

Министерство спорта, туризма и молодёжной политики  
Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА»  
(ФГБУ ВНИИФК)

ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ  
В ЗИМНИХ ВИДАХ СПОРТА  
(методические рекомендации)

Москва 2011

Технологии подготовки спортсменов в зимних видах спорта (методические рекомендации). М.: ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, 2011. – 26 с.

Составители: канд.биол. наук, вед.науч. сотр. Арансон М.В.; канд. пед. наук, доцент Озолин Э.С.; д-р пед.наук, профессор Шустин Б.Н.

В методические рекомендации вошли материалы, освещающие проблемы, связанные с подготовкой высококвалифицированных спортсменов в зимних видах спорта.

Издание предназначено для специалистов по зимним видам спорта.

## СОДЕРЖАНИЕ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫСТУПЛЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ В ЗИМНИХ ВИДАХ СПОРТА	3
МЕТОДИКА ТРЕНИРОВКИ В ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА	10
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
ЛИТЕРАТУРА	26

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫСТУПЛЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ В ЗИМНИХ ВИДАХ СПОРТА

Большинство зимних соревнований происходит на снежном покрове, вот почему изучение характеристик снега важно для повышения эффективности спортивной подготовки. Этой проблеме в последние годы посвящено большое число публикаций за рубежом.

Разработка зимнего спортивного снаряжения и оборудования, например, лыж, сноубордов и даже машин для подготовки лыжных трасс, ратраков, часто проходит путем проб и ошибок. Производители сосредотачивают свои усилия на улучшении характеристик снаряжения, оставляя при этом без внимания, или уделяя ему, но в малой степени, качеству снега и его влиянию на скоростные характеристики снаряжения. В соревнованиях лыжных видов спорта, в которых победу или поражение может определить доля секунды, выбор лучшего снаряжения играет решающую роль.

Многие специалисты в области разработки спортивного снаряжения провели серьезные исследования, посвященные изучению силе трения между поверхностями лыж и снега. Они описали различные происходящие процессы и разработали несколько моделей трения. Благодаря дальнейшим измерениям, проводимым как в лабораториях, так и на трассе, было установлено, что состояние снега оказывает большое влияние на характеристики скольжения лыж. Однако мало внимания уделяется изучению непосредственно качества снега и его влиянию на скоростные характеристики лыж. Таким образом, остается неизвестным, каким оптимальным качеством, пригодным для любого состояния снега, должны обладать лыжи. Знания о снеге были положены в разработку новой машины для подготовки лыжной трассы.

В последнее время некоторые производители снаряжения для зимних видов спорта поняли, что оптимизация и использование их продукции не может быть эффективной без учета знаний, полученных в ходе исследования снега.

Качество лыжных трасс имеет важное экономическое значение для горнолыжных курортов. Для горнолыжных курортов важно предлагать своим

гостям хорошо утрямбованные, ровные и надежные трассы. Качество трасс еще более важно для организаторов зимних спортивных мероприятий. Соревновательные трассы должны отвечать всем требованиям качества и в равной степени удовлетворять всех участников во время гонки. Трассы должны как можно дольше выдерживать воздействие погодных условий и сильный износ во время спортивных соревнований. Это может быть достигнуто путем прогнозирования изменений снежного покрова в целях оптимизации его качества, максимального укрепления с помощью специальных машин для подготовки лыжни или с помощью воды, закачиваемой в верхние слои снежного покрова.

Модель Alpine 3D, изначально разработанная с целью прогнозирования гидрологии снега и риска схода лавины, использовалась для оптимизации подготовки трасс для горнолыжных соревнований.

Система прогнозирования Alpine 3D включает в себя энергобалансовую модель крутых склонов, которая связана с двухмерной моделью снежного покрова. Часть модели, отвечающая за энергетический баланс, учитывает теневое покрытие трассы в горной и лестной местности и рассчитывает распределение коротковолновой и длинноволновой радиации на поверхности трассы. Полный энергетический баланс, в том числе излучение, турбулентные потоки тепла, фазовые изменения в снеге и проводимость тепла как в снежные слои, так из снежных слоев, затем вычисляются на поверхности снега. Трасса представляет собой заданное пользователем количество слоев, в которых отображены различные характеристики снега и потенциальное количество жидкой воды. В качестве вводных данных для модели могут быть использованы данные, полученные от метеорологических станций (текущие подсчеты, анализ), либо метеорологических сводок (модель прогнозирования). Метеорологические сводки основываются на мезомасштабной модели метеорологического прогнозирования, обеспечивая входные параметры для Alpine 3D в простом текстовом формате. С помощью этой модели, учитывая ряд важных параметров гоночной трассы, на несколько дней вперед

определяют состояние снежного покрова, с целью оптимизации времени подготовки лыжной трассы и времени спекания, которое начинается после подготовки трассы, а также, в случае необходимости, оптимизации объема искусственно закаченной жидкой воды и времени ее вторичного замерзания. В качестве входных параметров для модели снежного покрова создается несколько схем снежной трассы, чтобы охарактеризовать разные слои снежного покрова (а именно плотность, размер и форма зерен, и температура).

Первые три дня отличаются переменными погодными условиями – ветром и снегопадом. Остальные дни были ясные и спокойные.

Смоделированная температура сильно отличается от температуры, измеренной в период неустойчивой погоды, в то время как температура в период устойчивой погоды представлена с высокой степенью точности (рисунок 1). Некоторые расхождения объясняются тем, что на измерительных датчиках скапливается снег.

