

4517.196
3754

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

Воронов Андрей Владимирович

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИКИ БЕГА КОНЬКОБЕЖЦЕВ ВЫСКОЙ
КВАЛИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ
ЭНЕРГОЗАТРАТ

13.00.04 - Теория и методика физического
воспитания и спортивной тренировки

01.02.08 - Биомеханика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата педагогических наук

Москва - 1987

517.196
3754

Работа выполнена в Государственном центральном ордена
Ленина институте физической культуры

Научный руководитель - доктор педагогических наук,
профессор ЗАЦОРСКИЙ В.М.

Официальные оппоненты: доктор педагогических наук,
профессор РАТОВ И.П.
кандидат педагогических наук
ПАНОВ Г.М.

Ведущая организация - Государственный дважды ордено-
носный институт физической культу-
ры им. П.Ф.Лесгафта

Защита диссертации состоится " 7 " 01 19 88 г. в
" 17 " час. на заседании специализированного Совета
Д 046.01.01 Государственного центрального ордена Ленина инсти-
тута физической культуры по адресу: Москва, Сиреневый бульвар,
Д.4.

библиотеке института.

19 87 г.

Л. Годик

БИБЛИОТЕКА
Львовского гос.
института физической культуры

Актуальность исследования определяется возросшими требованиями к технической подготовленности спортсменов необходимостью обучения эффективным вариантам техники бега на коньках, т.е. таким способам бега, когда заданная скорость передвижения сопровождается меньшими энергозатратами.

Новизна. Впервые построены механико-математические модели бега на коньках на прямой (плоский и пространственный случай), позволяющие определить различные кинематические, динамические и энергетические характеристики движения.

Определены рациональные по критерию минимизации механических энергозатрат (МЭЗ) варианты техники бега конькобежцев.

Показано, что существуют два варианта техники бега на коньках: при первом внутрицикловая скорость в двухопорном отталкивании увеличивается на 0,3 - 0,7 м/с; во втором - снижается на 0,2 - 0,1 м/с.

Определены величины аэродинамического сопротивления конькобежцев в различных фазах шага. Наименьшее аэродинамическое сопротивление в положении "свободного проката" (прямая) и "начало двухопорного отталкивания" - поворот.

Выявлено, что использование варианта бега "с подседанием" на опорной ноге повышает механическую эффективность.

Практическая значимость. При помощи разработанной модели можно определить силы и моменты в суставах, а также рассчитать механические энергозатраты для любого конькобежца с учетом индивидуальных особенностей его техники. Моделирование движения каждого спортсмена позволяет проводить целенаправленную индивидуальную техническую подготовку и выбирать оптимальные варианты техники. Использование ЭМ сокращает время, необходимое для определения эффективных вариантов техники.

Результаты исследования нашли практическое применение в тре-

нировке сборной СССР по конькам, а также при чтении курса лекций по биомеханике конькобежного спорта для слушателей НИИ.

Цель работы - определение экономичных вариантов бега на прямой, т.е. таких способов передвижения, при которых заданная скорость обеспечивается меньшими энергозатратами:

Задачи исследования. Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) определить аэродинамические силы, действующие на конькобежцев ;
- 2) изучить кинематику бега на коньках на прямой (продольные и поперечные скорости) ;
- 3) выявить влияние амплитуды подседа на энергозатраты (в условиях имитации на тренажере) ;
- 4) разработать механико-математические модели техники бега на коньках (плоский и пространственный случай), запрограммировать их на ЭМ и на этой основе решить следующие вопросы оптимизации техники бега:
 - а) определить влияние различных способов выполнения двухопорного отталкивания на механические энергозатраты в суставах;
 - б) оценить влияние аэродинамических сил, высоты посадки, амплитуды подседа маховых звеньев, глубины подседа на управляющие моменты и МЭЭ в шаге ;
- 5) сравнить различные способы оценки МЭЭ на предмет их совпадения с МЭЭ в пространственной задаче (предполагается, что МЭЭ в пространственной модели наиболее точно отражает механические энергозатраты конькобежцев).

Логическая схема исследования представлена на рисунке 1.

Методы и организация исследования. Для решения поставленных задач использовались следующие методы: 1. Анализ и обобщение литературных данных по биомеханике конькобежного спорта. 2. Кино-

