

4517.196.6.
В 493

РОССИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

ВИНОГРАДОВА Валентина Ивановна

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИКИ ПРЫЖКОВ ФИГУРИСТОВ

01.02.08 - Биомеханика

13.00.04 - Теория и методика физического воспитания,
спортивной тренировки и оздоровительной
физической культуры

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата педагогических наук

Москва - 1994

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте физической культуры и спорта.

Научный руководитель - доктор педагогических наук, старший научный сотрудник Г. И. Попов.

Официальные оппоненты - доктор биологических наук, профессор В. К. Бальсевич,
- кандидат педагогических наук, доцент А. К. Тихомиров

Ведущее учреждение - Государственный дважды орденосный институт физической культуры им. П. Ф. Лесгафта.

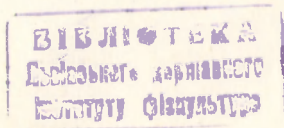
Защита диссертации состоится " 10" 08 1994 г. в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета Д. 046. 01. 01 при Российской государственной академии физической культуры, Москва, Сиреневый бульвар, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российской государственной академии физической культуры.

Автореферат разослан " 6" 04 1994 г.

ученый секретарь
Специализированного Совета
Д. 046. 01. 01 кандидат
педагогических наук, доцент

А. А. Шалманов



3487

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди различных видов спорта фигурное катание является наиболее сложным для математического описания, т.к. при этом движения спортсменов пространственные и выполняются при двуопорном и одноопорном скольжении, а также без опоры, при исполнении прыжков, и зависят от антропометрических параметров фигуристов.

Математическое описание движений фигуристов как в одиночном, так и парном катании с учетом всех особенностей исполнения отдельных фигур и элементов, а тем более составленных из них программ - задача чрезвычайной сложности хотя бы из-за их многообразия и многообразия последовательностей их исполнения.

Прогресс в фигурном катании неизбежно связан с совершенствованием техники исполнения отдельных элементов, связок, а значит - и программ в целом.

Поиск путей такого совершенствования является насущной потребностью этого вида спорта. Одним из перспективных способов определения тенденций развития технического усложнения упражнений в фигурном катании является математическое моделирование спортсменов и их двигательных действий.

В известной литературе достаточно полно описывается только качественная сторона биомеханики исполнения элементов фигурного катания. Количественные же исследования могут дать новый толчок к развитию техники фигурного катания в силу следующего:

- они могут дать об'яснения не всегда очевидным механическим явлениям, ведущим, например, к срыву исполнения отдельных элементов катания;
- они могут повлиять на разрешение спорных вопросов технической подготовки спортсмена и выбора соответствующей методики на основе количественных вариантных исследований;
- они могут стать основой для выбора и использования в

тренировочном процессе различных приспособлений и тренажеров;

- с их помощью можно разрабатывать индивидуальные программы катания для спортсменов, борющихся за мировое лидерство, с учетом антропометрических показателей, уровня технической и физической подготовки;

- с их помощью можно оценивать количественные показатели "двигательного будущего" спортсмена (И.П. Ратов, 1990, 1993 г. Г.И. Попов, 1992, 1993 г.) с целью выбора методики спортивной подготовки, ориентированной на высокие и рекордные достижения.

Все это определяет актуальность предпринятого исследования.

Целью работы являются теоретическое обоснование и практические предложения эффективного исполнения многооборотных прыжков для индивидуализации процесса подготовки фигуристов.

Гипотеза. Предполагалось, что математическое моделирование исполнения прыжков фигуристов позволит выявить основные признаки эффективной организации индивидуально - специализированного процесса обучения исполнению многооборотных прыжков и об'яснить причины срыва их исполнения.

Научная новизна состоит в следующем:

1. Результаты математического моделирования движений фигуриста при скольжении и при создании начального вращения в прыжках скольжением по дуге, закручиванием тела и стопорящим действием конька о лед.

2. Теоретическое обоснование причин срыва исполнения прыжков и падений фигуристов.

3. Биомеханическое обоснование эффективного исполнения прыжков с учетом антропометрических параметров тел фигуристов.

4. Обоснование эффективности использования упругих элементов в коньках-тренажерах для исполнения

многооборотных прыжков.

Практическая значимость. Заключается в предложенных рекомендациях по:

- методике отбора спортсменов по антропометрическим параметрам для эффективного исполнения прыжков;
- количественным оценкам и методике совершенствования движений при создании начального вращения в прыжках скольжением по дуге, закручиванием тела и стопорящим действием конька о лед.
- разработке и использованию коньков-тренажеров для исполнения прыжков;
- способу определения качества поверхности льда.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование математического моделирования исполнения многооборотных прыжков.
2. Педагогические рекомендации для создания начального вращения в прыжках, выбора траектории полета и техники приземления на основе биомеханических закономерностей их исполнения.
3. Степень влияния антропометрических параметров фигуриста на исполнение различных прыжков.
4. Эффективность использования предложенных коньков - тренажеров в учебно - тренировочном процессе.

Объем и структура диссертации.

