньютона устанавливает количественную связь между силой взаимодействия тел и приобретаемым ускорением. Гласит: ускорение, приобретаемое телом, пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе тела. Второй закон Ньютона для системы тел обычно

используют в следующей форме: изменение количества движений каждого тела равно суммарному импульсу действующих на систему внешних сил.

Третий закон Ньютона объясняет, как именно взаимодействуют тела. Третий закон Ньютона: при взаимодействии тел они действуют друг на друга с силой, одинаковой по величине, но противоположной по направлению. Например, толкатель ядра, разгоняя свой снаряд, действует на него с определенной силой F , одновременно такая же по величине, но противоположная по направлению сила действует на кисть спортсмена и через нее на все тело в целом. В биомеханике спортивных движений, как правило, учитывается только сила тяжести физического тела, поскольку величины гравитационных сил, возникающие между телами с массами, сравнимые с массой тела человека незначительны. Сила тяжести, действующая на тело человека, всегда направлена вниз и приложена в общем центре тяжести тела. Вес тела – сила воздействия тела на опору или подвес в результате гравитационного притяжения. Сила реакции опоры Сила реакции опоры – это мера противодействия опоры действия на нее тела, находящегося с ней в контакте (в покое или движении). Она равна силе действия тела на опору, направлена в противоположную сторону и приложена к этому телу. Человек, находясь на горизонталь

Лекция №7

Способы управления движениями вокруг оси

Способы управления движениями всей биомеханической системы вокруг осей в целом и для ее частей делятся на две группы: а) с изменением кинетического момента системы и б) с сохранением кинетического момента системы.

Для изменения кинетического момента системы необходимо приложение внешней силы. Используют следующие возможности: 1) приложение к системе момента внешней силы — внешний толчок без изменения позы, для чего необходим источник внешней силы — внешнее физическое тело (сила тяжести, действие среды, сила другого человека и др.); 2) изменение действия внешней силы путем активного изменения позы (например, изменения момента силы тяжести и момента инерции системы, достигаемые приближением тела к оси или отдалением от нее); 3) активное действие спортсмена (отталкивание или притягивание), создающее момент внешней силы (например, отталкивание при сальто, перевороте). В первом способе не требуется мышечной активности, вызывающей движение, спортсмену нужно только сохранить позу. Во втором способе именно мышечная активность спортсмена позволяет изменить и использовать механические условия движения вокруг оси. В третьем способе спортсмен сам создает необходимый момент внешней силы. Во всех случаях приложены к системе и изменяют ее движение внешние силы. Все эти способы применимы при опоре, а первый и в полете как в случае предварительного вращения, так и без него.

Для изменения движения биомеханической системы вокруг оси по принципу сохранения кинетического момента существуют способы управления: а) с изменением момента инерции всей системы и б) с созданием встречных движений частей системы.

В случае предварительного вращения, то есть когда кинетический момент системы не равен нулю, изменение момента инерции достигается изменением радиуса инерции. Широко известный прием — группирование — уменьшает момент инерции и увеличивает угловую скорость, разгруппирование производит прямо противоположный эффект. При отсутствии опоры движения группирования и разгруппирования всегда представляют собой встречные движения.

Способы, основанные на создании встречных движений частей системы, не требуют исходного кинетического момента. Их можно разделить на две группы. Во-первых, встречное простое вращение вокруг одной оси

посредством скручивания тела и его раскручивания вокруг продольной оси. Естественно, что эти движения имеют анатомически ограниченный размах. Во-вторых, встречные сложные вращения вокруг нескольких осей, создаваемые круговыми движениями — кружениями конечностей и изгибаниями туловища (например, при выполнении поворотов в прыжках в воду).

Скручивания и раскручивания могут выполняться и при опоре и без нее (в полете). Одни части тела поворачиваются в одну сторону, другие в это же время в противоположную. Ориентация в пространстве каждой из поворачивающихся частей изменяется, но общая ориентация всей системы в целом обычно сохраняется.

Кружение конечностей и изгибания туловища могут выполняться и порознь и совместно. В обоих случаях при достаточно интенсивном и длительном движении частей тела возможны существенные изменения ориентации всей системы (до 360° , 720° и более).

