

7. Матвеев, Л.П. Теория и методика физической культуры / Л.П. Матвеев. – М.: Физкультура и спорт, 1991. – 544 с.
8. Алиханов, И.И. Вольная борьба / И.И. Алиханов. – М.: Физкультура и спорт, 1959. – 226 с.
9. Алиханов, И.И. Техника и тактика вольной борьбы / И.И. Алиханов. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 304 с.
10. Никитин, С.Н. Взаимосвязь ловкости и спортивных результатов борцов / С.Н. Никитин, Б.И. Тараканов // Современные проблемы подготовки высококвалифицированных спортсменов: респ. сб. науч. тр. / под ред. В.И. Григорьева. – СПб.: Изд-во СПб УЭФ, 1994. – С. 40–43.
11. Никитин, С.Н. Взаимосвязь физической подготовленности со спортивным результатом студентов, занимающихся борьбой самбо / С.Н. Никитин // Физическое воспитание и спортивная подготовка учащейся молодежи: тез. докл. науч.-практ. конф. – Архангельск, 1988. – С. 148–149.
12. Оранский, И. Восточные единоборства / И. Оранский. – М.: Советский спорт, 1990. – 78 с.
13. Рудницкий, В.И. Физическая подготовка борцов / В.И. Рудницкий. – Минск: Академия физ. воспитания и спорта Респ. Беларусь, 1999. – 59 с.

Поступила 15.03.2010

О ПАРАМЕТРАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КОНТАКТА С ОПОРОЙ В НАЗЕМНЫХ ЛОКОМОЦИЯХ

Н.Б. Сотский, канд. пед. наук, доцент,

Ж.В. Корнеева,

Белорусский государственный университет физической культуры

В статье представлены результаты исследования функциональной зависимости потерь кинетической энергии в момент образования контакта с опорой после полетной фазы, имеющей место в беге, прыжках и некоторых других локомоторных движениях. В ходе вычислительных экспериментов установлены закономерности воздействия на изменение кинетической энергии в указанных условиях соотношения фракций энергии, угла между радиус-вектором, проведенным от точки контакта в общий центр масс (ОЦМ), и направлением вектора скорости общего центра масс.

Investigation results of functional dependence of kinetic energy loss at the moment of contact with support after a flight-phase occurring in running, jumping, and other locomotor movements are presented in the article. In the process of computing experiments regularities of influence on kinetic energy changes in defined conditions of energy fractions correlation, of the angle between radius-vector drawn from the point of contact into the general centre of mass, and of speed vector direction of the general centre of mass were determined.

Спортивный результат в наземных локомоциях, относящихся к легкоатлетическим дисциплинам связанным, главным образом, с проявлением выносливости, определяется, с одной стороны, энергетическим потенциалом, обеспечиваемым в результате тренировочной работы, и с другой – его экономным использованием для обеспечения оптимальной скорости передвижения. В последнем случае речь идет об использовании эффективной с точки зрения энергетики техники рассматриваемых физических упражнений [1, 2].

Традиционные подходы к исследованию энергетической эффективности техники физических упражнений предполагают использование методов биомеханического исследования. В числе последних преобладают эмпирические подходы, посвященные выявлению связи скорости передвижения с потреблением кислорода, которая, в свою очередь рассматривается в зависимости от длины и частоты шагов. В частности, установлено [3–9], что при увеличении длины дистанции, как правило, возрастает частота шагов, и уменьшается длина шага, аналогичные сдвиги имеют место и при наступлении утомления. Вполне логично предположить, что такие внешние изменения направлены на снижение потребления энергии при минимальном снижении скорости. В то же время эмпирические данные не позволяют установить биомеханической основы происходящих в указанных условиях изменений. Здесь необходимо использовать аналитические подходы, которые могут прояснить объективные закономерности эффективной реализации энергетического потенциала.

В соответствии с традиционными воззрениями [5–8] на биомеханические закономерности, лежащие в основе наземных локомоций, основные потери энергии имеют место при образовании контакта с опорой в фазе «переднего» толчка. Здесь потери энергии объясняются с точки зрения образования стопорящей силы реакции опоры, действующей в направлении, противоположном необходимому движению. Она представляется главной «виновницей» потерь энергии. В то же время в литературе отсутствуют данные о закономерностях образования стопорящей силы, параметрах, оказывающих влияние на ее величину, способах уменьшения отрицательного влияния указанной силы на эффективность энергетики локомоции.