Работа состоит из введения, 9 глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложения. Она изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, 34 рисунка. Список аннотированной литературы представлен 175 работами отечественных и 20 работами зарубежных авторов. К диссертации прилагается акт о внедрении результатов научных исследований в практику и 5 авторских свидетельств на изобретения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена общая характеристика работы. Обосновывается актуальность рассматриваемой проблемы, формули-

руются цель исследований, научная новизна работы и основные положения, которые выносятся на защиту. Показывается достоверность результатов исследований и их практическая ценность.

Обзор исследований других авторов показывает, что количество отечественных диссертационных работ, касающихся фигурного катания, около 30-ти. Авторами основных работ являются Абсалямова И.В., Андрианов Ю.А., Апарин В.А., Гришина М.В., Гросс Я.А., Ершова Н.А., Ирошникова Н.И., Кирсанов Н.И., Клинова Т.С., Коган А.И., Корешев И.А., Кузнецов А.В., Левина Г.Е., Медведева И.М., Мишин А.Н., Морозова Ж.Ю., Орлов А.К., Панин Н.А., Саная М.В., Скуратова Т.В., Смирнова И.К., Соловьев В.Н., Тихимиров А.К., Торунова Э.Л., Хамаганова Г.Г., Хисматуллина Л.Я. и др..

Биомеханике фигурного катания посвящены работы Мишина А.Н., Москвиной Т.Н., Панина Н.А., Хисматуллиной Л.Я. и Банновой С.С..

Выполненная работа, по существу, является продолжением исследований, проведенных в этих работах и, главным образом, исследований Мишина А.Н..

ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной в работе цели предстояло решить следующие задачи:

1. Разработать математические модели движений фигуриста при:

- а) Одноопорном скольжении по дуге;
- б) Создании начального вращения в прыжках
 - скольжением по дуге,
 - закручиванием тела,
 - стопорящим действием конька о лед.

2. Исследовать движения фигуриста в свободном полете и при приземлении.

3. Обосновать эффективность упругого удара о лед при приземлении для увеличения многооборотности прыжков.

4. Выявить наиболее существенные признаки биомеханики

движений в прыжках для организации индивидуально-специализированного учебно-тренировочного процесса.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы исследований: анализ литературных данных, математическое моделирование спортсменов и их движений и педагогическое наблюдение.

Организация исследований строилась в соответствии с целями и задачами. ЭНД начиналась анализом научно-методической литературы. Были изучены методы моделирования движений как в фигурном катании, так и в других видах спорта и те, что используются в технике.

Анализ математических моделей выполнялся численно и аналитически, а результаты представлялись в табличной и графической формах, а также в виде формул.

Теоретически полученные результаты сравнивались с экспериментальными, опубликованными в работах А. Н. Мишина.

Научно-обоснованные педагогические результаты использовались автором диссертации для индивидуализации учебно-тренировочного процесса фигуристов ДЮСШ стадиона "Авангард". В итоге был произведен синтез наиболее существенных педагогических признаков, выявленных теоретически и подтвержденных практически при анализе движений фигуристов, выполнявших прыжки.

ОДНООПОРНОЕ СКОЛЬЖЕНИЕ ФИГУРИСТА

Рассматривается биомеханика одноопорного скольжения фигуриста при малых углах отклонения его тела от нормали к поверхности льда. При этом обосновывается допущение, что массу тела фигуриста можно сосредоточить в центре его тяжести. В результате определяется закон движения материальной точки под действием силы веса P фигуриста, силы F трения его конька о лед и реакции N опоры конька о лед. Решение задачи биодинамики осуществляется с помощью принципа даламбера.

Показано, что величина F силы трения конька фигуриста о лед зависит от скорости v его скольжения, радиуса R

кривизны траектории скольжения и, естественно, от массы m тела фигуриста

$$F = f m \sqrt{g^2 + v^4 / R},$$

где f - коэффициент трения пары конек-лед, g - ускорение силы тяжести.

Закон движения по дуге окружности с радиусом R имеет вид

$$S = \frac{R}{2f} \ln \frac{v_0^2 + \sqrt{g^2 R^2 + v_0^4}}{v^2 + \sqrt{g^2 R^2 + v^4}}$$

Если тренера интересует путь S скольжения фигуриста до момента, когда он останавливается, то в последнем уравнении следует положить $v=0$.

Если скольжение фигуриста происходит по дуге с переменным радиусом кривизны, то она аппроксимируется дугами окружностей, расчеты выполняются по полученным в работе формулам для каждого участка, а начальными условиями движения для последующего участка являются условия, определенные для конца предыдущего участка.

В этой же главе определяются и геометрические параметры биомеханики скольжения фигуриста, когда в качестве его модели принимается стержень, длина l которого равна росту фигуриста, а по весу P они одинаковые.

Показано, что часто принимаемое в научных статьях допущение, что линия действия реакции N опоры фигуриста проходит через центр его тяжести, не соответствует действительности.