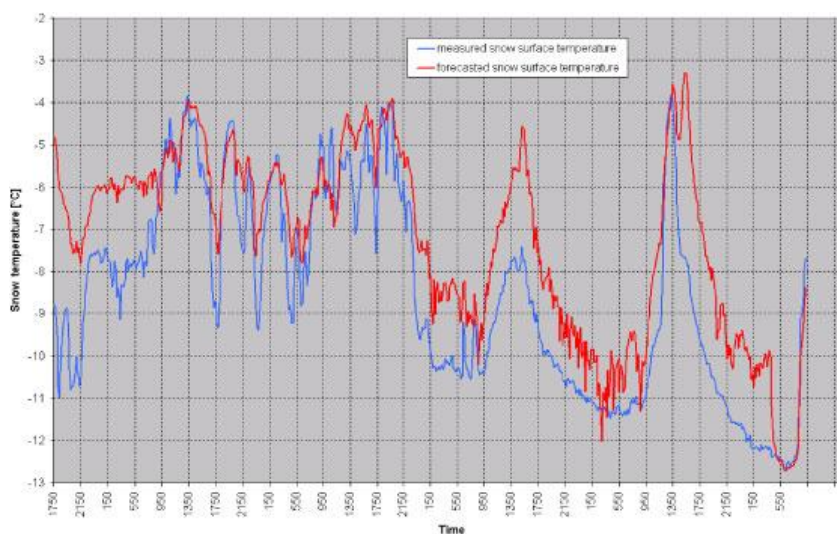


Рисунок 1 - Спрогнозированная и измеренная температуры снежного покрова.

Спрогнозированная температура снега использовалась для оптимизации подготовки лыжных трасс на Чемпионате Мира в Санкт-Морице в 2003 году.

Другой пример метода моделирования представлен на рисунке 2. На рисунке показано распределение температуры по склону горнолыжной трассы Сансикарио на Олимпийских играх в Турине в 2005 году.

Эти данные помогают рассчитать предполагаемую температуру снежного покрова во время скоростного спуска.

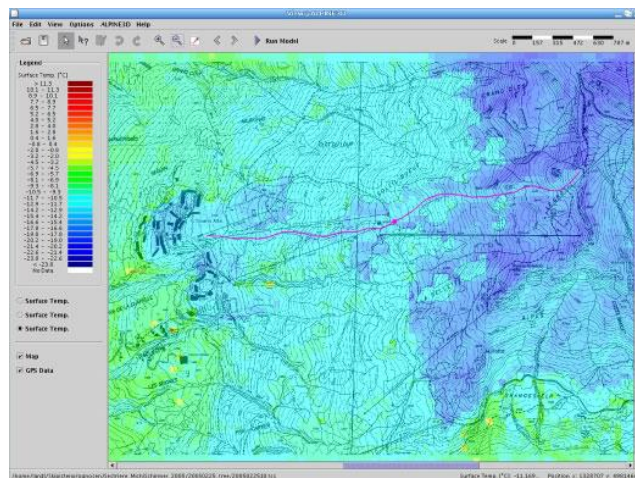


Рисунок 2 - Спрогнозированная температура снежного покрова горнолыжного спуска Сансикарио на Олимпийских играх в Турине в 2005 году.

Поскольку данная система модели позволяет пользователю задавать любое число слоев снежного покрова, ее также можно использовать для получения точных данных о том, какое количество закаченной воды может замерзнуть за ночь. Воду можно закачивать в снежный покров трассы на любой глубине, и данная модель сможет рассчитать, позволяют ли погодные условия (по прогнозам и оценкам) полностью замерзнуть воде, закаченной в слой снега. Это устройство успешно применяется на практике.

Определение сил, действующих на канты лыж при выполнении карвингового поворота

Состояние снега также необходимо учитывать, говоря о поведении лыж на поворотах. Снег не только поддерживает устойчивость спортсмена, но и позволяет ему генерировать центробежную силу в момент поворота.

В то время как влияние сил лыжника на лыжи было экспериментально установлено, очень мало теоретических расчетов было проведено для установления сил, возникающих между лыжами и снежной поверхностью. Чтобы заполнить этот пробел, для экспериментального определения сил,

оказываемых на окантованную лыжу, в зависимости от снежной поверхности, угла окантовки и оказываемой нагрузки, было разработано новое лабораторное устройство. Данное устройство позволяет проводить экспериментальные измерения круглогодично.

Устройство было разработано в два этапа. На первом этапе была сконструирована верхняя часть устройства, которая прошла многочисленные полевые испытания (см. Рисунок 3, слева). Анализ полевых измерений позволил для разных типов снега и углов окантовки установить законы сил вдавливания.

Затем была создана нижняя часть устройства. У нее насчитывалось 15 точек опоры, каждая из которых оканчивалась стержнем, который сообщал прикладываемую силу рычага датчику нагрузки.

Перемещение каждого стержня автоматически отрегулировано на реализацию выбранного закона сил вдавливания, установленного на первом этапе разработки данного устройства.



Рисунок 3 - Устройство для определения сил давления на канты лыжи при выполнении карвингового поворота. Слева: Первый этап разработки устройства, в ходе которого устанавливается сопротивление снега вдавливанию на поле. Справа: Заключительный этап разработки устройства. На рисунке показано имитационное моделирование сопротивления снега при помощи 15 точек опоры.

Регулируя константы в законах вдавливания, силу, оказываемую на канты при выполнении карвингового поворота в любой части лыжи, можно определить для любой поверхности снежного покрова.

На рисунке 4 показано распределение силы слаломной лыжи при нагрузке в 1500 Ньютонов, с окантовкой  $45^\circ$  при взаимодействии с двумя типами прочности снега.