В настоящей работе предпринята попытка восполнить этот пробел, рассматривая ситуацию, возникающую при образовании контакта с опорой в процессе бега или прыжка, с позиции закона движения, представленного в форме кинетического момента (момента количества движения) относительно точки контакта. В связи с этим основной целью настоящего исследования является получение результатов аналитического характера, определяющих потери кинетической энергии, имеющие место при образовании контакта с опорой после завершения полетной фазы при выполнении бега или прыжков в зависимости от параметров движения тела спортсмена в рассматриваемой ситуации.

Задачей настоящего исследования является установление конкретных численных зависимостей изменения кинетической энергии в зависимости от ситуации, имеющей место при образовании контакта с опорой, и определение возможностей использования полученной информации при анализе эффективности техники бега и других наземных локомоций.

В качестве основы исследования использована полученная нами ранее [10] аналитическая формула, преобразованная в ходе подготовки данного исследования в явную форму (1):

$$\Delta = \frac{(J\Omega + mVR \sin\alpha)^2}{(mV^2 + J\Omega^2)(J + mR^2)}, \quad (1)$$

где Δ – отношение значений кинетической энергии после образования контакта с опорой и до него;

J – момент инерции тела относительно его ОЦМ;

Ω – угловая скорость вращения тела относительно ОЦМ;

m – масса;

V – величина скорости ОЦМ;

R – величина радиус-вектора;

α – угол между радиус-вектором R и вектором скорости ОЦМ V , положительный отсчет которого соответствует повороту вектора V против часовой стрелки относительно продолжения радиус-вектора R (рисунок 1).

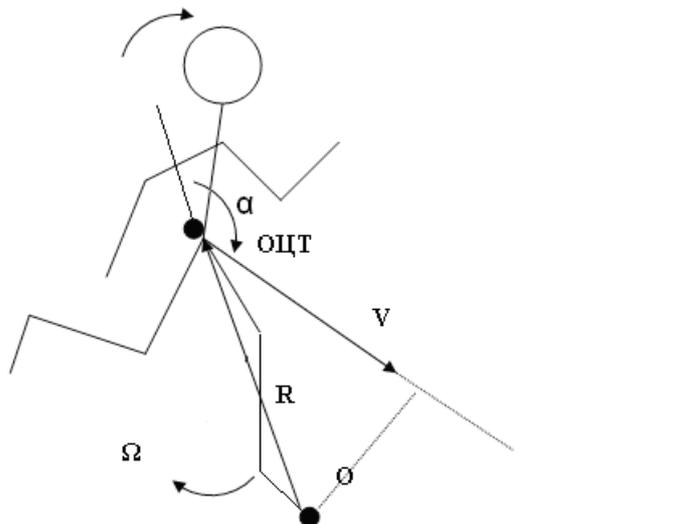


Рисунок 1 – Параметры, оказывающие влияние на изменение энергии при образовании контакта с опорой

Основным методом, использованным в работе, был вычислительный эксперимент, проводимый с использованием специальной программы, построенной на основе средства Excel из арсенала стандартных программ Microsoft Office. При этом в качестве функции использовалось отношение величин кинетической энергии до и после образования контакта с опорой, а аргументами служили соотношение фракций кинетической энергии, связанных с вращением относительно ОЦМ и с поступательным перемещением указанной точки, величина радиус-вектора и угол между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ.

Использование такого набора аргументов связано с тем, что величина кинетической энергии зависит от нескольких характеристик. Это – момент инерции тела относительно его ОЦМ, угловая скорость, величина скорости ОЦМ, и масса. Если представить себе, что тело до образования контакта обладает кинети-

ческой энергией $E_0 = E_{\text{пост.}} + E_{\text{вращ.}}$, то можно существенно сократить число аргументов, считая заданными массу, момент инерции, скорость и угловую скорость. В пределах одной величины кинетической энергии возможно перераспределение фракций энергии в пределах от $E_0 = E_{\text{пост.}} + 0$ до $E_0 = 0 + E_{\text{вращ.}}$, при этом в промежутке возможны любые сочетания, дающие заданную сумму.

Таким образом, считая линейную и угловую скорости, массу и момент инерции заданными в виде составляющих полной кинетической энергии, можно в значительной мере сократить количество переменных, которые необходимо подвергнуть анализу. Если для определенности предположить полную кинетическую энергию, имеющую конкретное значение, например, $E_0 = 10$, зависимость ее потерь от соотношения фракций энергии регулировать изменением массы и момента инерции, получается достаточно удобная формула для проведения вычислительных экспериментов, предполагающих различные вариации остальных параметров (радиус-вектора \vec{R} и угла между ним и вектором скорости ОЦМ – α).