Угловое ускорение звена или всей системы зависит от соотношения приложенного к объекту момента внешней относительно него силы и его момента инерции относительно оси вращения. Значит, в создании углового ускорения могут быть использованы изменения момента внешней силы, момента инерции и того и другого одновременно.

Совершенно очевидно, что все способы изменения движения системы вокруг оси, вызываемые изменением позы тела, обусловлены работой внутренних сил системы, мышечными силами человека. Во всех случаях перемещения частей системы по радиусу относительно оси вращения изменяется момент инерции. Но сводить все эти способы только к влиянию изменения момента инерции не следует.

Дело в том, что с изменением конфигурации тела его момент инерции, радиус центра тяжести и приведенная длина маятника изменяются не одинаково (рис. 63). Поэтому в зависимости от характерных особенностей выполняемого упражнения изменение скорости вращения в движениях вокруг оси целесообразно делать выбранным способом в соответствующем месте траектории, т. е. в момент, наиболее пригодный для выполнения этой задачи данным способом. А для этого надо изучать в конкретных упражнениях условия, при которых более выгоден тот или иной способ влияния на вращение.

Таким образом, способы управления движениями биомеханической системы вокруг оси можно свести к следующим.

С изменением кинетического момента системы:

- 1) приложением внешней силы (импульса момента) ускорение или замедление вращения всего тела при сохранении позы;
 - 2) изменением условий действия внешней силы (приближение к закрепленной оси и отдаление от нее) ускорение или замедление вращения всего тела;
 - 3) активным созданием момента внешней силы (отталкивание от опоры или притягивание к ней) ускорение или замедление вращения всего тела.
- С сохранением кинетического момента системы:
- 4) группированием и разгруппированием (приближение к свободной оси и отдаление от нее) ускорение и замедление вращения всего тела;
 - 5) скручиванием и раскручиванием тела вокруг продольной оси (одновременный встречный поворот) изменение ориентации частей тела в пространстве;
 - 6) круговыми движениями конечностей и изгибаниями туловища создание сложного вращения всего тела.

В конкретных задачах и условиях их выполнения часто применяются сочетания разных способов изменения вращения биомеханической системы.

Лекция №9

Реактивные движения

При выполнении многих гимнастических упражнений, особенно на снарядах, гимнасту приходится учитывать их упругость, эластические (рессорные) свойства. Более того, для эффективного выполнения упражнений они специально стараются вызвать «реактивное движение» снаряда или опорной части собственного опорно-двигательного аппарата, а чаще того и другого одновременно. Реактивное движение — это изменение формы снаряда или другой опорной поверхности (помост для вольных упражнений, акробатическая дорожка) под воздействием количества движения, накопленного телом гимнаста до момента отталкивания от нее, например, при наскоке на гимнастический мостик, приземлении на акробатическую дорожку, воздействии на гриф перекладины, жерди брусьев.

Реактивное движение можно вызвать и в собственном опорно-двигательном аппарате в виде натяжения мышц, связок, суставных сумок, сжатия или натяжения межпозвоночных хрящей под воздействием мышц-антагонистов, веса тела или отдельных его звеньев, момента инерции одних звеньев тела по отношению к другим, выполняющим опорную функцию. Однако реактивное движение снаряда (любой упругой опорной поверхности) в силу своей упругости в соответствии с третьим законом динамики окажет обратное воздействие на тело гимнаста с такой же силой, с какой он вызвал реактивное движение. Реактивная сила (реакция опоры) — это воздействие опоры на тело гимнаста. Такой силой могут обладать также натянутые мышцы, связки и другие части опорно-двигательного аппарата. Реактивные силы снаряда и собственного опорно-двигательного аппарата, особенно при их одновременном действии, помогают гимнасту выполнить упражнение технически более правильно, эффективно, с меньшими затратами мышечной энергии на основную часть упражнения.

Сила реакции опоры при отталкивании может превышать вес спортсмена в 5 — 6 раз. Нагрузка на голеностопный сустав в вольных упражнениях ведущих гимнастов составляет 700 — 800 кг в течение 0,09 — 0,11 с. Степень воздействия реактивных сил возрастает с увеличением числа звеньев тела, активно участвующих в движении (отталкивание ногами в сочетании с разгибанием спины и взмахом рук).