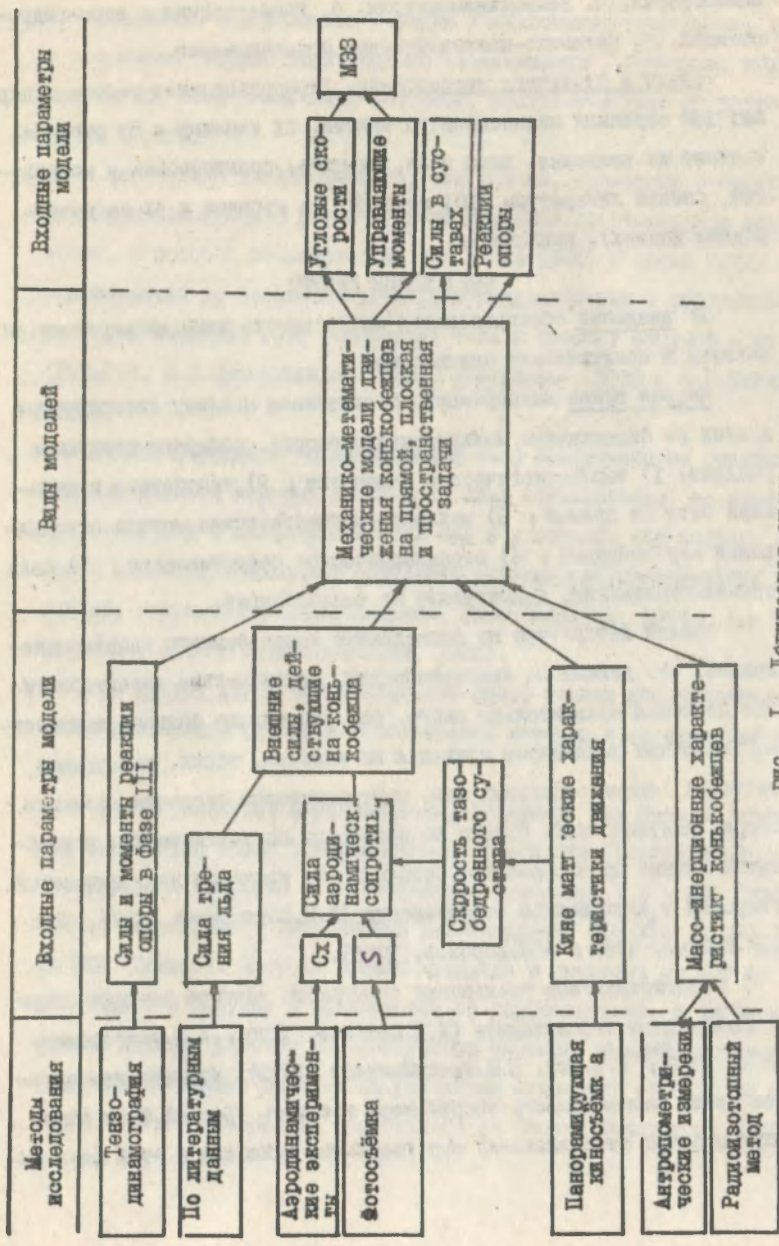


Рис. 1. Логическая схема исследования

циклография. 3. Тензодинамометрия. 4. Исследования в аэро-гидро-стендах. 5. Механико-математическое моделирование.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа содержит 163 страницы машинописного текста, 21 таблицу и 53 рисунка, состоит из введения, пяти глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы (101 источник на русском и 41 на иностранных языках), приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, ее новизна и практическая значимость.

Первая глава диссертации, посвященная анализу литературных данных по биомеханике конькобежного спорта, содержит следующие разделы: 1) терминологические замечания; 2) кинематика и динамика бега на прямой; 3) механико-математические модели отталкивания конькобежцев; 4) аэродинамическое сопротивление; 5) силы трения-скольжения, действующие на конькобежцев.

Анализ литературы по биомеханике конькобежного спорта показывает, что данных по кинематическим, динамическим характеристикам движения сравнительно много. Они охватывают большое количество различных параметров движения на коньках, таких, как углы в суставах, время отдельных фаз, внутрицикловые скорости, реакция опоры, импульс силы. Однако по некоторым биомеханическим показателям данные противоречивы. Особенно это касается внутрицикло-вой скорости в двухопорном отталкивании (А.М.Докторевич, 1974, 1976; Н.Н.Пуцина, 1983; А.М.Дорохов, 1985).

Зарегистрировав уменьшение суммарного вектора реакции опоры в двухопорном отталкивании (М.П.Соколов, 1970; А.М.Докторевич, 1974, 1976; Р.Ч.Рек, Е.Н.Красильников, 1972), большинство авторов стали рекомендовать спортсменам избегать третьей фазы (фазы двухопорного отталкивания) под предлогом снижения в этой фазе им-

пульса силы отталкивания, а значит и скорости бега.

Изучение аэродинамики посадки конькобежцев проводилось лишь в положении "начало двухопорного отталкивания". Величины, полученные при этом различными авторами, отличаются друг от друга в 1,5 - 2 раза.

Необходимо также отметить, что модели, связанные с отталкиванием конькобежцев, рассматривают движение спортсменов в виде точки, в которой сосредоточена вся масса (ОЦМ); кроме того, они основываются на весьма сомнительном предположении о постоянной скорости смещения (без ускорения) тела в сторону опорной ноги (Р.И.Рек, Е.Н.Красильников, 1972; *Schenau*, 1980; П.П.Ткачев, 1982).

Такое упрощенное представление тела спортсмена не позволяет оценить влияние маховых звеньев на силу отталкивания, не дает представления о силах и моментах сил в суставах. Для полного описания движения необходимо составить систему дифференциальных уравнений, например, в форме Лагранжа (В.В.Белецкий, 1984; А.М.Формальский, 1982; М.Вукобратович, 1985).