В результате вычислительного эксперимента были получены зависимости отношения кинетических энергий до и после образования контакта с опорой в зависимости от соотношения энергетических фракций (поступательной и вращательной) и угла между радиус-вектором \vec{R} и вектором скорости ОЦМ \vec{V} . Полученные данные для положительного значения угла α и отрицательной угловой скорости Ω представлены на рисунке 2, а для отрицательной угловой скорости Ω и отрицательного угла α – на рисунке 3.

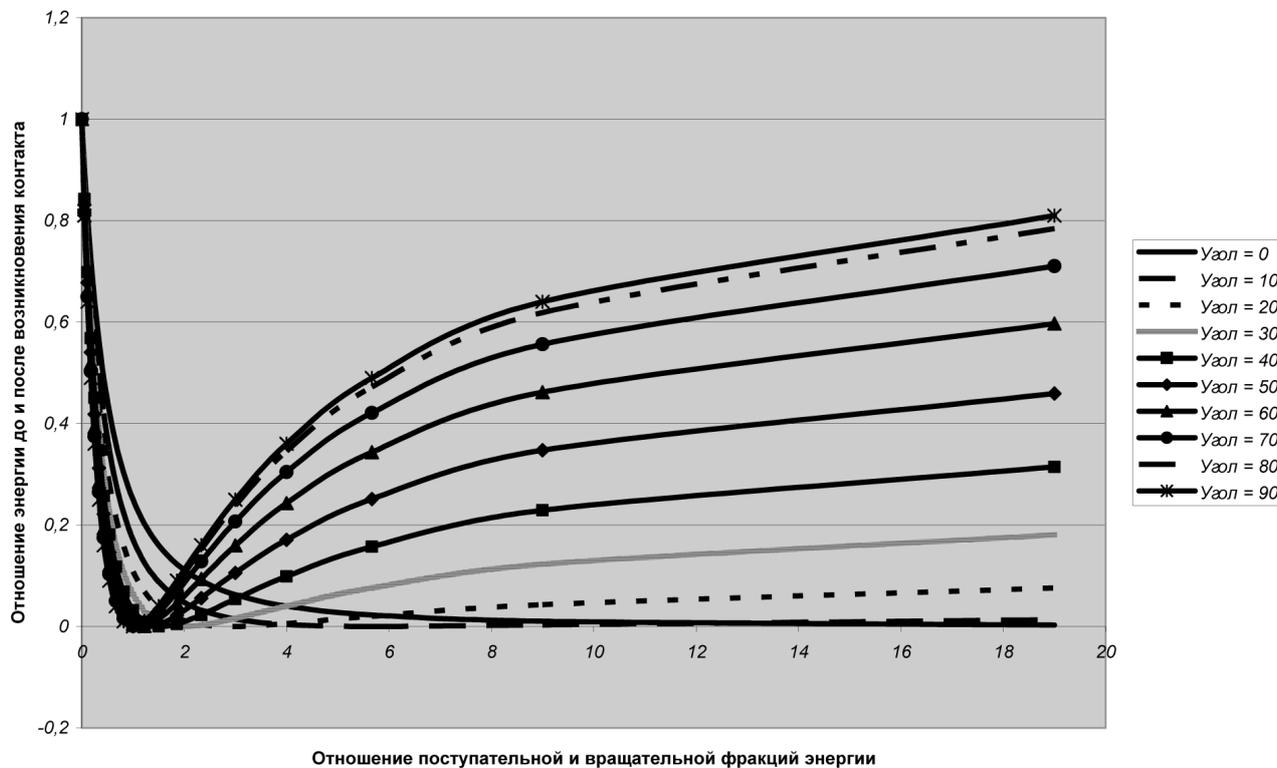


Рисунок 2 – Изменение кинетической энергии при образовании контакта с опорой при изменении отношения фракций энергии (поступательной и вращательной) при различных углах между \vec{R} и \vec{V} (Ω отрицательна, угол α положителен)