Хлестовое (бросковое) движение — это такое волнообразное движение тела, когда в процессе маха ноги совершают колебательные движения относительно туловища: они то отстают от него, то обгоняют, то снова отстают. Чаще наблюдается такое чередование: в начале маха ноги отстают от туловища, при этом натягиваются мышцы передней поверхности тела, затем, за счет активного сокращения этих мышц, ноги обгоняют туловище, а к концу Движения вновь отстают от него. При таком характере движений происходит увеличение количества движения, приобретаемого ногами. Ноги в конечной точке маха обладают наибольшим моментом количества движения. В этом случае руками оказывается мощное давление на снаряд, и тело, как бы опираясь на две точки опоры (руки и ноги), получает возможность подняться выше относительно снаряда (соскок махом вперед на перекладине, кольцах и др.).

Вращательные движения

При выполнении многих динамических упражнений можно создать условия для вращательных движений тела гимнаста в одной, двух и даже в трех плоскостях пространства одновременно. Вращательный импульс (момент количества движения) создается как на опоре, так и в условиях безопорного положения тела. Вращательный импульс, если он создан на опоре, может быть усилен, когда тело перейдет в безопорное положение. Так чаще всего и поступают гимнасты.

В технике поворота выделяются две части. В первой гимнаст, активно взаимодействуя с опорой, поворачивает («скручивает») незакрепленную часть тела, задает ей необходимый момент количества движения. Во второй части при выполнении поворота без подскока гимнаст освобождает от опоры ногу, разноименную повороту, приставляет ее к опорной ноге и этим завершает поворот; в поворотах же с подскоком гимнаст отталкивается от опоры и уже в безопорном положении вовлекает в поворот опорную часть тела за счет энергии, накопленной поворачивающейся частью тела. Выполнение поворотов начинается с наиболее удаленных от опоры звеньев тела. Звено, закрепленное на опоре, не поворачивается относительно исходного положения до момента отрыва тела от опоры (повороты на 180° , 360° и более, повороты махом вперед на перекладине, кольцах и др.). Связь с опорой прекращается после того, как звенья тела, удаленные от опоры, приобрели момент количества движения, достаточный для того, чтобы обеспечить успешное выполнение заданного упражнения. Величина поворота зависит от прочности сцепления тела с опорой, физических возможностей и технического мастерства гимнаста. Например, в поворотах вокруг продольной оси тела на 180° , 360° и более с подскоком момент инерции ног до их отрыва от опоры неизмеримо больше момента инерции туловища, так как ноги прочно соединены с опорой. После же отрыва ног от опоры, наоборот, момент инерции ног будет меньше момента инерции туловища.

Общий момент количества движения тела складывается из количества движения его звеньев.

В безопорном положении тело гимнаста представляет собой свободную кинематическую цепь и может совершить поступательные и вращательные движения на основе законов кинематики.

Поступательным движением твердого тела называется такое движение, при котором точки тела движутся по одинаковым параллельно расположенным траекториям и в каждый данный момент времени имеют равные скорости и ускорения. Поэтому о поступательном движении тела гимнаста можно судить по движению его ОЦМ. При выполнении гимнастических упражнений поступательные движения сочетаются с вращательными.

Вращательное движение — это такое движение твердого тела, при котором все или, по крайней мере, две точки, лежащие на оси вращения, остаются неподвижными. В гимнастике к таким движениям относятся сальто, повороты и их сочетания. Основными характеристиками этого вида движений являются угловая скорость и угловое ускорение. В сложных вращательных движениях на тело одновременно могут действовать несколько моментов инерции, в этом случае их общий момент инерции будет равен сумме действующих моментов инерции:

Только за счет движений одних рук существенного вращения тела добиться нельзя.

Руками можно только подправить положение тела в пространстве с целью более правильного приземления, большего сделать не представляется возможным из-за того, что

при выполнении гимнастических упражнений тело гимнаста в безопорном положении находится не более 1,5 с.