Во второй главе сформулированы цель, задачи исследования, а также приводится описание используемых методов и организации исследования.

Для определения кинематических характеристик тик бега на прямой был разработан метод панорамирующей киносъемки, позволяющий регистрировать скорости с относительной точностью 1,5 - 2%. Киносъемка конькобежцев проводилась кинокамерами *Heitec* и СКС-1М на ИКД "Динамо". Частота съемки менялась в пределах от 100 до 250 кадров в секунду в зависимости от скорости бега. В экспериментах приняли участие 20 спортсменов МС-МСМК. Каждый спортсмен выполнял несколько попыток на различных скоростях от 9 до 12 м/с. Обработка киноматериалов проводилась на стереокампораторе *Steco 1818*

Аэродинамические эксперименты проводились на кафедрах аэродинамики МВТУ им.Баумана и МАТИ на модели тела конькобежца. Скорость набегающего потока менялась от 5 до 48 м/с. Значения аэродинамических сил, действующих на модель, определялись прямым взвешиванием, лобовая площадь - фотографированием модели спереди. Точность определения коэффициентов аэродинамического сопротивления составила $\pm 6\%$.

Для определения влияния подседа на коэффициент механической эффективности имитации (КМЭ) спортсмены выполняли имитацию бега на коньках на графитовой доске переменной длины - 1,8 м; 2,0 м; 2,2 м, установленной на двух тензоплатформах ПЦ-3 конструкции БУТИ. Спортсмены выполняли 6 попыток двумя способами "с подседом" и "без подседа". Усилия с тензоплатформы регистрировались на осциллографе У-115; скорость протяжки ленты 50 мм/с, также на осциллографе записывались гониограммы тазобедренного и коленного сустава голчковой ноги. На последней минуте работы проводился забор выдыхаемого воздуха в мешок Дугласа. Анализ выдыхаемой газовой смеси выполнялся на газоанализаторе "Бекман". Отдых между попытками давался до полного восстановления и составил 12-15 минут.

Масс-инерционные характеристики конькобежцев определялись с помощью радиоизотопного метода (В.М.Зандорский, А.С.Аруин, В.Н.Селуянов, 1981).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ БЕГА НА КОНЬКАХ

Изучение масс-инерционных характеристик тела конькобежцев показало, что с ростом квалификации неуклонно возрастают относительная масса бедра и нижнего отдела туловища. У МСМК масса бедра составляет 17% от веса тела, у юных спортсменов - 15%.

Анализ кинематических особенностей бега на прямой конькобежцев высокой квалификации показал, что участников эксперимента

(20 человек) можно разделить на две группы. К первой относятся те конькобежцы, у которых внутрицикловая скорость ОЦМ возрастает в одноопорном и двухопорном отталкиваниях. Во вторую группу входят конькобежцы, у которых скорость ОЦМ в двухопорном периоде снижается (рис. 2). В фазе III скорость бега не уменьшается в том случае, если конькобежец начинает отталкивание в двухопорном положении с малых углов смещения и длительность отталкивания в фазе составляет не менее 30% от времени шага.

Моделирование бега на коньках на тренажере позволило определить влияние упруго-вязких свойств мышц на КМЭ имитации: использование подседа в 14° повышает КМЭ имитации на 8%. Изучение двухопорной фазы на графитовой доске показало, что существуют два варианта переноса веса на опорную ногу:

первый – загрузка опорной ноги в конце двухопорной фазы ;
 второй – перенос веса на опорную ногу с момента ее постановки на опору (различные варианты загрузки опорной ноги представлены на рис. 3).

В результате аэродинамических экспериментов доказана возможность переноса на натуре коэффициентов аэродинамического сопротивления, полученных на модели. Определено, что:

а) C_x существенно зависит от формы посадки конькобежцев ;
 для отдельных положений эти различия достигают 18% ;

б) суммарная сила аэродинамического сопротивления ($F_{\text{аэ}}$) меняется в зависимости от скорости бега и посадки. При скорости бега 11 м/с и безветрии максимальное аэродинамическое сопротивление равно в среднем 23 Н, минимальное – 14 Н ;

в) наибольшее аэродинамическое воздействие испытывает туловище (10 Н) ; силы, действующие на бедро и голень, не превышают 3 – 5 Н (рис. 4).

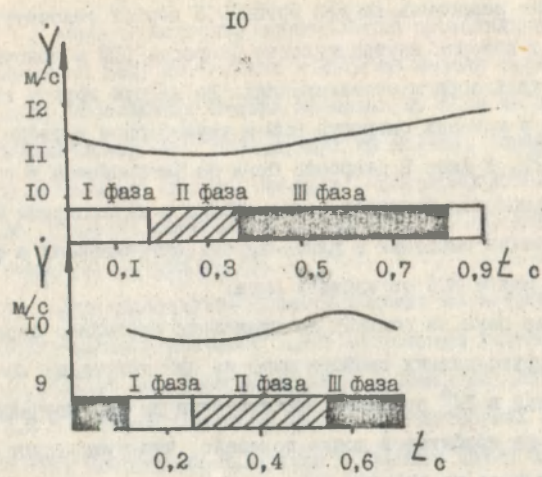


рис. 2. Внутрицикловые скорости ЦМ /—/ различных групп испытуемых по фазам шага.