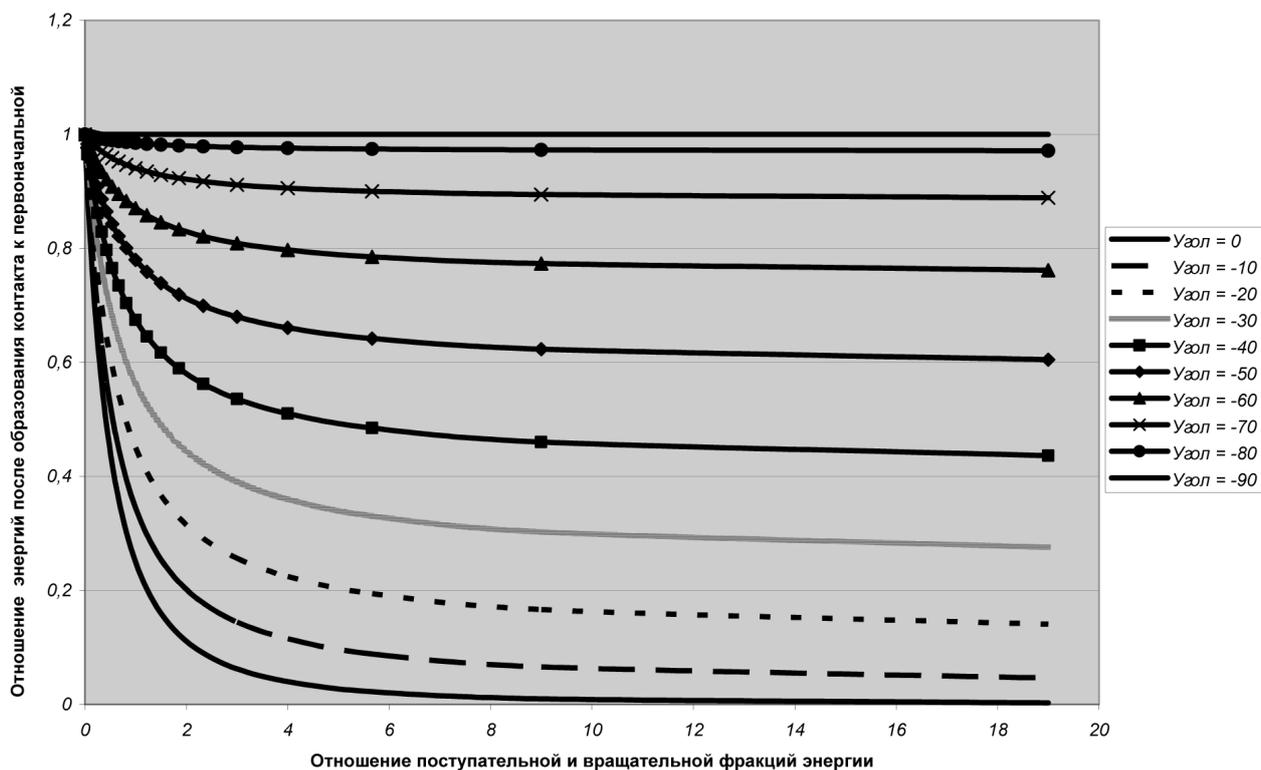


Рисунок 3 – Изменение кинетической энергии при образовании контакта с опорой при изменении отношения фракций энергии (поступательной и вращательной) при различных углах между \vec{R} и \vec{V} (Ω и α отрицательны)

Анализ полученных результатов показал, что зависимость потерь энергии от первоначального соотношения фракций кинетической энергии (ось X на приведенных выше графиках) существенно зависит от совпадения знаков угловой скорости Ω и угла α между радиус-вектором \vec{R} и вектором скорости ОЦМ \vec{V} . Так, при различных знаках указанных параметров зависимость имеет форму, характеризующуюся резким увеличением потерь энергии вплоть до полной остановки тела с падением суммарной кинетической энергии после образования контакта с опорой до нуля. Эта ситуация характерна для случая равенства величин кинетических моментов, связанных с поступательным движением и вращением относительно ОЦМ при противоположных им знакам. Максимальные потери кинетической энергии могут наблюдаться при значениях отношения фракций энергий от 1 до 19, при этом конкретное значение определяется углом α . В частности, при значении указанного параметра в диапазоне от 700 до 100° , максимум потерь приходится на отношение энергетических фракций, равное единице. При углах от 40 до 60° положение максимальных потерь соответствует отношению энергий приблизительно 1,22, а при дальнейшем уменьшении угла постепенно переходит к соотношению фракций 19 (при нулевом угле).

