

ВЛИЯНИЕ КОРИОЛИСОВОЙ СИЛЫ ИНЕРЦИИ НА БИОМЕХАНИКУ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНА В УСЛОВИЯХ ОПОРЫ

В.И. Загревский

(МГУ имени А.А. Кулешова)

Введение. На любом этапе учебно-тренировочной деятельности биомеханически обоснованное построение индивидуальной техники спортивных упражнений является непременным атрибутом научно организованного процесса обучения соревновательным упражнениям. Знание биомеханических закономерностей построения рациональной техники изучаемых упражнений позволяет интенсифицировать процесс обучения двигательным действиям и повысить качество реализации двигательных умений и навыков в соревновательных условиях. Особенно значим данный тезис в практической деятельности тренеров и спортсменов в тех видах спорта, которые связаны с искусством движений и в которых предметом соревновательной оценки является техника упражнений.

Многие биомеханические закономерности формирования рациональной структуры движений обоснованы теоретическими исследованиями и успешно реализуются в практической деятельности [1, 2]. Однако некоторые аспекты биомеханики движений спортсменов недостаточно раскрыты и теоретически обоснованы, в большей степени декларируются без достаточного пояснения механизмов их проявления в фазовой структуре соревновательных упражнений. И, в определенной степени, механизм кориолисовой силы инерции, в механике вращательных движений спортсмена в условиях опоры, является тем «белым пятном», который нуждается в более детальной проработке и быть принятым в практическую эксплуатацию в условиях учебно-тренировочного процесса. Таким образом, проблемы практической эксплуатации и теоретического обоснования использования спортсменом механизма кориолисовой силы инерции во вращательных упражнениях в условиях опоры и определили актуальность выполненного исследования.

Цель исследования заключалась в теоретическом обосновании механизма проявления кориолисовой силы инерции во вращательных движениях спортсмена в условиях опоры и количественном определении меры ее воздействия в условиях выполнения соревновательных упражнений.

Задачи исследования:

1. Теоретически обосновать механизм проявления кориолисовой силы инерции в структуре вращательных спортивных упражнений в условиях опоры.

2. Разработать вычислительные алгоритмы определения количественных параметров кориолисовой силы инерции в фазовой структуре соревновательных упражнений.

Методы и организация исследования. Теоретический анализ и обобщение специальной литературы, методы теоретической механики, видеосъемка упражнений на гимнастических снарядах.

Результаты исследования.

1. Теоретическое обоснование механизма проявления кориолисовой силы инерции основывается на применении специальных понятий и терминологического аппарата классической механики применительно к отдельным видам движения и инерции. Введем следующие понятия и обозначения.

Инерциальная система отсчета – неподвижная система отсчета.

Неинерциальная система отсчета – подвижная система отсчета. Может совершать как поступательное, так и вращательное перемещение относительно инерциальной системы отсчета.

Силы инерции – силы, обусловленные ускоренным движением неинерциальной системы отсчета (НСО) относительно инерциальной системы отсчета (ИСО). В неинерциальных системах отсчета правомерно использование основного закона динамики [3]

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_p + \vec{F}_c + \vec{F}_k. \quad (1)$$

Здесь:

\vec{F} – сила, действующая на тело со стороны других тел;

$\vec{F} = -m\vec{a}_0$ – сила инерции, действующая на тело относительно поступательно движущейся НСО. \vec{a}_0 – ускорение НСО относительно ИСО. Она появляется, например, в гоночном автомобиле при его разгоне по прямой;

$\vec{F}_c = -m\omega^2 R$ – центробежная сила инерции, действующая на тело относительно вращающейся НСО. ω – угловая скорость НСО относительно ИСО, R – расстояние от тела до центра вращения;

$\vec{F}_k = 2m \cdot (\vec{v} \times \vec{\omega})$ – кориолисова сила инерции, действующая на тело, движущееся со скоростью \vec{v} относительно вращающейся НСО. $\vec{\omega}$ – угловая скорость НСО относительно ИСО (вектор направлен вдоль оси вращения в соответствии с правилом правого винта).