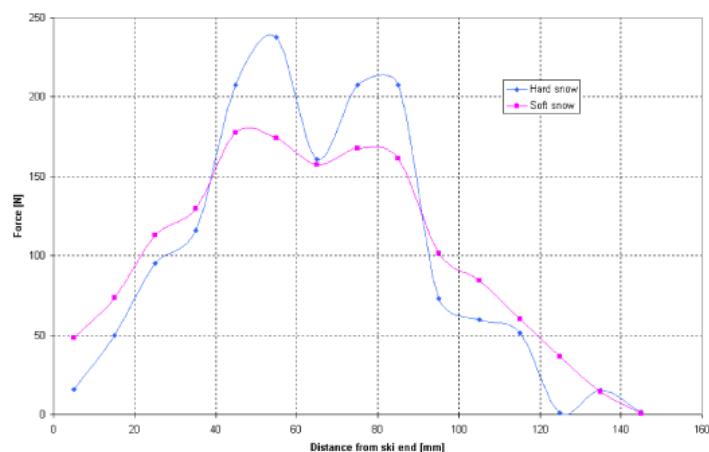


Рисунок 4 - Определение экспериментальным путем распределения силы на кантах слаломной лыжи на твердой и мягкой снежной поверхности при нагрузке в 1500 Ньютонов и с углом окантовки  $45^\circ$ .

Следующим этапом проекта является сопоставление эксплуатационных качеств лыж/пластин/креплений, прошедших полевые испытания с лабораторными измерениями при помощи данного устройства. Вышеупомянутое сравнение позволяет по-новому взглянуть на оптимальное распределение давления, учитывая качество снега и нагрузку.

В результате заключительного этапа проводится оптимизация геометрии лыж и их изготовления, а также установка пластин и креплений на лыжи, для того, чтобы получить оптимальное распределение давления, определенное во время соответствующего исследования.

Скольжение по снегу: новый метод определения фактической площади контакта между поверхностью лыж и снегом



Разработан новый метод определения фактической площади контакта и средний размер точки контакта с различными типами снега, а также при различном давлении. Для эксперимента, используя сито с разными размерами ячеек, в цилиндрическую пробирку диаметром 20.5 мм, закрепленную на штативе, просеяли снег. Затем был взят полиэтиленовый образец лыжи, которым вручную придавили снег в пробирке, после чего была добавлена желаемая нагрузка.

Полиэтиленовый образец с помощью воды примерз к стенкам пробирки. Макроскопическая деформации не наблюдалось. Для того чтобы получить фактическую площадь контакта, с помощью микрофокусной томографической рентгеновской системы Scanto  $\mu$ CT80 были сделаны снимки поверхности границы между снегом и полиэтиленовым образцом.

Трехмерные снимки были сделаны с номинальным разрешением в 10-20 мкм, и на вертикальном расстоянии между объектами в 10-20 мкм.

Из реконструированного объема был получен кубической формы трехмерный образец размером  $1000 \times 1000 \times 100$  вокселей, что соответствует  $10 \times 10 \times 1$  мм. Граница раздела между поверхностями снега и полиэтиленовым образцом была определена благодаря сканированию каждой вертикальной оси  $z$ , а затем обнаружению значения  $z$ , где полиэтилен граничит с воздухом.

На рисунке 5 изображен полученный на компьютерном томографе снимок полиэтиленового образца, с помощью которого спрессовали снег. Приблизительное давление на снег – 40 килопаскалей.

На рисунке 6 изображены фактические точки контакта (закрашены черным), полученные на трехмерных снимках. Диаметр точек контакта варьируется от 10 до 400 мкм, в среднем 150 мкм. Относительная фактическая площадь контакта составляет  $7 \pm 1\%$ . Полученные результаты актуальны только для размеров зерна, плотности, связей и температуры снега, использованных в данном исследовании.



Рисунок 5 - Полученный на компьютерном томографе снимок плоского полиэтиленового образца основы лыжи, придавившей снег. Объем составляет  $5 \times 5 \times 0,9$  мм. Размеры зерен снега составляют от 500 до 1000 мкм.



Рисунок 6 - Точки контакта между снегом и полиэтиленовым образцом, определенные с помощью компьютерной томографии. Температура снега составляет  $-10^{\circ}$  С, оказанное давление составляет 40 килопаскалей, диаметр зерен от 500 до 1000 мкм. Относительная площадь контакта – 6,4%.

Представленный метод позволил получить новую информацию о фактической площади контакта и диаметре точек контакта между полиэтиленовой лыжной основой и снегом. Данный метод показывает, что фактическая площадь контакта и диаметр точек контакта, и соответственно скольжение лыж по снегу во многом зависят от размера зерен снега, первоначальной плотности и прочности снега. Полученные результаты имеют большое значение для понимания и моделировании скольжения лыж по снегу.

## МЕТОДИКА ТРЕНИРОВКИ В ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

В статье исследователей из Великобритании и Австралии приводятся теоретические разработки устойчивости полета в прыжках на лыжах «Механика полета в прыжках на лыжах с трамплина: аэродинамическая продольная устойчивость» (Mechanics of flight in ski jumping: aerodynamic

stability in pitch) Pascual Marques-Bruna, and Paul Grimshaw // Sports Technol. 2009, 2, No. 1–2, 24–31

Способность поддерживать устойчивость в полете имеет большое значение. Под статической устойчивостью подразумевается способность автоматического возврата к полету в режиме балансировки после внезапного отклонения. Таким образом, при временном увеличении угла атаки ( $\alpha$ ), аэродинамические силы вызывают пикирование ( $M$ ). Нестабильная аэродинамическая система нарушается, а нейтральная устойчивость означает отсутствие реакции на новое полетное положение. Баланс подразумевает способность достичь равновесия (нулевое  $M$ ) при обрезанном угле атаки ( $\alpha_0$ ) (Рисунок А7; на основе Nelson). Главным принципом статической продольной устойчивости является условие, выраженное формулой  $dM/d\alpha < 0$  в равновесии (отрицательный наклон кривой).