Условия равновесного скольжения показывают, что угол μ отклонения реакции N опоры и угол α отклонения оси тела фигуриста от нормали к поверхности льда связаны между собой соотношением

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\omega^2}{g} \left(R - \frac{l}{2} \sin \alpha \right),$$

где ω - угловая скорость фигуриста при скольжении по дуге с радиусом R .

Если угол α велик, то биомеханика скольжения фигуриста описывается нелинейным уравнением

$$\frac{\omega^2}{3g} \left(R - \frac{\ell}{2} \sin \alpha \right) \frac{3R - 2\ell \sin \alpha}{2R - \ell \sin \alpha} \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{2} = 0 \quad (1)$$

Результаты его численного решения представлены в виде графиков на Рис. 1 и Рис. 2 для фигуриста, рост которого $\ell = 1,7$ м.

Если положить $\sin \alpha = \alpha$, а $\cos \alpha = 1$, то решением уравнения (1) будет зависимость

$$\alpha = \frac{R \omega^2}{g + 2\ell \omega^2 / 3} \quad (2)$$

которая позволяет получать результаты, отличающиеся от точных по уравнению (1) не более, чем на 5%, когда угол α отклонения фигуриста от нормали к поверхности льда не превышает 25%.

Падение фигуриста или срыв прыжка, упреждающий падение, происходят, как правило, перед отрывом фигуриста ото льда. В этот момент фигурист скользит по дуге большой кривизны, приближаясь на расстояние a головой к нормали для поверхности льда, проходящей через центр кривизны дуги скольжения.

Биомеханические параметры движения фигуриста во время, когда создается начальное вращение перед прыжком, связаны нелинейным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{\omega^2}{3g} \left(3a^2 + \frac{5}{2} a \ell \sin \alpha + \frac{\ell^2}{2} \sin^2 \alpha \right) \cos \alpha - \\ a \sin \alpha - \frac{\ell}{2} \sin^2 \alpha = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Результаты численного решения этого уравнения представлены на Рис. 3 и Рис. 4 для фигуриста, рост которого $\ell = 1,7$ м.

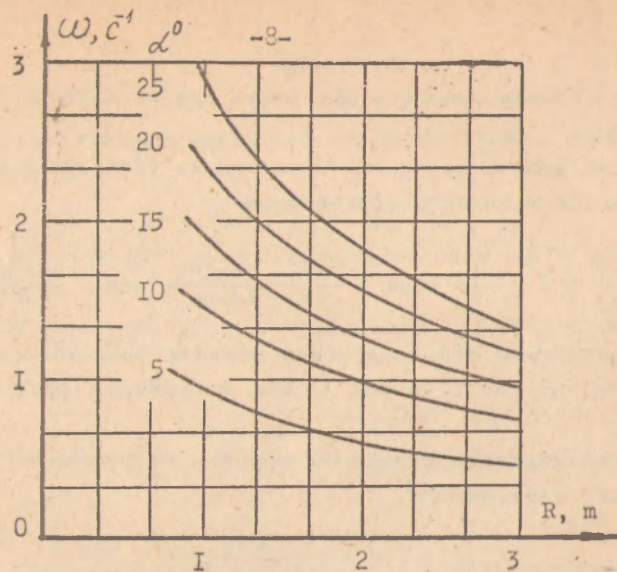


Рис.1 Зависимость угловой скорости ω фигуриста от радиуса R кривизны его следа и угла α его наклона.

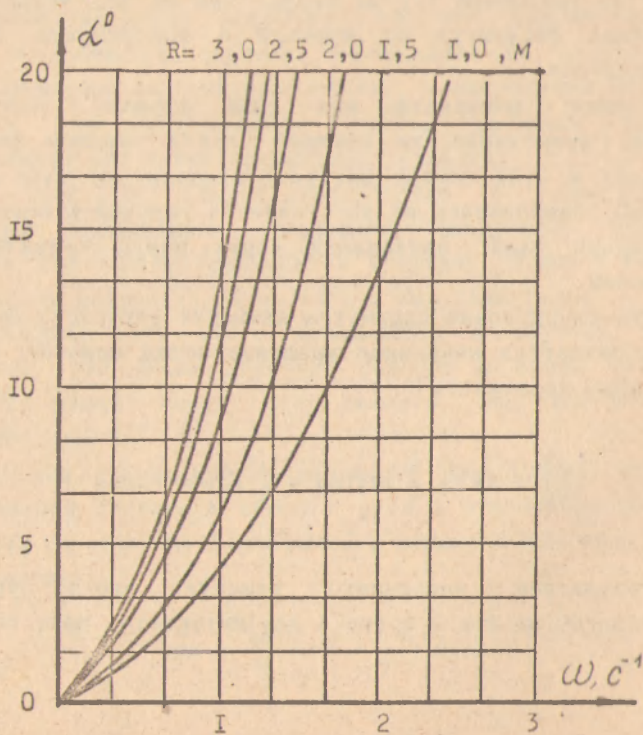


Рис.2 Зависимость угла α наклона фигуриста от угловой скорости ω и радиуса R его следа.

из рисунков следует, что малые изменения угловой скорости ω при неизменном a вызывают большие изменения угла α отклонения фигуриста от нормали к поверхности льда.