Лекция №13

«Положение тела человека»

Положение тела человека (место, ориентация и поза). Силы возмущающие и уравнивающие (их источники и действие). Условия равновесия тела человека (системы тел) и показатели устойчивости. Сохранение положения тела человека в условиях отсутствия и наличия внешних возмущающих воздействий (реципрокный характер взаимодействия мышц антагонистов, изменение жесткости связи в суставах, компенсаторные и амортизирующие движения, балансирование и др.).

В физических упражнениях человеку нередко необходимо сохранять неподвижное положение тела: например, исходные положения - стартовые; конечные положения - фиксирование штанги после ее поднятия и т. п.; промежуточные - упор углом на кольцах и др. Во всех таких случаях тело человека как биомеханическая система находится в равновесии. В равновесии могут находиться и тела, связанные с сохраняющим положение человеком (например, штанга, партнер в акробатике).

Чтобы сохранить положение тела, человек должен находиться в равновесии. Положение тела определяется его позой, его ориентацией и местоположением в пространстве, а также отношением к опоре. Следовательно, для сохранения положения тела человеку нужно фиксировать позу и не допускать, чтобы приложенные силы изменили позу и переместили его тело с данного места в каком-либо направлении или вызвали его поворот относительно опоры.

Для равновесия тела человека (системы тел) необходимо, чтобы главный вектор и главный момент внешних сил были равны нулю, а все внутренние силы обеспечивали сохранение позы (формы системы).

Если главный вектор и главный момент равны нулю, тело не сдвинется и не повернется, его линейное и угловое ускорения равны нулю. Для системы, тел эти условия также необходимы, но уже недостаточны. Равновесие тела человека как системы тел требует еще сохранения позы тела. Когда мышцы достаточно сильны и человек умеет использовать их силу, он удержится в очень трудном положении. А менее сильному человеку такой позы не удержать, хотя по расположению и величине внешних сил равновесие возможно. У разных людей существуют свои предельные позы, которые они еще в состоянии сохранять.

Устойчивость объекта характеризуется его способностью, противодействуя нарушению равновесия, сохранять положение. Различают статические показатели устойчивости как способность сопротивляться нарушению равновесия и динамические как способность восстановить равновесие. Статическим показателем устойчивости твердого тела служит (в ограниченно-устойчивом равновесии) коэффициент устойчивости. Коэффициент устойчивости равен отношению предельного момента

устойчивости к моменту опрокидывающему. Когда коэффициент устойчивости покоящегося тела равен единице и больше нее, опрокидывания нет. Если же он меньше единицы, равновесие не может быть сохранено. Однако сопротивление только этих двух механических факторов (двух моментов сил) для системы тел, если она может изменять конфигурацию, не исчерпывает действительной картины. Самое существенное для биомеханической системы не в пассивном использовании силы тяжести тела, а в активных мышечных тягах, сохраняющих и изменяющих позу тела. В системе тел каждое звено должно быть в равновесии, сохраняя ее конфигурацию (позу тела человека).

Следовательно, коэффициент устойчивости тела и зафиксированной системы тел характеризует статическую устойчивость как способность сопротивляться нарушению равновесия. У человека при определении устойчивости всегда надо еще учитывать активное противодействие мышечных тяг и готовность к сопротивлению.

Динамическим показателем устойчивости твердого тела служит угол устойчивости. Это угол, образованный линией действия силы тяжести и прямой, соединяющей центр тяжести с соответствующим краем площади опоры. Физический смысл угла устойчивости состоит в том, что он равен углу поворота (ρ), на который надо повернуть тело для начала его опрокидывания. Угол устойчивости показывает, в каких пределах еще восстанавливается равновесие. Он характеризует степень динамической устойчивости: если угол больше, то и устойчивость больше. Этот показатель удобен для сравнения степени устойчивости одного тела в разных направлениях (если площадь опоры не круг и линия силы тяжести не проходит через его центр). Сумма двух углов устойчивости в одной плоскости рассматривается как угол равновесия в этой плоскости. Он характеризует запас устойчивости в данной плоскости, т. е. определяет размах перемещений центра тяжести до возможного опрокидывания в ту или другую сторону (например, у слаломиста при спуске на лыжах, гимнастки на бревне, борца в стойке).