Однако для того, чтобы получился правильный подъем, угол между линией нулевой подъемной силы лыжника и встречным потоком воздуха ( $\alpha_w$ ) должен быть положительным в равновесии. Статическая устойчивость относится только к исходной реакции системы на отклонение, в то время как динамическая устойчивость касается постепенного ослабления отклонения.

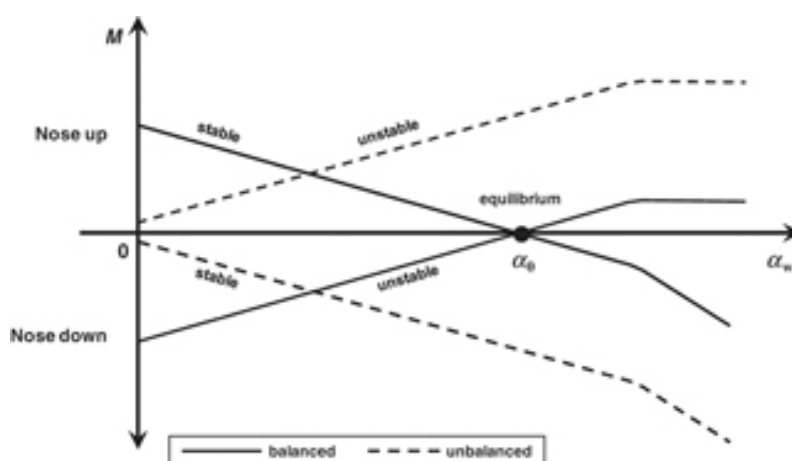


Рисунок 7 - График с четырьмя возможными кривыми  $M$  в зависимости от  $\alpha_w$ .

Продольная устойчивость известна как продольная устойчивость по положению поперечной оси  $y$  (рис. А.8), поперечная устойчивость – это

поперечная устойчивость по положению продольной оси  $x$ , путевая устойчивость называется продольной устойчивостью по положению нормальной оси  $z$ . Поперечное движение зависит от взаимного влияния вращения вокруг продольной оси и поворота относительно вертикальной оси; продольную устойчивость можно рассматривать отдельно.

Мы можем обнаружить разные конфигурации положения спортсмена, которые изменяются в условиях аэродинамической эффективности и продольной устойчивости.

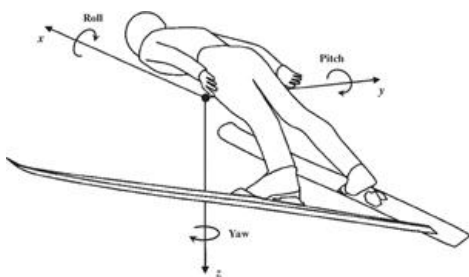


Рисунок 8 - Шесть степеней свободного полета по трем главным ортогональным осям спортсмена с исходной точкой в ЦТ (положительные направления в указанных траекториях)

Для того чтобы изучить механизмы устойчивости в прыжке на лыжах с трамплина можно воспользоваться теорией крыла и законам устойчивости самолета. Система прыгун – лыжи включает в себя несущие поверхности, поэтому в данной системе могут быть применимы принципы аэронавтики.

Последние исследования в области прыжков на лыжах с трамплина были сосредоточены на положениях в полете, механизмах подъемной силы, а также рекомендациях по проектированию безопасных трамплинов и длине лыж.

Очень немного исследований проводилось в области колебания относительно поперечной горизонтальной оси.

Самое главное, что механизмы статической продольной устойчивости в прыжках на лыжах с трамплина не были объяснены.

Теоретические значения инерционных характеристик прыгуна с трамплина и данные аэродинамического поведения можно получить с помощью системы

автоматизированного проектирования (САПР) и математического моделирования. Таким образом, необходимы следующие цели:

- 1) Смоделировать аэродинамическую эффективность и аэродинамическую стабильность согласно положению в полете.
- 2) Определить механизмы продольной устойчивости в прыжке на лыжах с трамплина.

Эти знания очень важны для повышения уровня безопасности в данном виде спорта.

Гипотетически предположим одного прыгуна на лыжах с трамплина. Его вес, включая экипировку, составляет 70 кг, рост – 1,76 м. На нем лыжи, обычные, имеющиеся в продаже, и крепления. Длина лыж 2,57 м (146% от роста спортсмена), ширина лыж – 11,5 см, между носком ботинка и носком лыжи расстояние, занимающее 57% длины лыжи. Представленная экипировка является стандартом Международной Федерации лыжного спорта (ФИС). Положение спортсмена определяется следующими углами (согласно Meile и др., Schwameder и Müller и др.). Угол раскрытия лыж ( $\lambda$ ) (рис. 9) был установлен на 20°, 25° и 30°.

Угол крена ( $\theta$ ) – от 0° до 40° с интервалами в 10°. Угол в тазобедренных суставах ( $\beta$ ) – 0° (на основе базы данных экспериментов в аэродинамической трубе Seo и др.). Руки все время отведены под углом 10° (руки находятся вытянутыми вдоль тела). Моделирование всех уровней техники прыжка происходило при набегающем потоком воздуха ( $V_a$ ) со скоростями 20 м/с (обычной при уходе со стола отрыва на стандартном трамплине), 25 м/с (большие трамплины) и 30 м/с (полетные трамплины). Плотность воздуха ( $\rho$ ) предположительно 1,18 кг/м<sup>3</sup>, температура воздуха (Т) 0°С.

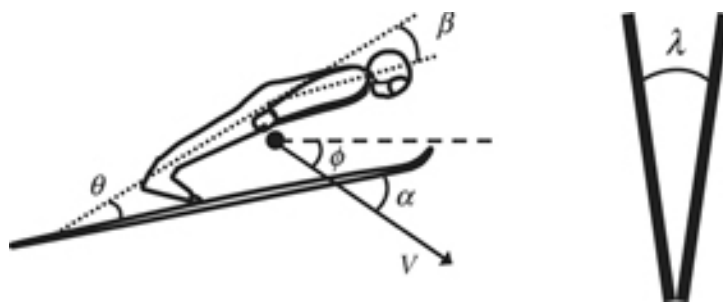


Рисунок 9 - Конфигурация прыгуна и  $\lambda$  в полете.