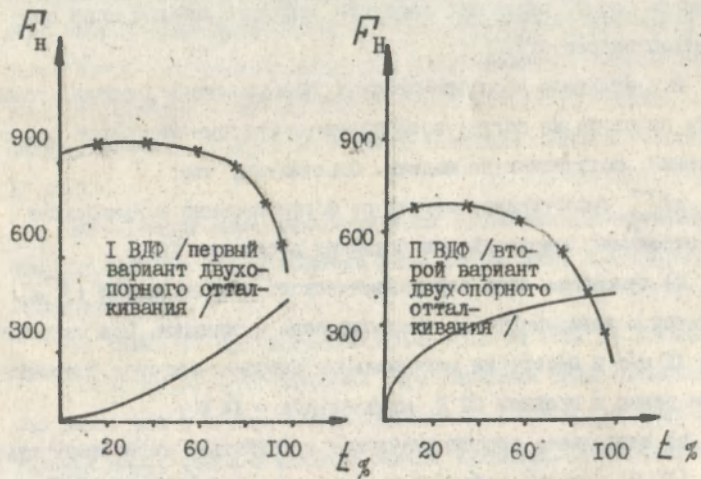


Рис. 3. Вертикальные составляющие опорных реакций на толчковую /—x—/ и опорной ноги /—/ в период период двухопорного отталкивания, зарегистрированные на тензоплатформе.

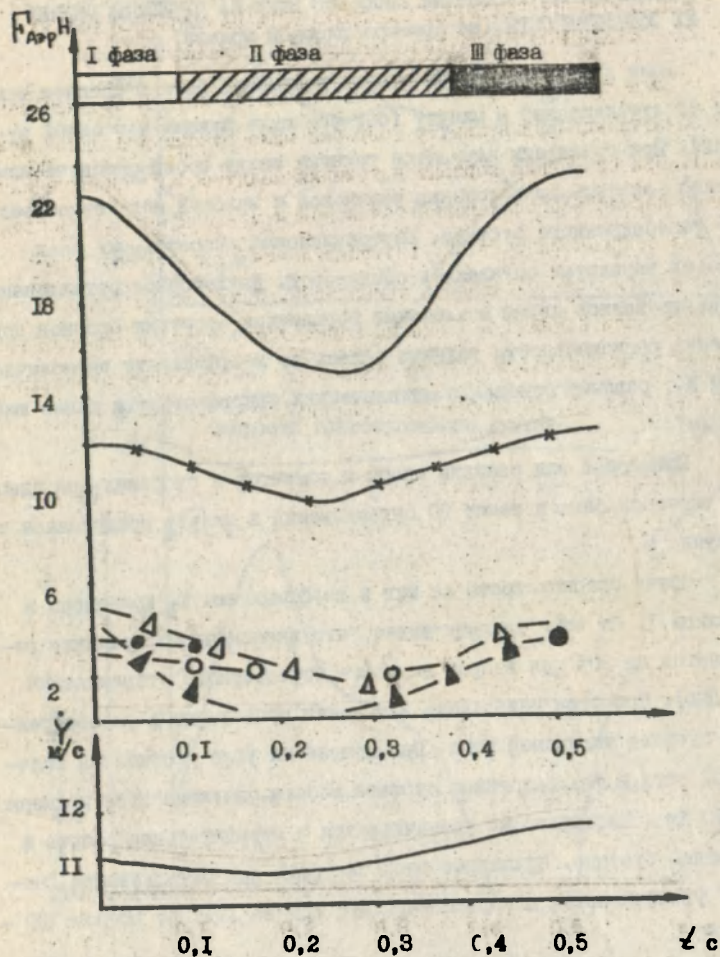


Рис. 4 Изменение сил аэродинамического сопротивления в ноге в беге на прямой, — суммарные силы сопротивления воздуха, — $R_{\text{аэр}}$ действующее на туловище, — $R_{\text{аэр}}$ действующая на голень опорно-толчковой ноги, — $R_{\text{аэр}}$ действующая на голень махово-опорной ноги, — $R_{\text{аэр}}$ действующая на бедро опорно-толчковой ноги, — $R_{\text{аэр}}$ действующая на бедро махово-опорной ноги.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ БЕГА НА ПРЯМОЙ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ (на примере плоской модели)

Были проанализированы восемь вариантов бега в среднем темпе 80 отталкиваний в минуту (бег без маха руками и с одной рукой). При сравнении вариантов техники между собой основными изменениями касались расположения толчковой и маховой ног относительно тазобедренного сустава. Внутрицикловая скорость во всех восьми вариантах оставалась одинаковой. Двухопорное отталкивание моделировалось двумя возможными вариантами загрузки опорной ноги. Оценка рациональности техники велась по коэффициенту экономичности K_T , равному отношению механических энергозатрат к длине шага (Дж/м).