Таким образом, для ситуации, соответствующей противоположным знакам угловой скорости Ω и угла между радиус-вектором \vec{R} и вектором угловой скорости \vec{V} , избежать существенных потерь кинетической энергии можно путем увеличения массы и скорости поступательного движения с приближением значений угла между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ к 90° .

Другой путь может предполагать существенное увеличение момента инерции при сохранении или уменьшении значения массы тела. На графике (рисунок 3) это соответствует значениям отношения фракций энергий от 1 до 0, причем изменение угла α между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ в данной ситуации практически не оказывает влияние на величину потерь энергии.

В случае совпадения знаков угловой скорости и угла между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ зависимость потерь кинетической энергии имеет другой вид. Так, при изменении соотношения фракций энергий в пользу поступательного движения происходит быстрое увеличение энергетических потерь, причем его быстрота зависит от значения угла между радиус-вектором \vec{R} и вектором скорости ОЦМ \vec{V} . При углах, близких к нулевому значению, падение кинетической энергии оказывается наиболее существенным и резким. В частности, для нулевой величины указанного угла падение кинетической энергии после образования контакта по отношению к первоначальной величине от 1 до 0,1 (т. е. в десять раз) происходит при изменении соотношения энергетических фракций от 0 до 2. В то же время при увеличении угла между \vec{R} и \vec{V} происходит изменение темпа падения кинетической энергии, а также ее существенное уменьшение. Так, при увеличении указанного угла с 10 до 50° происходит снижение энергетических потерь при равенстве энергетических фракций с 90 до 40 %.

Данные вычислительного эксперимента свидетельствуют о существовании ситуации, для которой могут отсутствовать потери кинетической энергии, связанные с образованием контакта с опорой. При значениях остальных параметров, соответствующих рассматриваемой конкретной ситуации, это имеет место при значении угла между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ, составляющим 90°.

Таким образом, можно заключить, что минимальные потери кинетической энергии при образовании контакта с опорой должны наблюдаться при углах между радиус-вектором и вектором скорости ОЦМ, близким к 90°.

Приведенные выше зависимости получены для условия постоянства величины радиус-вектора \vec{R} . Зависимость потерь кинетической энергии при условии изменения этого параметра представлена на рисунках 4 и 5.

Анализ зависимости изменения кинетической энергии, при образовании контакта с опорой при условиях одинакового знака составляющих кинетического момента, связанных с поступательным и вращательным движениями, показывает, что при небольших величинах радиус-вектора \vec{R} , соответствующих 1 или 2 единицам длины, наблюдается плавное увеличение потерь энергии. При этом при изменении отношения фракций энергии с увеличением доли поступательного движения от 0 до 2 происходит наиболее резкое увеличение потерь, которое при последующем увеличении указанной фракции становится более плавным, достигая насыщения. Так, если для $R=2$ падение кинетической энергии, имеющее место при образовании контакта, при изменении отношения фракций энергии от 0 до 2 составляет около 30 %, то при дальнейшем увеличении указанного отношения с 2 до 19 потери энергии практически остаются неизменными.