Модель САПР, инерционные параметры, профиль трамплина

Разработана 14-ти сегментная трехмерная изометрическая модель прыгуна.

Теоретические расчеты дают следующие результаты.

Направление траектории полета ( $\varphi$ ) выражается вектором скорости брошенного тела ( $V$ ) (рис. А.9).  $V_a$  противоположно по направлению к  $V$ .

$a$  – угол между лыжами и  $V_a$ .  $\alpha_0$  означает равновесие колебания относительно продольной оси, а критический угол атаки ( $\alpha_{ST}$ ) – угол, при котором происходит снижение подъемной силы (согласно Kermode и Bertin).  $M$  означает вращательный эффект аэродинамических сил вокруг оси  $y$ . Кабрирование  $M$  определяется как положительное. Угловое ускорение ( $\ddot{\alpha}$ ) вокруг  $\alpha_0$  порождается благодаря аэродинамическим моментам в несбалансированном полете. Центр давления - это абстрактное теоретическое понятие, которое означает подвижную точку приложения результирующих сил давления. В полете в режиме балансировки центр давления находится на одной прямой с центром тяжести. Смещение центра давления ( $\Delta ЦД$ ) представляет собой смещение центра давления по псевдо хорде, тогда как  $\alpha$  изменяется.

Псевдо хорда представляет собой объединение хорд отдельных несущих поверхностей (например, спортсмен, лыжи); согласно Carpenter. Аэродинамический фокус – это точка на хорде, в которой независимо от  $\alpha$  всегда отмечается момент наклона. У любой несущей поверхности свой аэродинамический фокус (например, какая-нибудь одна лыжа). Нейтральная точка (НТ) имеет такое же механическое значение, как и АФ; однако, она имеет

место быть, когда две (или более) несущие поверхности рассматриваются совместно. Статическая граница – это расстояние между нейтральной точкой и центром тяжести. Для теоретического исследования подъемную силу разделили на две параллельные составляющие. Считается, что  $F_{Lcam}$  действует на центр тяжести, а  $F_{Linc}$  направлена на воздействие на нейтральную точку (основано на Simons, Thomas&Taylor). Были получены два параметра динамической устойчивости. Период кратковременного режима ( $T_{SP}$ ) – это время полного цикла колебательного движения вокруг  $\alpha_0$ , а частота ( $f$ ) представляет собой величину, обратную  $T_{SP}$ .

Аэродинамические параметры систематических изменений положения в прыжке были рассчитаны для  $\alpha = 0^\circ - 50^\circ$  с интервалами  $0,5^\circ$ . Были рассчитаны сила сопротивления ( $F_D$ ), подъемная сила ( $F_L$ ), отношение подъемной силы к силе сопротивления ( $F_L / F_D$ ) и  $M$ , для которых при помощи полиномиальных уравнений Seo и др., основанных на базе данных аэродинамической трубы, были получены площадь сопротивления ( $C_{DA}$ ), зона подъема ( $C_{LA}$ ) и момент количества ( $Q_M$ ). Ошибка в расчетах при использовании данных уравнений составила  $\pm 4\%$  для  $C_{DA}$  и  $C_{LA}$ , и  $\pm 9\%$  для  $Q_M$  (Seo и др.). Число Рейнольдса (Re) было аппроксимировано уравнением. Траектория полета лыжника была рассчитана при помощи уравнений движения и метода Рунге-Кутты четвертого порядка с интервалами 0,001.

Было предположено, что спортсмен сохраняет аэродинамическое положение от 0,6 после взлета и перед приземлением  $\delta$  и поддерживает процесс полета в режиме балансировки в любом положении.  $t_f$  и  $\ell_j$  были получены путем пересечения направления полета и профиля трамплина, то есть точки посадки. При помощи уравнения (Anderson) была рассчитана  $\Delta ЦД$ . Также было получено и графически отображено  $dM/d\alpha$  склона (от  $\alpha_0$  до  $\alpha_0+0.5^\circ$ ). Используя уравнения (Nelson, Carpenter, Seo и др.) были получены  $\ddot{\alpha}$ ,  $CG$ ,  $T_{sp}$  и  $f$ .

Относительный вклад в получении параметров положения и параметров, таких как  $\lambda$ ,  $\theta$ ,  $\alpha_0$ ,  $F_L$  и  $F_D$ ,  $\ell_j$  и  $M$  был сделан за счет двух последовательных множественных регрессионных анализов,  $p < 0.05$  в SPSS. Анализ механизмов,

определяющих устойчивость во время полета в прыжке на лыжах с трамплина, проводился на основе аэродинамической теории.

Среднеквадратическое отклонение ЦТ в разных положениях в полете составляет  $54,9\% \pm 0,2\%$  от роста спортсмена и  $1,8 \pm 0,4$  см наклона вперед по продольной оси. Среднеквадратическое отклонение  $I_y$  составило  $14,7 \pm 0,3$  кг/м<sup>2</sup>, при этом  $I_y$  возросло в  $\theta$  (таким образом мы имеем:  $I_y=14,3$  кг м<sup>2</sup> для  $\theta=0^\circ$ , а  $I_y=15,1-15,3$  кг/м<sup>2</sup> для  $\theta=40^\circ$ ) и немного понизилось в  $\lambda$  (максимальная разница между положениями составляет  $0,2$  кг/м<sup>2</sup>).