Примерный вид реакции опоры и моментов в суставах при одном из способов бега в темпе 80 отталкиваний в минуту представлен на рисунке 5

Общие энергозатраты за шаг и коэффициенты K_T приведены в таблице I. Из этой таблицы видно, что экономичность техники повышается на 30% при втором варианте двухопорного отталкивания (II ВДФ). При этом наибольшие изменения происходят в тазобедренном суставе толчковой ноги. При изменении угла разгибания толчковой ноги в тазобедренном суставе работа увеличивается примерно на 60 Дж. Настолько же увеличивается и отрицательная работа в коленном суставе. Суммарные энергозатраты при отталкивании "назад" увеличиваются в первом варианте ВДФ на 17%, во втором ВДФ — на 13%.

При беге в среднем темпе — 80 отталкиваний в минуту суммарные энергозатраты на движение маховой руки не превышают 6-7% и существенно не сказываются на экономичности техники. Энергозатраты на метр пути увеличиваются всего на 3 Дж/м во всех способах. Движения маховых рук приводят к перераспределению энергозатрат

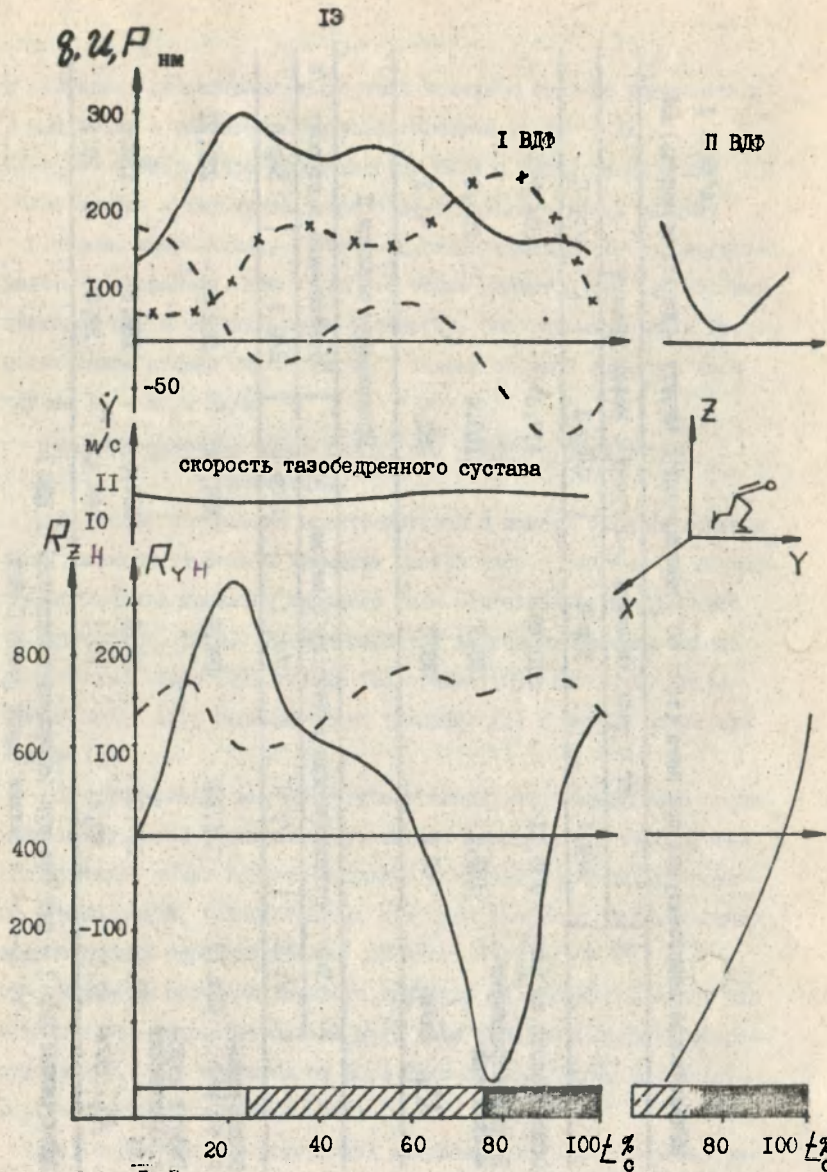


Рис. 5. Зависимость моментов в суставах толчковой ноги / g, u, p / и реакции опоры по Z/R_z и Y/R_y от способа двух-опорного отталкивания / темп 80 отталкиваний в мин. /
 ———— тазобедренный, - - - - коленный,
 - - - - голенистоопный .