Величина же изменения угловой скорости ω для поддержания заданного значения угла α с уменьшением расстояния a быстро увеличивается. Особенно быстро это происходит при малых значениях a , то есть во время, предшествующее прыжку.

Очевидно, что обнаруженные явления должны учитываться при тренировках фигуристов, так как они могут быть причинами их падений и срывов прыжков.

Для малых углов α , когда $\sin \alpha \approx \alpha$, $\cos \alpha \approx 1$, из формулы (3) следует

$$\alpha = \frac{a}{g/\omega^2 - l/3}$$

Эта зависимость подтверждает выводы, полученные численно на основании уравнения (3), так как связь между α и ω квадратичная.

Этот результат и те, что приведены на Рис. 3 и Рис. 4, убедительно показывают, что научить фигуриста прыжкам можно только длительной тренировкой, обращая особое внимание на развитие у него способности к координации движений. Хорошо тренированные фигуристы должны уметь почти автоматически реагировать на очень быстро изменяющиеся геометрические параметры движения их тел.

Успеха на тренировках будут добиваться быстрее те фигуристы, которые обладают высокой чувствительностью к положению равновесия своего тела и почти мгновенной реакцией на изменение этого положения.

Перед прыжком может случиться и так, что ось вращения будет пересекать тело фигуриста на расстоянии z со стороны головы. Очевидно, что при определенных соотношениях параметров скольжения падение фигуриста или срыв прыжка становятся неизбежными.

В работе показано, что фигурист может сохранить

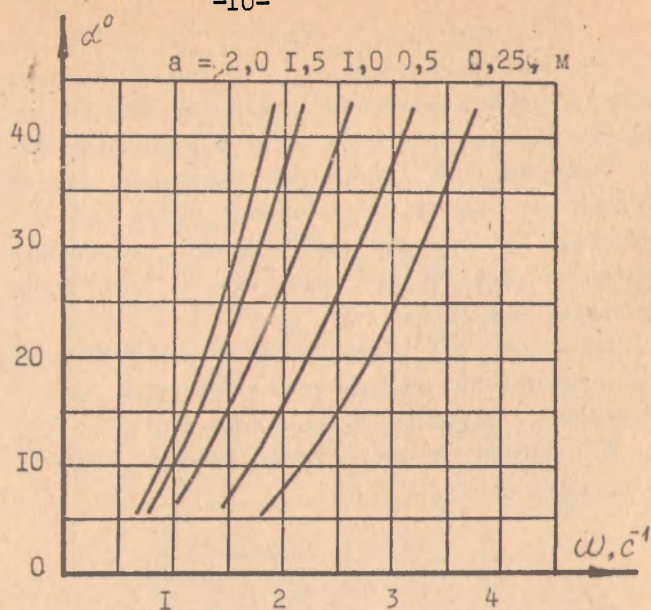


Рис.3 Зависимость угла α от величины угловой скорости ω и a — расстояния головы фигуриста от оси вращения.

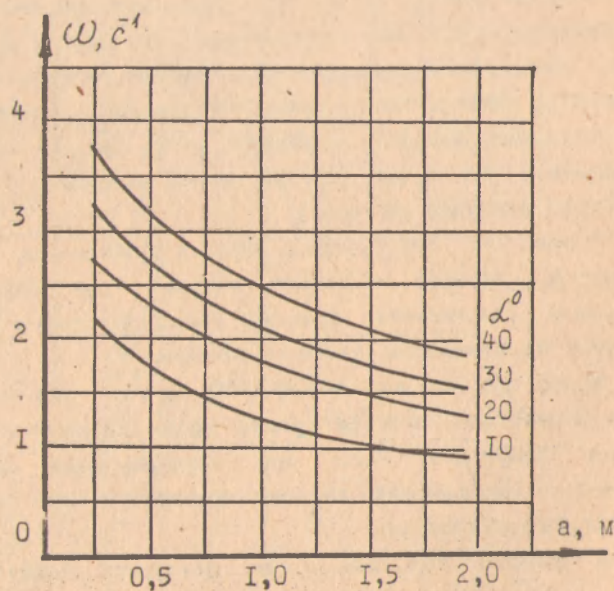


Рис.4 Зависимость угловой скорости ω от расстояния a его головы от оси вращения.

равновесие только тогда, когда ось его вращения, пересекая ось его тела, отсекает от нее со стороны головы меньше трети его роста ℓ .

ДВИЖЕНИЯ ФИГУРИСТА ПРИ СОЗДАНИИ НАЧАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ В ПРЫЖКАХ ЗАКРУЧИВАНИЕМ ТЕЛА

Такой способ создания начального вращения является основным для исполнения многооборотных прыжков: Петля, Тулуп, Флип, Лутц и Валлей и вспомогательным при исполнении других прыжков.

Предполагается, что скорость ω_0 вращения плеч фигуриста в момент отрыва его ото льда известна и, что тело фигуриста закручивается от опорного конька по линейному закону.