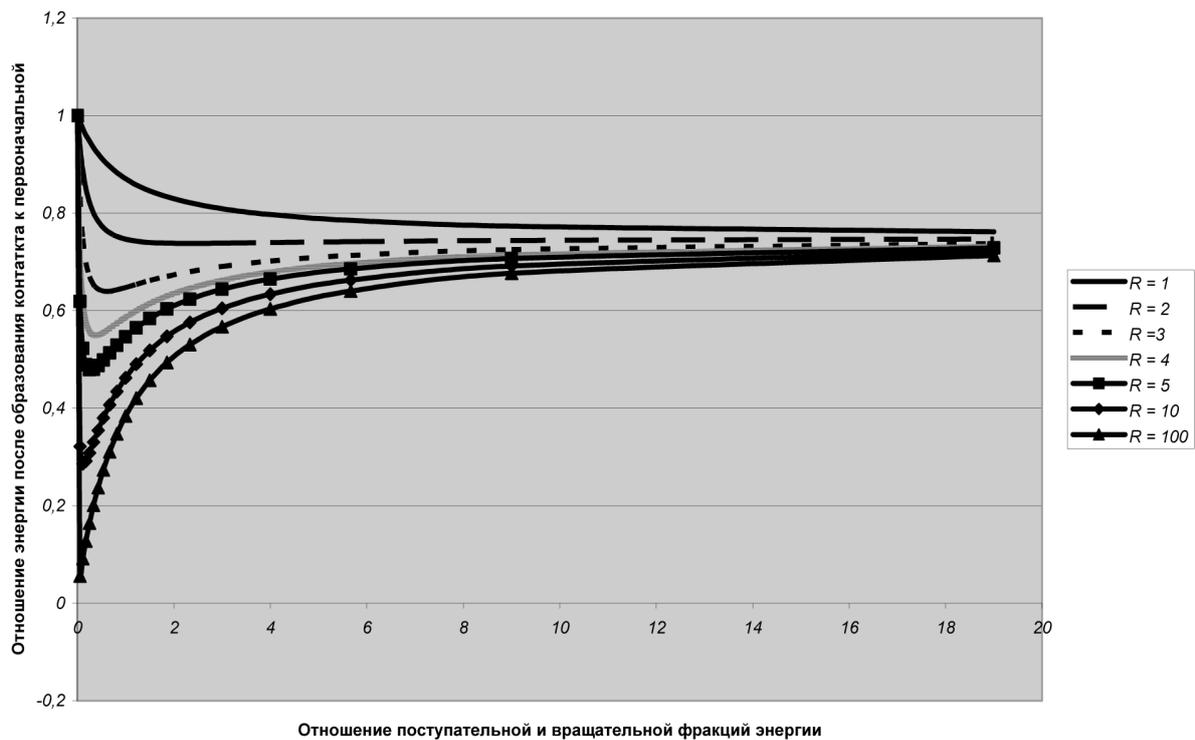


Рисунок 4 – Изменение кинетической энергии при образовании контакта с опорой в зависимости от отношения фракций энергии (поступательной и вращательной) при изменении величины \bar{R} (Ω отрицательна, α отрицательный, равный 60°)