В случае равновесия биомеханической системы для применения динамических показателей устойчивости нужно учесть существенные уточнения. Во-первых, площадь эффективной опоры человека не всегда совпадает с поверхностью опоры. У человека, как и у твердого тела, поверхность опоры ограничена линиями, соединяющими крайние точки опоры (или внешние края нескольких площадей опоры). Но у человека часто граница площади эффективной опоры расположена внутри контура опоры, так как мягкие ткани (стопа босиком) или слабые звенья (концевые фаланги пальцев в стойке на руках на полу) не могут уравновесить нагрузку. Поэтому линия опрокидывания смещается внутрь от края опорной поверхности, площадь эффективной опоры меньше площади опорной поверхности.

Во-вторых, человек никогда не отклоняется всем телом относительно линии опрокидывания (как кубик), а перемещается относительно осей каких-либо

суставов, не сохраняя полностью позы (например, при положении стоя - движения в голеностопных суставах).

В-третьих, при приближении к граничному положению нередко становится трудно сохранить позу и наступает не просто опрокидывание «отвердевшего тела» вокруг линии опрокидывания, а изменение позы с падением. Это существенно отличается от отклонения и опрокидывания твердого тела вокруг грани опрокидывания (кантование).

Таким образом, углы устойчивости в ограниченно-устойчивом равновесии характеризуют динамическую устойчивость как способность восстановить равновесие. При определении устойчивости тела человека необходимо также учитывать границы площади эффективной опоры, надежность сохранения позы до граничного положения тела и реальную линию опрокидывания.

В физических упражнениях часто встречается удерживающая связь (жесткая). Тогда условия сохранения равновесия требуют учета двусторонней связи путем рассмотрения соответствующих реактивных сил, вызванных такой связью. Сохранение положения тела человека достигается управлением уравнивающими силами при компенсаторных, амортизирующих и восстанавливающих движениях. В результате ОЦТ тела человека при колебаниях остается в зоне сохранения положения или возвращается в нее из зоны восстановления положения.

В сохранении положения для тела человека характерны колебания, в пределах которых действуют условия равновесия. Поэтому ОЦТ не занимает положения в одной единственной точке, а перемещается в определенных зонах. Оптимальная зона положения ОЦТ - наиболее соответствует задаче сохранения требуемого положения. Соответствующее положение не всегда наиболее удобное; нередко оно даже более трудное, чем при известных отклонениях от требуемого; это самая малая зона.

Зона сохранения положения - перемещение ОЦТ в пределах этой зоны еще не приводят к полному нарушению положения (например, над «потенциальной ямой» в ограниченно-устойчивом равновесии). Но приближение ОЦТ к ее границам угрожает потерей равновесия; границы этой зоны определяются условиями равновесия системы тел и возможностями сохранения позы. Она больше, чем оптимальная зона, и включает ее в свои пределы.

Зона восстановления положения - перемещение ОЦТ в эту зону для механической системы необратимо, так как в ней уже нарушаются условия равновесия. Неживое тело из этой зоны не может само вернуться в прежнее положение. А человек, используя необходимые внешние силы, еще может восстановить положение. Эта зона окружает снаружи зону сохранения положения, но не включает ее в свои пределы.

Для лиц разной физической подготовленности зоны неодинаковы. Для менее подготовленных зона сохранения положения уменьшена; у них меньше площадь эффективной опоры, и они при меньших отклонениях потеряют возможность удержать позу. Для них зона восстановления положения также сужена, так как у них меньше сил и ловкости, чтобы суметь восстановить

положение. В борьбе за сохранение положения используется как ослабление действия возмущающих сил, так и усиление действия уравнивающих сил.

Компенсаторные движения возникают в тот момент, когда возмущающие силы смещают часть звеньев тела. Компенсаторные движения предупреждают возможное выведение ОЦТ из зон сохранения положения или даже из оптимальной. Компенсаторные движения нейтрализуют эффект возмущающих сил. Они выполняются одновременно с движениями, грозящими потерей равновесия, и обычно автоматически.

Амортизирующие движения позволяют ОЦТ перемещаться в зоне сохранения положения. Эти движения растягивают во времени действие возмущающих сил, уменьшают их эффект. Часто они увеличивают действие уравнивающих сил. Они, как и компенсаторные движения, происходят одновременно с действием возмущающих сил.