Таблица I
Механические энергозатраты при беге (темп 80 отталкиваний в минуту - исходная модель) Дж

	Бег с отталкиванием в сторону с махом руками		
	Б/р I	Б/р II	С/ор II
Общая работа за шаг	393, II	310, 49	417, 57
Работа аэродинамических сил	138, I	138, I	150, 4
K_1 Дж/м	48, 5	38, 3	51, 5

Продолжение таблицы I

	Бег с отталкиванием в сторону с махом			Отталкивание в сторону Б/М		
	Б/р I	Б/р II	С/ор I	С/ор II	Б/р I	Б/р II
Общая работа за шаг	462, I8	351, 26	486, 9	376, 02	282, 02	239, 31
Работа аэродинамических сил	137, 84	137, 84	150, 0	150, 0	138, 8	138, 8
K_1 Дж/м	57, 0	43, 4	60, I	46, 4	32, 3	29, 5

Примечание: Б/р I - бег без рук (с руками за спиной) I ИФ;
С/ор II - бег с махами одной рукой II ИФ.

в суставах: положительная работа в коленном суставе уменьшается в два раза, в голеностопном увеличивается на 2 - 5 Дж.

Следует отметить, что эффективность бега с махом одной рукой очень близка к такому же показателю для бега с махом руками.

Самым экономичным, а значит и самым эффективным из рассматриваемых вариантов бега в среднем темпе является бег без маховых движений рук с отталкиванием в сторону, без активного маха (т.е. подведением колена маховой ноги к колену опорной ноги), в этом случае $K_1 = 29,5$ Дж/м.

ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОНЬКОБЕЖЦЕВ ПРИ ПОМОЩИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

В основу построения пространственной модели бега на коньках были положены теорема о движении центра масс и теорема об изменении количества движения твердого тела относительно центра масс (Й.Виттенбург, 1980). Рассматривается двенадцатизвенная модель спортсмена: стопа (2), голень (2), бедро (2), плечо (2), предплечье-кисть (2), верхний отдел туловища (1) и нижний отдел туловища (1).

При построении модели предполагалось, что звенья тела соединены между собой шарнирами двух типов: шаровыми - в тазобедренном суставе, точке подвеса туловища и плечевом; цилиндрическими - в коленном, голеностопном, локтевом суставах. Механические энергозатраты определяются по формуле: $A = \int M \cdot \dot{\varphi} \cdot dt$

Изучение пространственного движения на прямой показало, что механические энергозатраты на метр пути (МЭЗ) при средней скорости бега 9,8 м/с меняются от 60,4 Дж/м до 35,7 Дж/м. Почти двукратное уменьшение МЭЗ связано:

а) с уменьшением поперечных колебаний ОЦМ (при энергозатратах 35,7 Дж/м смещение ОЦМ в сторону на 0,3 м меньше, чем при энергозатратах 60 Дж/м);

б) с увеличением времени двухопорного отталкивания до 32,7% от времени шага ;

в) с завершением отталкивания пяткой, а не носком. Такое движение уменьшает моменты в голеностопном суставе и снижает МЭЗ в дга - три раза.

При моделировании на ЭМ пространственного движения за основу была взята реальная техника МСМК С.Еер-на. На примере этой попытки было рассмотрено, как меняется механическая работа в суставах в зависимости от некоторых кинематических и динамических характеристик.

Количество возможных комбинаций кинематических и динамических характеристик, которые можно ввести в ЭМ для изучения техники бега на прямой, практически безгранично. В нашем исследовании мы ограничились изучением влияния на технику следующих показателей:

- а) различных способов выполнения двухопорной фазы ;
- б) аэродинамического сопротивления ;
- в) амплитуды подседа ;
- г) времени фаз одноопорного и двухопорного отталкиваний ;
- д) высоты посадки.

Влияние двухопорной фазы на МЭЗ в суставах представлено на рисунке 6.

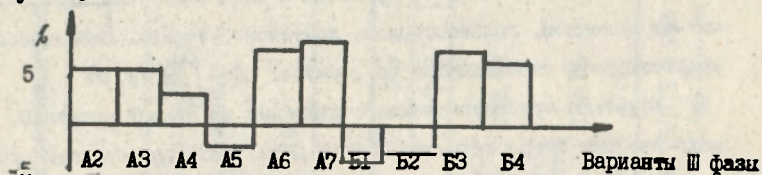


Рис. 6 Изменение механических энергозатрат в суставах (в процентах к варианту А1) в зависимости от способа двухопорного отталкивания

Снижение МЭЗ в шаге наблюдается в вариантах А5, Б1, Б2. В вари-

анте А5 точка приложения смещается ближе к носку ботинка. Такое положение соответствует опоре на переднюю часть конька. При этом энергозатраты в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах снижаются на 3,9%, 6,1%, 5,8%. В вариантах Б1 и Б2 нагрузка опорной ноги происходит по П ВДФ; энергозатраты снижаются на 4,1% и 3,6% соответственно, что составляет приблизительно 20 Дж. Наибольшее увеличение МЭЗ наблюдается в варианте А7 (36,68 Дж). В таком способе точка приложения смещается к пятке и конек ставится в положение "противоупора".