Используя эти допущения, набирая тело фигуриста дискретными элементарными кольцами, переходя к пределу при определении кинетического момента K , заменяя суммирование в формуле

$$K = \sum_{i=1}^n J_{ix} \omega_{ix}$$

интегрированием, получим

$$K = \frac{1}{2} \pi m_0 \frac{\omega_0}{\ell} \int_0^{\ell} x r^4 dx,$$

где m_0 - средняя величина массы единицы объема тела фигуриста, x - текущая координата оси тела фигуриста с началом в точке опоры конька, ℓ - приведенный рост фигуриста, r - текущий радиус нормальных сечений тела фигуриста.

Если форма тела фигуриста приближается к конической с вершиной в точке опоры конька, то величина кинетического момента K_3 в работе определена: $K_3 = 0,25MR^2\omega_0$, где M - масса тела фигуриста, а R - радиус основания конуса.

Известно, что кинетический момент абсолютно твердого конуса равен $K = 0,3MR^2\omega$, где ω - скорость вращения конуса вокруг его оси.

При принятых нами допущениях по закону сохранения кинетического момента в полете получено, что скорость ω

вращения фигуриста в полете на 20% меньше скорости ω закручивания его плеч в момент отрыва ото льда.

Таким образом, максимальной скорости ω вращения в полете фигурист может достичь только при совмещении момента отрыва фигуриста ото льда с моментом достижения максимального значения скорости ω вращения его плеч.

Теоретически полученный результат может быть использован на практике как на тренировках, так и на соревнованиях, потому что фигурист способен чувственно фиксировать как момент отрыва опорного конька ото льда, так и момент достижения максимального значения скорости ω вращения своих плеч. Обучаясь фигурному катанию, фигурист должен развивать чувственное восприятие указанных моментов и стремиться к их совмещению.

Далее в этой главе показывается, что форма тела фигуриста оказывает существенное влияние на скорость ω вращения его в полете.

В работе показано, что формула для определения кинетического момента закручивающегося цилиндрического тела фигуриста такая же, как и для конического. Этот теоретический результат важен для практики, так как позволяет не рассматривать движения фигуриста перед прыжком, связанные как с его приседанием, так и вставанием и, следовательно, с изменением при этом формы его тела.

Кинетический момент вращающегося вокруг оси абсолютно твердого цилиндра, как известно, определяется формулой $K=0,5MR^2\omega$.

Учитывая закон сохранения кинетического момента в полете, получаем для этого случая, что скорость ω вращения фигуриста в полете в два раза меньше скорости ω вращения его плеч в момент отрыва ото льда.

Имея в виду, что формы тел фигуристов находятся между формой конуса и цилиндра, можно сделать важный для практики вывод, что скорости вращения фигуристов в полете отличаются от скоростей ω вращения их плеч не менее, чем на 20%, и не

более, чем на 50%.

Практика фигурного катания показывает, что на скорость ω вращения и, следовательно, многооборотность прыжка фигуриста можно влиять движением рук и свободной ноги.

Учитывая антропометрические параметры фигуриста и выделяя массовые доли k_1 , k_2 , k_3 и k_4 руки, головы, ноги и остальной части тела, для вычисления кинетических моментов вращения фигуристов в работе получены формулы. Они учитывают влияние длин ℓ_p и ℓ_n рук и ног фигуриста, закрепленных на расстоянии R от оси его тела, на скорость ω вращения фигуриста в полете

- для конической формы тела

$$\omega = \frac{2(\frac{1}{3}\ell_p^2/R^2 + 1)k_1 + 0,4r^2k_2/R^2 + \frac{x\ell_n^2k_3}{3\ell}\sin^2\alpha/R^2 + \frac{1}{4}k_4}{0,3(2k_1 + 2k_2 + k_4) + 0,4r^2k_2/R^2} \omega_0$$

- для цилиндрической формы тела

$$\omega = \frac{2(\frac{1}{3}\ell_p^2/R^2 + 1)k_1 + 0,4r^2k_2/R^2 + \frac{x\ell_n^2k_3}{3\ell}\sin^2\alpha/R^2 + \frac{1}{4}k_4}{0,5(2k_1 + 2k_2 + k_4) + 0,4r^2k_2/R^2} \omega_0$$

где r - радиус головы фигуриста, α - угол отклонения ноги от тела фигуриста.

При выводе формул предполагалось, что в момент отрыва ото льда руки фигуриста были вытянуты перпендикулярно оси его тела, а нога была отклонена от нее на угол α . В полете они прижимались к телу.

Выполнен параметрический анализ влияния масс-инерционных характеристик тел фигуристов по их антропометрическим признакам.

За основу приняты тотальные размеры тел спортсменов: рост $\ell=172,2$ см, $M=69,4$ кг.

Известным способом с помощью таблиц были определены $k_1=0,04946$, $k_2=0,06940$, $k_3=0,19866$, $k_4=0,43436$.

Длины рук и ног определены с помощью уравнений регрессии: $\ell_p=63,6$ см, $\ell_n=89,0$ см. Приняли, что $R=20$ см, $r=10$ см, $x/\ell=\ell_n/\ell=89/172,2=0,517$ - безразмерная координата

крепления ноги к туловищу.