Аэродинамические силы, число Рейнольдса и выполнение прыжка

На рисунке 10 изображено  $F_L$ ,  $F_D$  и  $F_L/F_D$  для выбранной  $V_a = 25$  м/сек. Также на рисунке показано положение  $\alpha_0$  и  $\alpha_{ST}$  на кривых.  $F_D$  монотонно возрастает, начиная от  $\alpha \approx 10^\circ$ .  $F_L/F_D$  достигает максимума в точке  $\alpha=2^\circ-12$ , при этом  $F_L$  находится в значительной степени ниже.  $\alpha_0$ ,  $\alpha_{ST}$  и  $F_L/F_D$  независимы от  $V_a$ . Однако  $F_L$  и  $F_D$  экспоненциально возросли в квадрате  $V_a$ .  $Re$  приблизительно составило  $1,73 \times 10^5$ ,  $2,17 \times 10^5$  и  $2,60 \times 10^5$  при  $V_a = 20, 25$  и  $30$  м/сек соответственно.

Кратчайшие теоретические  $t_f$  и  $\ell_j$  были получены при положении  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 40^\circ$ , а самые длительные соответственно при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ .

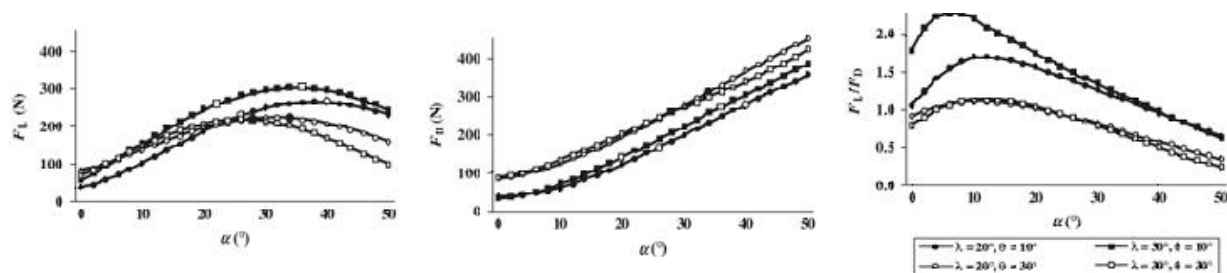


Рисунок 10 - Аэродинамические силы и  $F_L/F_D$  в зависимости от положения спортсмена и полетного положения.

Аэродинамическая устойчивость

На рисунке 11 показаны  $M$ ,  $\Delta ЦД$  и  $T_{sp}$ . Равновесие достигается под положительным углом  $\alpha$ , а значение функции  $dM/d\alpha$  отрицательное. Сбалансированный полет происходит в пределах  $\alpha_0 = 18^\circ$  (положение  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ ) и  $34^\circ$  ( $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 40^\circ$ ). Уклон  $dM/d\alpha$  становится более крутым с



увеличением  $\lambda$  и  $\theta$ , в пределах от  $-0,82 \text{ Нм} / ^\circ$  при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$  до  $-2,67 \text{ Нм} / ^\circ$  при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 40^\circ$ .  $\Delta \text{ЦД}$  (вперед) значителен при  $\alpha < 10^\circ$  и  $\text{ЦД}$  остается в пределах 10 см ниже от  $\text{ЦД}$  при  $\alpha > 25^\circ$ . Максимальный угол кабрирования  $\ddot{a}$  для несбалансированного полета варьировался от  $0,78 \text{ рад} / \text{с}^2$  (при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ ) до  $4,39 \text{ рад} / \text{с}^2$  ( $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 40^\circ$ ).  $M$  возросло с квадратом  $V_a$  и таким образом попало под влияние размера трамплина.  $\Delta \text{ЦД}$  напротив не была под влиянием  $V_a$ . На нее воздействовал лишь  $a$ . СГ в целом увеличивалось в зависимости от  $\lambda$  и  $\theta$ , и была самой короткой при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$  (2,3 см), а самой длинной в положении при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$  (7,2 см); значения, полученные при условии:  $V = 25 \text{ м} / \text{с}$ .  $\lambda = 30^\circ$  сократил  $T_{\text{сп}}$  полета при  $8^\circ < \alpha < 26^\circ$  (рис. А.11). Однако вне этого диапазона значений  $\alpha$   $dM/d\alpha$  относительно плоских уклонов для положений было определено тем, что  $\lambda = 30^\circ$  значительно продлил  $T_{\text{сп}}$ .  $f$  возрастала в зависимости от  $\lambda$  и  $\theta$  и было самым низким при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$  (0,29 Гц) и высоким при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 40^\circ$  (0,53 Гц), демонстрируя примерно половину цикла в секунду (0,51 Гц) при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$ ; значения были получены при условии  $V = 25 \text{ м} / \text{с}$ .  $T_{\text{сп}}$  снизилось, таким образом,  $f$  нелинейно возросла в  $V_a$ . Здесь приведены инерция и аэродинамические параметры улучшенного положения при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$

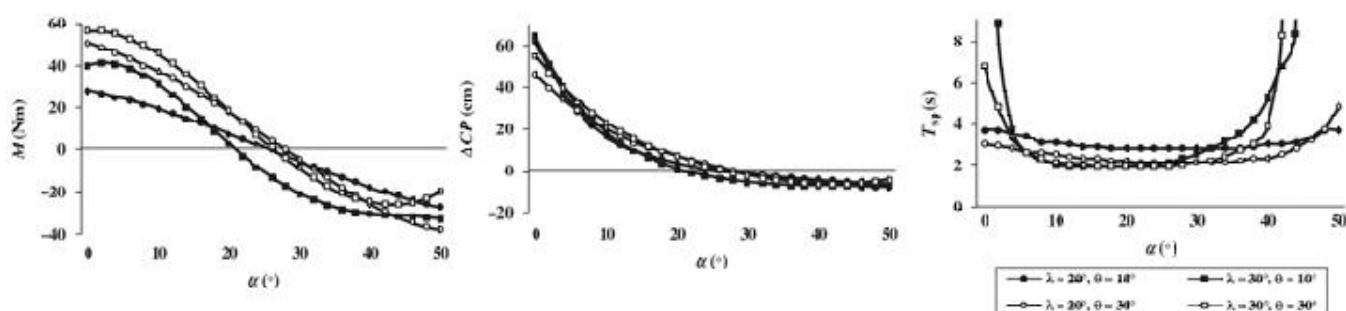


Рисунок 11 -  $M$ ,  $\Delta \text{ЦД}$  и  $T_{\text{сп}}$  согласно положению спортсмена и полетного положения.