Увеличение силы сопротивления воздуха задавалось увеличением скорости встречного ветра с 0 м/с до 8 м/с. МЭЗ в голеностопном суставе толчковой ноги снижается с ростом аэродинамического сопротивления с 28,8 Дж/м, $V_a = 0$ м/с до 13 Дж/м, $V_a = 8$ м/с.

В коленном суставе работа увеличивается с 17,4 Дж до 28,4 Дж. Увеличение силы аэродинамического сопротивления не вызывает повышения МЭЗ в тазобедренном суставе толчковой ноги.

Изучение влияния подседа на МЭЗ в шаге проводилось при следующих предположениях:

а) подсед осуществляется в одноопорном положении в коленном суставе, при этом угол меняется с 110° до 98° . Суммарные энергозатраты в шаге по сравнению с реальной техникой возрастают на 14%, причем положительная работа увеличивается на 9%, а отрицательная на 30%. В изучаемых вариантах техники увеличение отрицательной части энергозатрат связано с подседом. Увеличение отрицательной работы на -40 Дж существенно на метаболически энергозатратах не скажется, поскольку эти -40 Дж с учетом коэффициентов эффективности отрицательной работы не превышают 8-12 Дж положительной (В.М. Зацорский, 1984; *Hatze*, 1980; В.М. Зацорский, Б.И. Прилуцкий, 1985). Приrost положительной работы за шаг в 40-50 Дж почти полностью компенсируется упруго-вязкими свойст-

вами мышц.

Уменьшение длительности двухопорного отталкивания с 0,346 с до 0,229 с приводило к тому, что МЭЗ во всех суставах толчковой ноги приблизительно возрастали в 1,5 раза (табл. 2). Общая работа за шаг при преимущественно одноопорном отталкивании увеличилась на 27%.

Влияние высоты посадки на МЭЗ при беге на прямой. Изменение высоты посадки задавалось углом в коленном суставе опорной ноги (изменение от 102° до 120°). Значения механических энергозатрат при таком способе бега приведены в таблице 2. Механические энергозатраты в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах снижались при возрастании угла на 26%, 30% и 16% соответственно. Такое значительное снижение МЭЗ в шаге происходит за счет уменьшения амплитуды движения звеньев в суставах: амплитуда разгибания ноги в тазобедренном суставе уменьшается с 80° до 60° , в коленном - с 80° до 61° , в голеностопном суставе амплитуда разгибания толчковой ноги не изменяется. При повышении посадки увеличиваются моменты силы в суставах толчковой ноги в двухопорном отталкивании; следовательно, такой способ бега можно рекомендовать для силовой тренировки конькобежцев.

Сравнительный анализ различных способов расчета механических энергозатрат проводился на примере трех моделей. Главные предположения, лежащие в основе построения этих моделей следующие:

модель 1 - тело моделируется материальной точкой, относительно которой двигаются звенья. Данная модель позволяет определить так называемые внешнюю и внутреннюю работы (W_{EX} - W_{IN});

модель 2 - построена на уравнениях Лагранжа (плоский случай);

модель 3 - рассматривается пространственное движение звеньев тела; МЭЗ, как и в плоской модели, определяются по работе мо-

Таблица 2

Механические энергозатраты в суставах при различных вариантах техники бега
(пространственная модель) Дж

Варианты техники бега	I	2	3	4	5					
Положительная и отрицательная работы за шаг	482,7	193,9	494,7	194,5	547,2	224,7	442,6	148	309	172
Суммарные энергозатраты за шаг	676,6	689,2	771,9	591,2	481,5					

Примечание: Для каждого сустава механические энергозатраты представлены по осям X, Y и Z

Первый столбец - положительная работа, второй - отрицательная.

I - бег с подседом в одноопорном положении.

2 - бег с подседом в одноопорном и двухопорном положениях.

3 - бег с увеличенным временем одноопорного отталкивания.

4 - реальная техника МСМК С. Бер-на.

5 - бег в высокой посадке.

ментов в суставах.

Механические энергозатраты в шаге, рассчитанные по трем моделям, представлены в таблице 3. Различия в МЭЗ, определенные по способу $w_{сг} - w_{лг}$ и моментам в суставах, существенны - порядка 150-200 Дж. Использование плоской модели более точно определяет общую работу в шаге, однако не очень хорошо оценивает работу в отдельных суставах.

Таблица 3

Сравнение различных способов расчета механических энергозатрат конькобежцев в Дж

№ попытки	Способы расчета МЭЗ			
	WEX	WIN	П	Ш
I	545,0	33,0	363,11	464,7
2	560,0	60,0	415,5	495,5
3	475,9	48,8	291,6	299,63
4	624,8	31,9	-	567,0

ВЫВОДЫ

I. Коэффициенты аэродинамического сопротивления конькобежцев существенно зависят от позы спортсменов. В зоне соревновательных скоростей (10,5 - 13 м/с) изменения позы меняет C_x на 16%.