Параметрический анализ выполнен вариацией одного из параметров l_p , l_n , R , l , k_1 , k_2 при неизменных значениях остальных. Получено следующее:

- Перспективными для исполнения прыжков закручиванием тела являются спортсмены с конической формой тела. При этом скорость ω вращения фигуриста в полете может превышать скорость ω_0 вращения его плеч для средних антропометрических параметров в 2,23 раза.
- Если же форма тела спортсмена приближается к цилиндрической, то такое превышение может быть до 1,35 раза.
- Перспективными являются стройные спортсмены с длинными руками. Расчеты показывают, что увеличение длины рук на 20% приводит к увеличению скорости ω на 23%, а уменьшение радиуса R тела на 20% приводит к увеличению скорости на 35%.
- Анализ показал малое влияние роста l фигуриста на исполнение многооборотных прыжков.
- За счет отклонения ноги наибольшего эффекта можно достичь, если угол α находится в интервале значений от 30° до 60° .
- Увеличение веса рук и ног почти не оказывает влияния на изменение скорости ω .

Предложенная в работе методология исследований легко распространяется на другие экспериментально уточняемые формы тел фигуристов.

ДВИЖЕНИЯ ФИГУРИСТА ПРИ СОЗДАНИИ ВРАЩЕНИЯ В ПРЫЖКАХ СТОПОРЯЩИМ ДЕЙСТВИЕМ ЕГО КОНЬКА О ЛЕД

Создание начального вращения в прыжках стопорящим действием его конька о лед происходит при исполнении, например, прыжка Аксель, а также сопутствующих движений в прыжках Сальхов и Петля и вспомогательных в прыжках Тулуп, Флип, Лутц и Валлей.

Для простоты выявления основных закономерностей движений тело фигуриста представлялось в виде цилиндра, центр тяжести которого совпадал с центром тяжести фигуриста.

Цилиндр точкой нижнего основания касается поверхности льда, создавая стопорящее действие, эквивалентное действию конька фигуриста о лед, в виде силы трения F .

Используя теорему об изменении кинетической энергии вращения фигуриста в работе получена формула для определения величины угловой скорости ω его вращения

$$\omega = 2 \sqrt{(F/m) \sin\varphi / (r^2/e + 2e)}, \quad (4)$$

где m - масса фигуриста, r - радиус цилиндра, e - эксцентриситет точки касания коньком льда относительно оси тела фигуриста, φ - угол поворота тела фигуриста перед отрывом его ото льда.

Для использования на практике полученных в работе формул необходимо знать величину F средней силы трения стопорящего действия конька о лед. Найти величину F можно только экспериментально. Сделать это можно по параметрам движения фигуриста.

По теореме об изменении количества движения фигуриста определено время t^* стопорящего действия конька фигуриста о лед

$$t^* = \frac{m(v_0 - v^*)}{F}$$

Длина x^* пути стопорящего действия конька о лед определена по второму закону Ньютона

$$x^* = - \frac{m(v_0^2 - v^{*2})}{2F} \quad (5)$$

Здесь m - масса фигуриста, v_0 - скорость скольжения фигуриста перед стопорящим действием конька, v^* - скорость скольжения фигуриста в момент отрыва его ото льда.

Значение силы трения F можно определить по формуле (5), если ее переписать иначе

$$F = - \frac{m(v_0^2 - v^{*2})}{2x^*}$$

Все величины, входящие в правую часть этой формулы, легко измеряются экспериментально.

Из формулы (4) следует, что начальная угловая скорость ω вращения фигуриста достигает максимального значения ω^* , когда поворот тела будет 90° , а $\sin\varphi=1$.

При повороте на 80° (по оси абсцисс $90^\circ-80^\circ=10^\circ$) начальная угловая скорость ω отличается от своего максимального значения ω^* всего на 10%. Если поворот составляет 50° , то уменьшение скорости ω составляет только 12,5%.

Очевиден практически важный вывод для организации учебно-тренировочного процесса, связанного с индивидуальными способностями спортсменов: перед прыжком фигуристы могут и не стремиться к повороту тела на 90° , так как при меньшем угле поворота тела и, следовательно, значительном упрощении исполнения прыжка происходят лишь небольшие потери начальной угловой скорости ω вращения фигуриста в полете.

Используя экспериментальные результаты А.Н.Мишина, минимальный момент инерции тела фигуриста - 0,12 кгм в c^2 , рост которого $l=1,7$ м, а вес 60 кг, значение горизонтальной скорости $v_{0x}=6,45$ м/с фигуриста перед стопорящим действием конька о лед и ее значение $v^*=4,58$ м/с в момент отрыва ото льда в прыжке, найдем радиус соответствующего тела. Он равен 0,2 м.

Для различных длин x^* пути стопорящего действия конька о лед по следу на его поверхности определены средние значения силы трения F . Они приведены в таблице.