#### Статистические и теоретические исследования

В последовательном множественном регрессионном анализе сначала был введен  $F_L$ , который объяснил 74% дисперсии  $\ell_J$  ( $F_{1,43} = 123,90$ ,  $P = 0,001$ ,  $\beta = 0,80$ ). Затем был введен  $\theta$ , имеющий отрицательную корреляцию с  $\ell_J$  ( $\beta = -$

0,29). Он помог дать объяснение еще 8% ( $F_{1,42} = 18,09, P = 0,001$ ). Во втором анализе сперва был введен  $F_D$ , который объяснил 73% дисперсии в  $M$  ( $F_{1,43} = 115,74, P = 0,001, \beta = 0,75$ ). Затем для объяснения еще 9% был введен  $\lambda$  ( $F_{1,42} = 21,63, P = 0,001, \beta = 0,29$ ), а так же был введен  $F_L$ , который объяснил дополнительные 7% ( $F_{1,41} = 26,92, P = 0,001, \beta = 0,29$ ). На рисунке 12 показаны механизмы аэродинамической продольной устойчивости. Пунктирной линией обозначена псевдо хорда системы прыгун-лыжи.

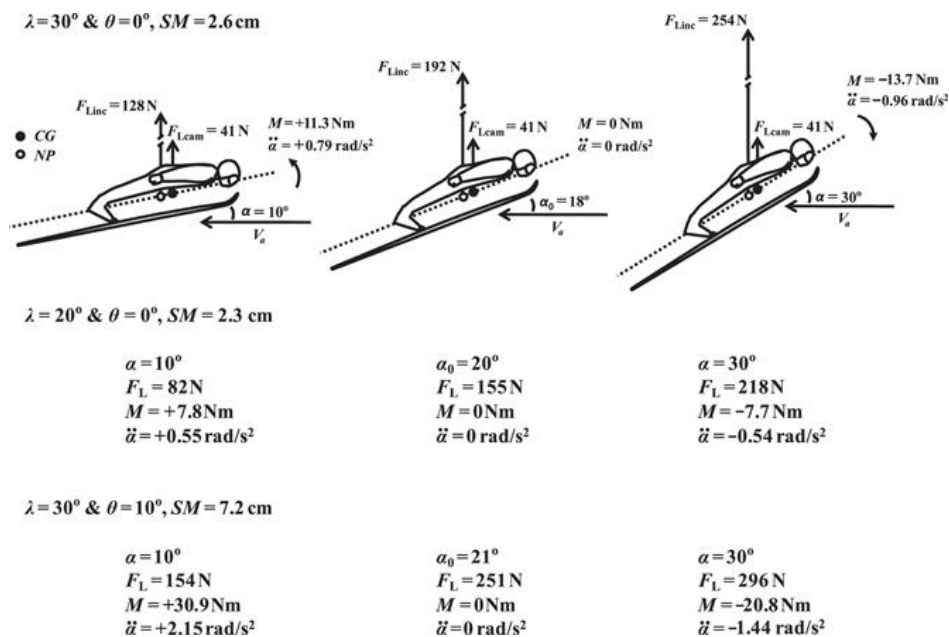


Рисунок 12 - Теоретическое исследование устойчивости и баланса в прыжке на лыжах (на основе  $V = 25 \text{ м/с}$ ).

САП становится полезным инструментом в вычислительной газодинамике.

САП позволяет моделировать различные положения в прыжке на лыжах. Увеличенный  $\lambda$  незначительно смещает ЦТ вперед по оси  $x$ , соответственно понижая  $I_y$ . Увеличенный  $\theta$  напротив смещает ЦТ назад и заметно увеличивает  $I_y$ . Смещение ЦТ вперед приводит к расширению СГ и увеличению статической устойчивости. Однако положение ЦТ почти не меняется в зависимости от положения в полете, что служит признаком того, что СГ зависит прежде всего от  $dM/d\alpha$ . Следует быть осторожным, рассматривая воздействия инерционных параметров.  $I_y$  можно рассматривать как затухающую производную, а не аэродинамическим стабилизирующим фактором, так как  $I_y$  не вызывает возврат

к  $\alpha_0$ , а лишь замедляет выход из балансирующего положения. Однако, когда происходит отклонение, более сильная инерция вращения делает систему менее чувствительной (менее подвижной). В этом смысле более сильная  $I_y$  понижает  $f$ , что можно рассматривать как низкую устойчивость, но сильное затухание динамических колебаний.

Положения, установленные  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ - 10^\circ$  это конфигурации при высокой подъемной силе, следствием которых являются наиболее длинные прыжки. Положения при  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ - 10^\circ$  напротив, представляют собой среднюю подъемную силу и ухудшают  $F_L / F_D$ . Увеличенная подъемная сила при широком  $\lambda$  объясняет увеличенную площадь поверхности под лыжником 13; этот эффект также усиливается, когда руки спортсмена лежат вдоль тела (минимальный угол отведения рук). Уменьшенная подъемная сила при  $\lambda = 20^\circ$  может возникнуть вследствие плотности несущих поверхностей (например, руки), погруженные в струи низкого давления в попутном воздушном потоке. Большой  $\lambda$  как правило увеличивает сопротивление; хотя сопротивление преимущественно зависит от  $\theta$ . С увеличенным  $\theta$  также  $\alpha_0$  приближается к критическому углу атаки. В первом регрессионном анализе устанавливается важность большой подъемной силы положений, где так же важно понизить  $\theta$  для длинного прыжка.