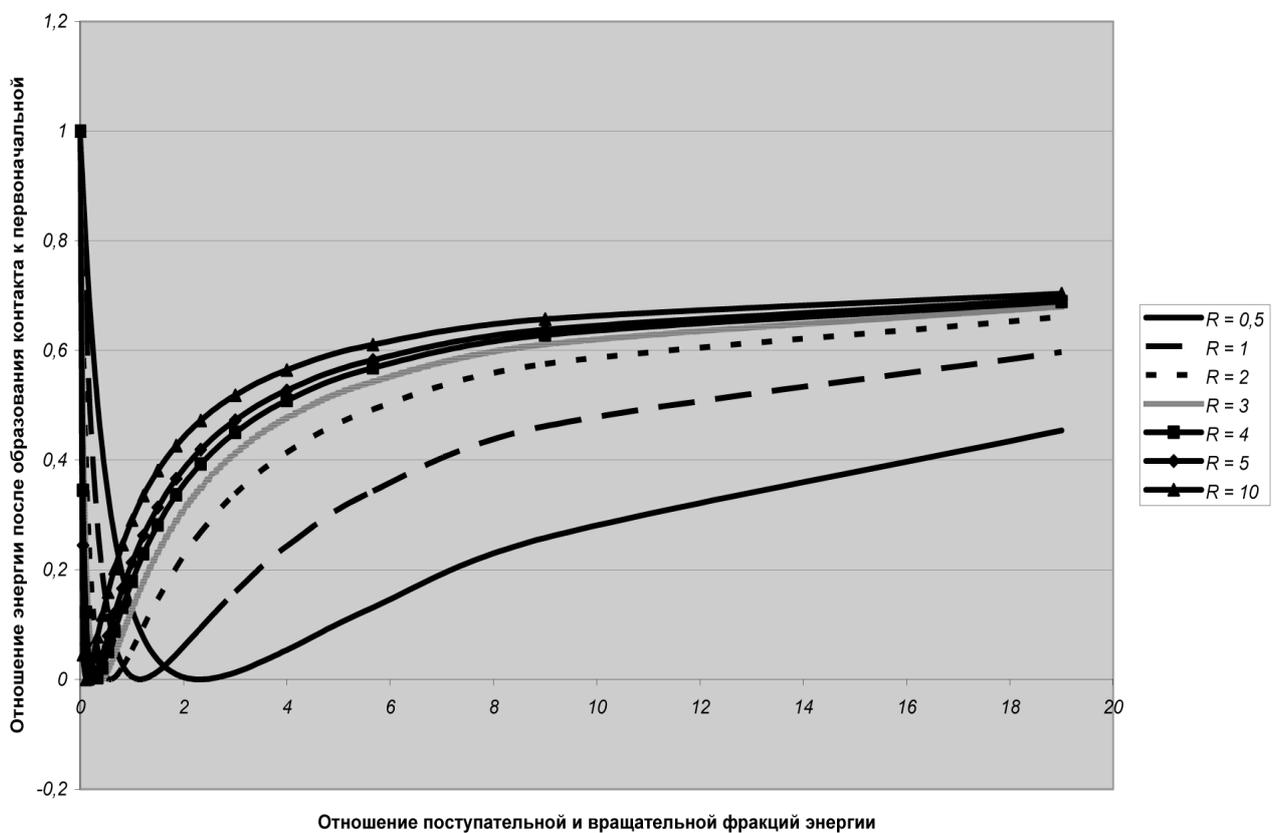


Рисунок 5 – Изменение кинетической энергии при образовании контакта с опорой в зависимости от отношения фракций энергии (поступательной и вращательной) при изменении величина радиус-вектора (Ω отрицательна, α положительный, равный 60°)

При увеличении длины радиус-вектора \bar{R} происходит характерное изменение формы зависимости потерь кинетической энергии от отношения ее фракций, которое характеризуется более резким увеличением потерь при очень малых значениях кинетической энергии, связанной с поступательным движением. В частности, если сравнить потери энергии для $\bar{R}=2$ и $\bar{R}=5$, то видно, что при изменении соотношения энергетических фракций от 0 до 1 с увеличением доли энергии поступательного движения, для первого из указанных значений радиус-вектора максимальное уменьшение кинетической энергии составит 25 %, а для второго – 45 %. Это позволяет сделать заключение о том, что с уменьшением величины расстояния от точки контакта с опорой до ОЦМ уменьшаются и потери кинетической энергии, связанные с образованием контакта.

Таким образом, в ситуации, предполагающей одинаковость знаков составляющих кинетического момента относительно точки контакта с опорой, связанных с вращением тела относительно ОЦМ и его поступательным движением, величина падения кинетической энергии при образовании контакта с опорой возрастает при увеличении расстояния от точки контакта с опорой и ОЦМ (радиус-вектора \bar{R}). Потери кинетической энергии уменьшаются при увеличении фракции кинетической энергии, связанной с вращательным движением по отношению к связанной с поступательным движением. Существует также предельный случай отсутствия потерь энергии в данной ситуации, если фракция энергии, связанная с поступательным движением, вообще отсутствует, однако такое предположение может носить сугубо теоретический характер.

В случае противоположности знаков составляющих кинетического момента, связанных с поступательным и вращательным движениями тела, зависимость потерь энергии от величины радиус-вектора имеет несколько иной характер (рисунк 4). Так, при изменении соотношения фракций энергии при любом значении радиус-вектора имеет место ситуация, в которой полная кинетическая энергия становится равной нулю. Для величин радиус-вектора \bar{R} близких к нулю точка обращения энергии в нуль соответствует значительному преобладанию поступательной фракции кинетической энергии над вращательной. При увеличении \bar{R} имеет место смещение указанной точки к меньшим величинам указанного отношения фракций энергии. В частности, при \bar{R} , составляющем 0,5 м, обращение кинетической энергии в ноль наступает уже при соотношении поступательной и вращательной энергетических фракций 2/1, а при \bar{R} , составляющем 2 м, обращение кинетической энергии в ноль происходит при отношении поступательной и вращательной энергетических фракций приблизительно 1/4.

Характер зависимости потерь кинетической энергии от соотношения поступательной и вращательной фракций имеет различный характер при смещении величины указанного соотношения вправо и влево от нулевого положения. Так, при увеличении соотношения энергетических фракций в направлении преобладания поступательной происходит уменьшение потерь энергии. Быстрота этого изменения зависит от величины радиус-вектора. При его увеличении оно происходит более резко. Так, при радиус векторе $\bar{R}=1$ м для изменения соотно-

шения фракций энергии от 4 до 6 происходит снижение энергетических потерь с 95 до 85 %, а при \bar{R} , составляющем 2 м – от 80 до 55 %.

Слева от нулевого положения при изменении соотношения фракций кинетической в пользу вращательной энергии происходит резкое снижение энергетических потерь. В предельном случае, когда кинетическая энергия, связанная с вращательным движением во много раз больше связанной с поступательным движением, потери энергии стремятся к нулю. Как и в описанном выше случае, величина радиус-вектора оказывает существенное влияние на быстроту их снижения. Так, увеличение этого параметра приводит к более резкому подъему энергии тела после образования контакта с опорой при уменьшении поступательной фракции энергии по отношению к вращательной.