Следует обратить внимание на то, что сила инерции направлена в сторону противоположную ускорению и равна по величине силе, вызывающей ускоренное движение материальной точки относительно ИСО.

На тело, движущееся относительно вращающейся системы отсчета (рис. 1), помимо центробежной силы инерции действует еще одна сила, зависящая от относительной скорости тела \vec{v}' и от угловой скорости вращения системы отсчета $\vec{\omega}$.

Рассмотрим следующий опыт (рис. 1, А). На горизонтально расположенный покоящийся диск по наклонному желобу скатывается шарик (конец желоба находится над центром диска). Шарик, после скатывания с желоба, будет двигаться по радиусу неподвижного диска с постоянной скоростью \vec{v}' , в направлении точки М.

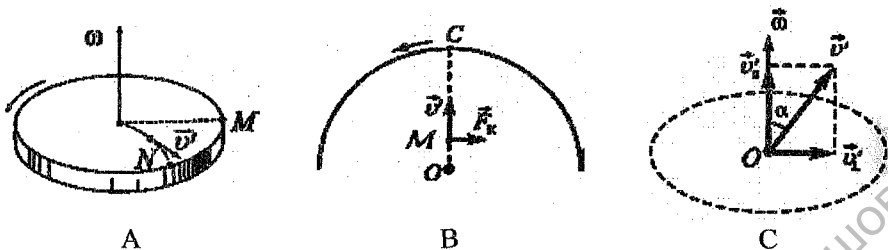


Рисунок 1 – Кинематическая модель проявления кориолисовой силы инерции во вращающейся системе отсчета

Приведем диск во вращение, придав ему постоянную угловую скорость $\vec{\omega}$ (рис. 1, А). Шарик придет в точку N не по прямой радиуса диска, а по криволинейной траектории, с отклонением в сторону противоположную вращению. Поскольку криволинейная траектория у шарика может возникнуть только в результате воздействия на шарик силы, направленной перпендикулярно к его относительной скорости \vec{v}' , а никакие обычные силы взаимодействия, направленные указанным образом, на тело не действуют, то остается предположить о действии в этом случае сил инерции. Очевидно, что изменение относительной скорости \vec{v}' по направлению не является результатом действия центробежной силы инерции, так как она направлена по радиусу от центра диска к окружности и не может вызывать искривление траектории шарика.

Возникающая в рассматриваемом случае сила называется кориолисовой силой инерции

$$\vec{F}k = 2m \cdot (\vec{v}' \times \vec{\omega}). \quad (2)$$

Здесь следует подчеркнуть, что кориолисова сила инерции появляется лишь тогда, когда тело расположено (или покоится или движется) во вращающейся системе отсчета.

Если направление движения тела \vec{v} связано с движением от начала вращающейся системы координат (рис. 1, В), вращающейся в направлении вектора $\vec{\omega}$, то направление кориолисовой силы инерции $\vec{F}k$ будет сносить тело по движению часовой стрелки и тормозить его. Противоположная картина будет происходить при движении тела к центру вращения диска: вектор кориолисовой силы инерции будет направлен в сторону вращения диска, и являться дополнительной силой, способствующей увеличению углового ускорения радиус-вектора тела.

Общий случай пространственного проявления кориолисовой силы инерции показан на рисунке 1, С: тело движется с относительной скоростью направленной под углом α к оси вращения. Вектор скорости \vec{v}' разлагается на две составляющих: \vec{v}'_{\perp} , лежащий в плоскости перпендикулярной оси вращения и \vec{v}'_{\parallel} , параллельный оси вращения.

Составляющая \vec{v}'_{\parallel} не изменяет переносной скорости тела, так как угол между \vec{v}'_{\parallel} и $\vec{\omega}$ равен нулю. Следовательно, сила Кориолиса обусловлена лишь составляющей $\vec{v}'_{\perp} = \vec{v}' \sin \alpha$

$$F_k = 2m v' \omega \sin \alpha. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что сила Кориолиса не зависит от расстояния до оси вращения, а определяется массой тела, относительной скоростью движения и угловой скоростью вращения системы отсчета.