Сила аэродинамического сопротивления, действующая на конькобежца, зависит от внутрицикловой скорости бега, позы и меняется в шаге от 14 Н до 24 Н ($V = 11$ м/с). Наибольшее сопротивление испытывает туловище - 10 Н; силы, действующие на голень и бедро, не превышают 3 - 5 Н. При скорости бега 11 м/с и отсутствии встречного ветра аэродинамическое сопротивление не превышает 25 Н. При увеличении скорости встречного ветра до 5 - 8 м/с сила аэродинамического сопротивления возрастает до 60 Н.

2. Скорость общего центра масс (ОЦМ) меняется в одном шаге на 0,5 - 1,5 м/с. Выделяются две группы спортсменов с различными изменениями внутрициклового скорости ОЦМ. У первой группы происходит равномерное увеличение скорости ОЦМ в одноопорном и двухопорном отталкиваниях; у спортсменов второй группы внутрициклового скорость ОЦМ в одноопорной фазе увеличивается, а в двухопорной снижается. С увеличением средней скорости бега у обеих групп спортсменов амплитуда внутрициклового колебаний скорости ОЦМ уменьшается.

Общие условия, соблюдение которых будет способствовать уменьшению колебаний скорости в шаге, таковы:

а) сокращение фазы свободного проката и одноопорного отталкивания;

б) уменьшение смещения туловища в одноопорной фазе в сторону махово-опорной ноги;

в) увеличение времени двухопорного отталкивания до 30% от времени всего шага.

Поперечные скорости середины тела (точки, близкой по своему расположению к ОЦМ) не превышают 1,7 м/с. Максимум скорости достигается в фазе свободного проката; изменение знака скорости связанное с изменением поперечного смещения, происходит в двухопорном положении.

3. Изучение имитации конькобежцев на тренажере показало, что при подседе, т.е. предварительном сгибании ноги в коленном суставе перед отталкиванием, равном 28° , коэффициент механической эффективности имитации (КМЭ) составляет 28%, при подседе в коленном суставе 14° КМЭ = 20%. Следовательно, увеличение амплитуды подседа в коленном суставе на 14° повышает КМЭ на 8%.

4. Составлены и запрограммированы на ЭВМ плоская и пространственная механико-математическая модели, описывающие движение

конькобежцев на прямой и позволяющие "проигрывать" различные варианты техники скользящего шага.

5. Результаты математического моделирования двухопорной фазы показывают, что механические энергозатраты при беге конькобежцев могут быть снижены за счет:

а) использования так называемого второго варианта двухопорной фазы (II ВДФ);

б) рациональной постановки конька опорной ноги на лед, а именно:

- смещением точки приложения силы реакции к центру масс стопы (вследствие постановки конька на все лезвие, а не на пятку);

- постановкой конька опорной ноги под ОЦМ тела, т.е. стремлением избежать "противоупора".

6. Моделирование различных вариантов скользящего шага на ЭМ показало, что:

- повышение аэродинамического сопротивления приводит к увеличению момента относительно оси X в коленном суставе и снижению в голеностопном;

- изменение высоты посадки больше всего сказывается на моментах в суставах по оси X . Чем выше посадка, тем больше величины моментов в коленном, тазобедренном и голеностопном суставах в период разгибания ноги;

- увеличение амплитуды подседа повышает МЭЭ на 14% по отношению к движению без подседа. Учитывая повышение КМЭ имитации при подседе (28% "с подседом" 28° против 20% "без подседа") можно считать, что при беге на коньках активное сгибание толчковой ноги в коленном суставе будет способствовать повышению экономичности скользящего шага; при этом часть механической работы будет выполняться за счет неметаболических источников энергии;

- снижение амплитуды движения маховой ноги относительно та-

зобедренного сустава уменьшает отрицательную часть реакции опоры в конце одноопорного отталкивания и способствует снижению МЭЗ на метр пути в 1,5 - 2 раза ;

- движение маховой руки приводит к перераспределению энергозатрат в суставах: положительная работа в коленном суставе уменьшается в 2 раза, в голеностопном - немного увеличивается.

7. Сравнение между собой различных способов расчетов МЭЗ показало, что способ расчета энергозатрат по принципу "внешняя-минус внутренняя" работы (*WEX-WIM*) весьма грубо оценивает МЭЗ в шаге. Использование плоской модели дает величину энергозатрат в шаге, близкую к значению МЭЗ, зарегистрированных в пространственном случае, однако сами величины моментов существенно отличаются от значений, полученных с учетом пространственных перемещений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Воронов А.В., Селуянов В.Н. Распределение массы тела конькобежцев разной квалификации // Конькобежный спорт: Ежегодник. - М., 1983. - С. 43-44.

2. Воронов А.Е., Прилуцкий Б.И., Райцин Л.М. Биомеханика и энергетика имитации бега на коньках на тренажере // Биомеханические аспекты энергетике спортивных движений: Сб. научных работ. - М., 1984. - С. 98-108

3. Воронов А.В., Андрушин М.А. Определение энергостойкости посадки конькобежцев // Управление техническим мастерством конькобежцев: Сб. науч. тр. - Смоленск, 1985. - С. 3-8.