$x^*, м$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$F, Н$	6188	3094	2063	1547	1238	1031	884	773,5	687,5	619

В работе показано, что сокращение длины x^* пути

стопорящего действия конька приводит к значительному увеличению угловой скорости ω^* . При этом больших успехов в выполнении многооборотных прыжков будут добиваться стройные фигуристы, для которых радиус r тела мал.

ПОЛЕТ ФИГУРИСТА ПРИ ИСПОЛНЕНИИ ПРЫЖКОВ

Рассматривается свободный полет фигуриста в прыжках после создания начального вращения.

Считая, что вес фигуриста сосредоточен в центре его тяжести, приходим к академически решенной задаче о движении точки, брошенной под углом к горизонту в однородном поле тяжести. Это известное решение уже использовалось в работах А. Н. Мишина. Однако, на основании этой задачи в нашей работе получены новые полезные для практики результаты.

Из формулы для определения горизонтальной дальности полета

$$x = (v_0^2 \sin 2\alpha) / g \quad (6)$$

при одной и той же начальной скорости v_0 следует, что фигурист может попасть в одну и ту же точку на поверхности льда двумя траекториями: настильной, когда угол между вектором начальной скорости v_0 и поверхностью льда $\alpha < 45^\circ$; и навесной, когда $90^\circ - \alpha > 45^\circ$.

Выполнение полета по настильной или навесной траекториям зависит от величины скорости скольжения фигуриста перед исполнением прыжка. Чем больше эта скорость, тем более настильной становится траектория полета.

После завершения полета по настильной траектории скорость движения фигуриста по поверхности льда будет большой. Если прыжок завершается неудачно, то при большой горизонтальной скорости сохранить равновесие фигуристу очень трудно. Только спортсмены с высоким мастерством способны к реализации прыжков по настильной траектории.

После полета по навесной траектории горизонтальная скорость движения фигуриста по льду мала. Исполнение прыжка неартистично. Однако, его равновесное завершение

3484

упрощается. ,

В работе показано, что высота H и время t полета фигуриста не зависят от траектории полета, то есть не зависят от скорости скольжения фигуриста перед исполнением прыжка, а зависят только от силы толчка фигуриста в вертикальном направлении.

Таким образом, увеличение многооборотности прыжков фигурист может достичь с помощью таких технических средств, которые увеличивают высоту прыжка и, следовательно, время полета.

В работе показано, что из многих наиболее эффективным будет то средство, которое использует энергию сжатых пружин.

Определяя коэффициент κ динамичности, в работе получено, что высота прыжка H_d после первого отталкивания будет

$$H_d = \kappa H, \quad (7)$$

$$\kappa_{i+1} = 1 + \sqrt{1 + 2H_d i / f_{ст}},$$

где i - номер исполненного прыжка, $f_{ст}$ - статическая осадка пружины под действием веса фигуриста.

После очередного отталкивания высота полета и, следовательно, время полета возрастают. В работе даны количественные оценки рассматриваемого явления.

КОНЬКИ-ТРЕНАЖЕРЫ ДЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПРЫЖКОВ

Предлагаются различные коньки тренажеры, которые признаны изобретениями и защищены авторскими свидетельствами.

Все коньки-тренажеры для исполнения заданного числа прыжков каскада программы катания вручную с помощью тяг приводятся в состояние готовности.

После исполнения прыжков каскада упругие элементы технических средств автоматически исключаются из работы.

В одних коньках-тренажерах в качестве упругого элемента используется набор коаксиально установленных

пружин различной длины. Последовательное включение в работу пружин смягчает толчок в прыжке и удар при контакте конька фигуриста с поверхностью льда после его полета. Возможен индивидуальный подбор пружин.

В других коньках-тренажерах в качестве упругого элемента предложено использовать рессору. Эти коньки-тенажеры по сравнению с первыми проще приводятся в состояние готовности. Однако, они сложнее подбираются по индивидуальным возможностям спортсменов.

В коньках-тренажерах с качающимся упругим элементом предложено использовать пружину, которая по мере давления на подподошвенную пластину и сближения последней с полозом отклоняется от вертикального положения, изменяя силу упругого сопротивления сжатия.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРЫ КОНЕК-ЛЕД

Особенность способа состоит в том, что триботехнические характеристики определяются непосредственно перед катанием и для коньков, на которых фигурист будет кататься.

По предложенному методу определяется коэффициент трения коньков о лед при действии веса фигуриста. Находится коэффициент трения конька о лед для одноопорного скольжения фигуриста при заданном угле наклона полоза конька к поверхности льда.

О качестве заточки коньков судят по величине силы сдвига (срыва) коньков по льду в направлении, перпендикулярном к полозу конька. При этом коньки прижимаются к поверхности льда весом фигуриста, а испытания выполняются при различных наклонах полоза конька к поверхности льда. Важнейшие характеристики скольжения определяются за небольшой промежуток времени для каждого фигуриста перед его катанием.

В Ы В О Д Ы

1. Механико-математическое моделирование движений фигуриста для создания начального вращения в прыжках, в поле-

те и при приземлении выполнено с обоснованными приближениями.