Таким образом, вычислительный эксперимент по исследованию изменения кинетической энергии тела, при возникновении контакта с твердой опорой, характерного для завершения безопорной фазы локомоторных движений типа бега и прыжков показал:

1. При возникновении контакта с твердой опорой, как правило, происходит уменьшение полной кинетической энергии

2. Величина уменьшения кинетической энергии зависит от отношения ее фракций, связанных с поступательным и вращательным движениями, величины расстояния от точки контакта с опорой до ОЦМ, угла между радиус-вектором, проведенным из точки контакта в точку ОЦМ и вектором скорости ОЦМ.

3. Характер зависимости величины потерь энергии от соотношения энергетических фракций определяется соотношением знаков слагаемых кинетического момента, связанных с поступательным движением и вращением тела относительно ОЦМ.

4. При совпадении знаков составляющих кинетического момента наименьшие потери энергии наблюдаются при угле между радиус-вектором \bar{R} и вектором скорости ОЦМ \bar{V} , соответствующем 90 градусам и при определенном сочетании других параметров потери энергии могут даже отсутствовать.

5. При несовпадении знаков составляющих кинетического момента имеются критические соотношения энергетических фракций энергии, при которых после образования контакта с опорой кинетическая энергия обращается в нуль. При этом конкретное значение такого соотношения зависит от величины радиус-вектора \bar{R} , смещаясь при увеличении последнего в зону увеличения поступательной фракции кинетической энергии по отношению к вращательной.

6. Полученные результаты позволяют утверждать, что при выполнении наземных локомоций, в частности бега и прыжков, можно управлять энергетическими потерями, возникающими при образовании контакта с опорой, изменяя сочетание таких параметров как скорость ОЦМ \bar{V} , величина радиус-вектора ОЦМ \bar{R} , угловая скорость Ω , масса и момент инерции.

1. Зациорский, В.М. Физические качества спортсмена: основы теории и методики воспитания / В.М. Зациорский. – 3-е изд. – М.: Советский спорт, 2009. – 200 с.

2. Зациорский, В.М. Биомеханические основы выносливости / В.М. Зациорский, С.Ю. Алешинский, Н.А. Якунин. – М.: ФиС, 1982. – 207 с.
3. Бернштейн, Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологической активности / Н.А. Бернштейн. – М., 1966.
4. Легкая атлетика: учебник для ин-тов физ. культуры / под ред. Н.Г. Озолина, В.И. Воронкина, Ю.Н. Примакова. – М.: Физкультура и спорт, 1989. – 671 с.
5. Биомеханическая специфика утомления при беге на 400 м / Е.Е. Аракелян [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 7. – С. 42–44.
6. Донской, Д.Д. Биомеханика: учебник для ин-тов физ. культуры / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
7. A model for the scientific preparation of high level sprinter / С. Delecluse [et al.] // New Studies in Athletics. – 1992. – V. 7. – N 4. – P. 57–64.
8. Биомеханические технологии подготовки спортсменов / И.П. Ратов [и др.]. – М.: ФиС, 2007. – С. 7–11.
9. Критерии механической эффективности и экономичности бега на середине дистанции / Е.Б. Мякличенко [и др.] // Факторы, лимитирующие повышение спортивной работоспособности у спортсменов высокой квалификации. – М.: ГЦОЛИФК. – С. 111–115.
10. Сотский, Н.Б. Энергетический подход при оценке биомеханической эффективности локомоций / Н.Б. Сотский, Ж.В. Корнеева // Мир спорта. – 2009. – № 1. – С. 13–17.

Поступила 16.04.2010

ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИКИ ПРЫЖКОВ В ДЛИНУ С РАЗБЕГА С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ

Эльмариemi Абдуррахман Масауд,

Т.П. Юшкевич, д-р пед. наук, профессор,

Белорусский государственный университет физической культуры

В статье представлен анализ традиционно сложившихся представлений о формировании спортивной техники, на основании чего была высказана гипотеза о повышении эффективности процесса обучения технике прыжков в длину с разбега, построенном на основе учета индивидуальных особенностей спортсменов.

The analysis of traditionally formed notions concerning sports technique development is presented in the article. On this basis a hypothesis on the efficiency of long running jumps improvement based on athletes' individual peculiarities was formulated.

Обучение спортивной технике – это педагогический процесс формирования и совершенствования необходимых спортсмену знаний, умений и навыков [1].