Восстанавливающие движения возвращают ОЦТ из зоны восстановления положения в зону сохранения положения. Они могут также перемещать ОЦТ и внутри последней (например, в оптимальную зону).

Все три группы движений, которые сохраняют и восстанавливают положение, нередко сочетаются в комбинированные действия. Например, когда у гимнастки, выполняющей упражнение на бревне, часть звеньев под действием силы тяжести отклоняется в одну сторону, другие в то же время компенсаторно смещаются в другую сторону. Ускоренные же движения звеньев создают внутренние силы инерции этих звеньев; передаваясь по кинематическим цепям к опоре, они изменяют и внешнюю силу - реакцию опоры (появляется горизонтальная составляющая).

Амортизирующие движения применяют при воздействии внешних сил: например, в борьбе - под воздействием противника. Они особенно важны при положении неподвижном относительно неинерциальной системы отсчета, например, когда в скоростном спуске на лыжах спортсмен стоит «неподвижно» на лыжах. Лыжи в движении находятся под действием увеличивающихся и уменьшающихся реакций опоры (изменения рельефа трассы). Заранее перемещая ОЦТ навстречу возмущающей силе, спортсмен затем уступающей работой мышц «поддается тормозя», перемещая ОЦТ в пределах зоны сохранения положения.

В восстанавливающих движениях используются внешние силы, без них ОЦТ не может вернуться в зону сохранения положения. Такие силы можно вызвать ускоренным движением звеньев: например, при ходьбе по натянутой проволоке резким нажимом рукой на шест, удерживаемый горизонтально, - сила инерции шеста служит «опорой» для восстановления нарушающегося положения. Восстанавливая положение, человек перемещает ОЦТ и опору: либо ОЦТ - над опорой, либо опору - под ОЦТ, либо и то и другое вместе. Таким образом, сохранение положения - не покой, а активный управляемый двигательный процесс.

Лекция №11

Кинематика твердого тела и задачи со связями

Твердым телом или абсолютно твердым телом называется такое материальное тело, в котором расстояние между двумя любыми его точками сохраняется с течением времени. Различают разные движения твердого тела: Поступательное движение: такое движение, при котором любая прямая, нарисованная на твердом теле (связанная с телом) при его движении остается параллельной своему начальному положению. Примеры поступательного движения: движение педалей велосипеда относительно рамы, движение кабинок колеса обозрения относительно Земли: Теорема без доказательства: При поступательном движении твердого тела, скорости и ускорения точек тела одинаковы. Эта важная теорема, точнее следствие из нее, может использоваться для решения некоторых задач по кинематике, а именно, так называемых «задач со связями». Это такие задачи, в которых есть несколько тел и есть «связь» между ними. Связь — это некоторый материальный объект, который должен сохранять свою «длину». Допустим, что есть два тела, связанных нерастяжимой нитью (то есть нить имеет постоянную длину) Тогда проекции скоростей тел на направление нити должны быть равны (это как раз следует из того, что длина нити не изменяется). $V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta$ Вообще, очень много задач «со связями» следует решать исходя из соображения, что размер (длина, радиус, еще какая-то геометрическая характеристика связи) должен оставаться или постоянной величиной или меняться некоторым заданным образом. Заданным образом, это как если бы на картинке выше к телу 2 была бы привязана катушка, которая наматывала бы на себя нитку с постоянной скоростью u . Тогда выражение для связи мгновенных скоростей было бы не такое ($V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta$), а другое: $V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta + u$ Вращательное движение: это такое движение твердого тела, когда на нем можно выделить минимум две точки, которые неподвижны. Прямая, проходящая через эти точки, называется осью