Моделирование фигуриста материальной точкой, однородным стержнем, цилиндром и конусом с вычленением рук, ног и головы позволило создать единый подход в рассмотрении упражнений возрастающей сложности, методологию изучения его движений и выполнить количественный анализ движений фигурного катания.

2. Скольжение по дуге моделируется движением материальной точки. Определены скорость и закон скольжения.

3. Создание начального вращения в прыжках скольжением по дуге исследуется на модели однородного стержня. Найдена зависимость между геометрическими параметрами фигуриста и параметрами его равновесного скольжения в виде нелинейного уравнения, которое решается численно. Получена простая формула связи этих параметров, погрешность которой в результатах не превышает 5% по сравнению с результатами по нелинейной зависимости, если угол отклонения фигуриста от нормали к поверхности льда не превышает 20° .

Перед отрывом фигуриста ото льда увеличивается кривизна дуги скольжения и начальная скорость его вращения. Однако, при этом растет опасность срыва прыжка, так как происходит очень быстрое изменение параметров движения. Так, например, изменение скорости вращения фигуриста при скольжении по дуге на 3% может вызвать изменение угла его отклонения от нормали на 20° .

Увеличение кривизны дуги скольжения ограничено неизбежным падением, если ось вращения при скольжении фигуриста отсекает треть и более его роста со стороны головы.

4. Создание начального вращения в прыжках закручиванием тела исследуется моделированием фигуриста цилиндром и конусом как крайними возможными формами его тела. При этом моделируются руки, ноги и голова, масс-инерционные характеристики которых определяются по известным

рекомендациям В. М. Зациорского и В. Н. Селуянова.

Показано, что фигурист с конической формой тела обладает возможностью создавать скорость вращения в полете в 1,7 раза большую, чем при цилиндрической форме тела.

Увеличение скорости вращения фигуриста в полете достигается увеличением скорости вращения его плеч в момент отрыва ото льда.

Показано, что

- при конической форме тела скорость вращения фигуриста в полете в 2,23 раза превышает скорость вращения его плеч;
- при цилиндрической форме тела превышение составляет только 1,35 раза;
- увеличение длины рук на 20% увеличивает скорость вращения в полете на 23%, а уменьшение условного радиуса тела на 20% увеличивает скорость вращения на 35%.

5. Создание начального вращения стопорящим действием конька о лед исследуется моделированием фигуриста цилиндром.

Показано, что начальная скорость вращения достигает максимального значения при развороте тела фигуриста перед отрывом ото льда на 90° . Однако, разворот тела только на 50° снижает эту скорость всего на 12,5%. Такая закономерность позволяет оптимизировать процесс тренировки.

Количественный анализ показал, что сокращение длины следа стопорящего действия конька о лед приводит к значительному увеличению начальной скорости вращения фигуриста.

6. Теоретически обосновано использование упругих элементов в коньках для увеличения высоты и времени полета и, следовательно, многооборотности прыжков. При первом отталкивании время полета увеличивается в 1,5 раза, а при втором в каскаде прыжков оно увеличивается в 3,6 раза.

7. Предложены коньки-тренажеры для исполнения каскадов прыжков.

8. Предложен способ определения качества поверхности льда.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. А.с. 1389791 СССР МКИ А63 С1/24. Коньки для тренировки спортсменов / В.И.Виноградова, А.Ю.Виноградов (СССР). -N 4134425/28-12; Заявл. 14.10.86; Опубл. 23.04.88. Бюл. N 15. - 4 с.
2. А.с. 1389792 СССР МКИ А63 С1/24. Коньки для тренировки спортсменов / В.И.Виноградова, А.Ю.Виноградов (СССР). -N 4138499/28-12; Заявл. 23.10.86; Опубл. 23.04.88. Бюл. N 15. - 2 с.
3. А.с. 1440515 СССР МКИ А63 С1/24. Коньки для тренировки спортсменов / В.И.Виноградова, А.Ю.Виноградов (СССР). -N 4138498/28-12; Заявл. 23.10.86; Опубл. 30.11.88. Бюл. N 44. - 4 с.
4. А.с. 1509100 СССР МКИ А63 С1/24. Конек для фигурного катания / В.И.Виноградова, А.Ю.Виноградов (СССР). -N 4135928/28-12; Заявл. 10.10.86; Опубл. 23.09.89. Бюл. N 35. - 3 с.
5. А.с. 1783384 СССР МКИ G01 N19/02. Способ определения триботехнических характеристик пары конек-лед / В.И.Виноградова (СССР). -N4839577/28; Заявл. 15.06.90; Опубл. 23.12.92. Бюл. N 47. - 3 с.
6. Виноградова В.И. Некоторые задачи биодинамики одноопорного скольжения фигуриста // Теория и практика физической культуры. - 1991. -N 5. - С. 55-63.
7. Виноградова В.И. Движения фигуриста при создании начального вращения в прыжках закручиванием тела // Теория и практика физической культуры. - 1993. -N 1. - С. 13-16.
8. Виноградова В.И. Технические средства увеличения многооборотности прыжков фигуристов // Теория и практика физической культуры. - 1993. -N 3. - С. 28-30.