Вычислительные алгоритмы определения количественных параметров кориолисовой силы инерции в фазовой структуре соревновательных упражнений построим на основе уравнения (3). Покажем, на примере гимнастических упражнений (рис. 2), технологию определения количественных значений кориолисовой силы инерции.

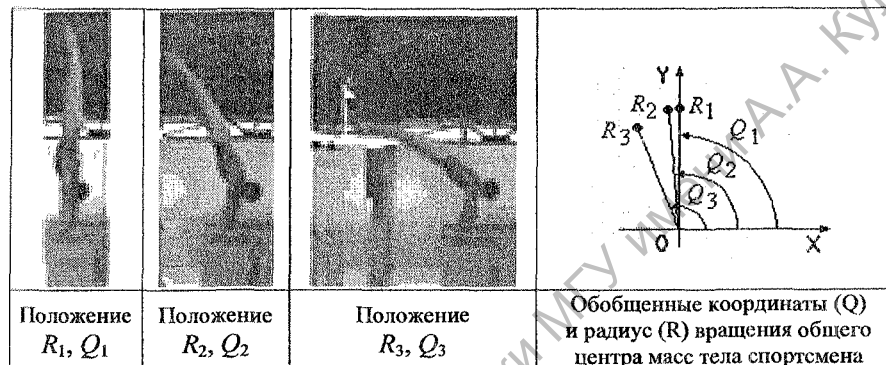


Рисунок 2 – Обозначения в схеме движения общего центра масс тела спортсмена при выполнении упражнений

Выполняемые спортсменом сгибательно-разгибательные движения в суставах (управляющие движения) изменяют расстояние (R) от общего центра масс (ОЦМ) тела спортсмена до точки контакта гимнаста с опорой. Следовательно, скорость перемещения ОЦМ тела гимнаста вдоль радиуса вращения (\dot{R}) будет соответствовать v' в уравнении (3).

Угловая скорость радиус-вектора ОЦМ тела спортсмена (\dot{Q}) является аналогом (ω) в уравнении (3). Масса спортсмена определяется взвешиванием. Значения R , Q в каждом видеокadre упражнения определяются по методике, изложенной в [4, 5].

Выводы:

1. Сила инерции Кориолиса в спортивных упражнениях проявляется во вращательных движениях спортсмена в условиях опоры.
2. Сгибательно-разгибательные движения спортсмена в суставах перемещают его общий центр масс тела в направлении, как к оси вращения, так и от него.
3. Перемещение ОЦМ тела спортсмена к оси вращения вносит добавочное ускорение в угловое перемещение радиус-вектора общего центра масс тела.
4. Перемещение ОЦМ тела спортсмена от оси вращения тормозит вращательное перемещение радиус-вектора общего центра масс тела.

5. Сила инерции Кориолиса не зависит от расстояния до оси вращения, а определяется массой тела, относительной скоростью движения вдоль радиуса вращения и угловой скоростью вращения системы отсчета.

Литература

1. Гавердовский, Ю.К. Техника гимнастических упражнений : популярное учебное пособие / Ю.К. Гавердовский. – М. : Terra-Спорт, 2002. – 512 с.
2. Гавердовский, Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К. Гавердовский. – М. : Физкультура и Спорт, 2007. – 912 с.
3. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики. Том II. Динамика / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М. : Наука, 1971. – 464 с.
4. Загrevский, В.И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ : монография / В.И. Загrevский, Д.А. Лавшук, О.И. Загrevский. – Могилев : МГУ им. А.А. Кулешова, 2000. – 190 с.
5. Загrevский, В.И. Практикум по биомеханике физических упражнений: расчетно-графические работы / В.И. Загrevский, Д.А. Лавшук. – Могилев : МГУ им. А.А. Кулешова, 2004. – 68 с.