вращения. Само вращение обозначается стрелкой (ω). Чтобы узнать, как вращается тело, нужно как бы посмотреть на эту стрелку с той стороны, куда она направлена, и тогда вы будете видеть тело, вращающееся против часовой стрелки: Траектории всех точек тела — это окружности, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Для характеристики вращения твердого тела определяется величина: угловая скорость. Это та же самая угловая скорость, которая была введена для описания вращательного движения материальной точки. Мы будем считать такую угловую скорость вектором, для задач этого достаточно. Дополнение Угловая скорость - не совсем обыкновенный вектор, он называется «псевдовектор». Представьте себе стрелку, которая направлена сверху вниз и отражается в зеркале. Отражение этой стрелки тоже будет направлено сверху вниз. И так «отражаются» обычные вектора. Теперь представьте, что это не просто стрелка а направление угловой скорости волчка, который крутится на полу по часовой стрелке. И вектор угловой скорости будет направлен вниз. Но если этот волчок отражается в зеркале, то там он крутится не по часовой стрелке, а против. И, значит, вектор угловой скорости «с той стороны» должен быть направлен не сверху вниз, а снизу вверх. Для решения наших задач это не играет роли, но вообще можно подумать, что бы это могло быть? Например, попробуйте подумать над вопросом, а могут ли быть какие нибудь не векторные величины, а просто числа, характеризующие какую-нибудь физическую величину которые так же ведут себя при «отражении в зеркале». Масса, например, или длина — не меняют знак при отражении. Температура и заряд тоже. Скорости и ускорения точек вращающегося тела. Так как траектории вращающегося тела — окружности, то при определении скорости и ускорения удобно пользоваться естественным способом задания движения. «Дуговая» координата, то есть путь, который проходит точка по дуге, связана с углом поворота выражением: $S = \varphi R$ Выражение для модуля линейной скорости точки на твердом теле будет такое же, как если бы это просто была точка, двигающаяся по окружности: $v = \omega R$ Что касается ускорения точки

твердого тела — то тут все точно так же, как если бы это просто была точка, двигающаяся по окружности. Для такой точки также определены нормальное и тангенциальное ускорение. Полное ускорение - это их векторная сумма: Векторные выражения (без доказательства) для скорости и ускорения точки вращающегося тела выглядят так же, как просто для материальной точки, двигающейся по окружности: $v = [\omega \times R]$ $a = [\epsilon \times R] + [\omega \times v]$ в выражении для полного ускорения первое слагаемое $[\epsilon \times R]$ — тангенциальное ускорение, а второе $[\omega \times v]$ — нормальное, ϵ — это угловое ускорение, производная угловой скорости по времени. Этот вектор сонаправлен угловой скорости, если модуль угловой скорости увеличивается и противоположно направлен, если уменьшается. В любом случае, вектор ϵ коллинеарен вектору ω . Сферическое движение твердого тела — это такое движение твердого тела, когда одна точка этого тела все время остается неподвижной. В этом случае очевидно, что траектории всех точек твердого тела располагаются на поверхностях сфер. Сложное движение твердого тела — сумма нескольких движений твердого тела. Например, колесо, катящееся по земле — это сумма поступательного движения вдоль дороги и вращательного движения относительно оси колеса. Мгновенная ось вращения — это такая прямая, относительно которой в данный момент времени любое сложное движение твердого тела можно представить, как вращение относительно этой прямой. Например, в случае колеса, катящегося по дороге, мгновенная ось вращения проходит через точку соприкосновения колеса и дороги. А это значит, что если известна мгновенная ось вращения, то очень просто определить направление и модуль вектора скорости любой точки колеса. $v = \omega r$ здесь r — расстояние от интересующей нас точки до мгновенной оси вращения, а ω — угловая скорость вращательного движения. Мгновенная ось вращения не обязательно проходит через хотя бы одну точку твердого тела. Например, в том случае, если колесо движется с проскальзыванием, то мгновенная ось вращения может находиться как над поверхностью, по которой движется колесо, так и под поверхностью, в зависимости от того, в какую сторону

проскальзывает колесо. Как узнать, где проходит мгновенная ось вращения? Она проходит там, где мгновенные скорости точек твердого тела равны нулю. Если тело катится по поверхности, то мгновенная ось вращения проходит через точку соприкосновения тела с поверхностью. Но иногда бывает так, на твердом теле нет ни одной точки, скорость которой была бы равна нулю. (В этом случае бывает полезно перейти в такую систему отсчета, в которой найдется точка с нулевой скоростью). Но есть и общий способ: Если можно найти такую точку O , для которой мгновенную скорость v любой точки A твердого тела можно выразить так: $v = [\omega \times r]$, где ω — некоторый постоянный вектор, v — вектор мгновенной скорости точки тела, а r — вектор OA , то через эту точку обязательно проходит мгновенная ось вращения.