Таким образом благодаря  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ - 10^\circ$  мы получаем хороший прыжок.  $\beta$  – фактор изменения изгиба. Согласно теории, увеличение кривизны усиливает влияние  $\alpha$  путем изменения положения линии хорды, и таким образом увеличивает максимальный коэффициент подъема. Ito и др. заметили, что профиль крыла, созданный  $\beta$ , уменьшает площадь срыва потока и увеличивает скольжение. Таким образом,  $\beta$  должен быть настроен согласно  $V_a$ . Meile и др., а также Ito выявили, что наиболее эффективными показателями  $\beta$  являются показатели в следующем диапазоне:  $\beta \approx 10-20^\circ$ . Ito и Reisenberger отмечают, что поток за спиной прыгуна находится в пост-критическом режиме, что характерно для плохо обтекаемого тела. Вследствие этого развивается высокая скорость и как следствие мы имеем поздний срыв потока и меньший

вихревой след. При низком  $Re_{crit}$  тело спортсмена представляет собой хорошую несущую поверхность, и меньший вихревой след также может поспособствовать устойчивости. Вопрос касательно поля обтекания лыж так же рассматривался Ito и др. Вокруг носков лыж образуются продольные вихри. Они обходят снизу, с наружной стороны и появляются на верхней поверхности лыж. Конический трехмерный поток вихря взаимодействует с правой и левой лыжами, образуя прямо за спиной лыжника скос потока. В трехмерном поле обтекания, вихрь при низком давлении на носки лыж генерирует подъемные силы как в дельтовидном крыле. Однако подъемная сила прыжка на лыжах фактически создается за счет скоса потока, вызываемым трехмерным вихрем на носке лыж. Следовательно, аэродинамическая эффективность в прыжке на лыжах зависит от того, как отрегулировано положение по  $\lambda$  и  $\theta$  (факторы образования подъема), от правильно отрегулированного  $\beta$  (фактор изменения изгиба), а также от природы потока вихря и конфигурации скоса потока (с точки зрения образования подъема и уменьшения сопротивления).

Знак функции  $dM/d\alpha$  при  $\alpha_0$  отрицательный (рис. А.5), показывает, что положение несбалансированного полета вызывает отклик, который восстанавливает установившийся полет. При по-настоящему устойчивой системе лыжник может избежать постоянных контрольных движений, которые создают дополнительную тягу, в результате чего система входит в баланс.

Положения, компактно расположенные вокруг оси  $x$ , ( $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ - 10^\circ$ ) немного восстанавливают  $M$  и малый уклон  $dM/d\alpha$  и следовательно минимальный отклик на сбой.

Такие положения могут способствовать воздействию на спортсмена колебаниям (согласно Nelson). Однако широкий  $\lambda$  и большой  $\theta$  обеспечивают устойчивость. В подтверждение этому отмечается, что широкий  $\lambda$  снижает скорость скоса потока, образуемого за спортсменом, и расширяет эффективную поверхность скоса потока. Таким образом, лыжи более устойчивы при более слабом скосе потока, направленном на поверхность лыж. Кривые  $\Delta C_D$  подтверждают, что широкий  $\lambda$  ( $30^\circ$ ) увеличивает статическую устойчивость,

которая снижает  $T_{SP}$  полета в данном промежутке:  $8^\circ < \alpha < 26^\circ$ . Соответствующее увеличение  $f$ , хотя и способствует высокой статической устойчивости, может привести к динамическим колебаниям, при условии, что  $\alpha_0$  резко отклоняется. Большая СГ также вносит непосредственный вклад в повышение  $f$ . Однако за пределами диапазона  $8^\circ < \alpha < 26^\circ$  относительно малый уклон  $dM/d\alpha$  повышает  $T_{SP}$ , уменьшая риск нежелательного отклонения  $\alpha_0$ .  $T_{SP}$  в прыжке на лыжах приблизительно на 1 сек. больше, чем в малых учебно-тренировочных самолетах.

Более высокая  $F_D$ , образованная устойчивым положением и более высокое  $V_a$ , испытанное на больших трамплинах, влияют на повышение  $M$ , а также значительно влияют на сокращение периода короткого времени. Второе статистическое исследование подтверждает тот факт, что первоначальная  $F_D$  поддерживает  $M$ , с широким  $\lambda$  и высокой  $F_L$ , также выступающими в роли важных факторов устойчивости. Как объясняет Anderson, любые попытки увеличить устойчивость всегда сопровождаются дополнительным увеличением лобового сопротивления. Таким образом, можно допустить, что между положением, благодаря которому достигается максимальная аэродинамическая эффективность ( $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ ) и тем положением, которое обеспечивает высокую устойчивость ( $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ ), необходим компромисс. Правильно отрегулированным положением в полете считается положение при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$ , которое имеет аэродинамические параметры, которые зависят от  $V_a$ .

Устойчивость в прыжке на лыжах интерпретируется на теоретической основе, а также при помощи рисунка А.б, на котором  $F_D$  для упрощения было опущено. Результаты моделирования дают право предположить, что спортсмен находится в статическом устойчивом положении. Таким образом, необходимым условием того, чтобы НТ находилась ниже ЦТ, является следующее: «Самолет будет находиться в продольном устойчивом положении в том случае, если ЦТ выше НТ или наоборот». В качестве аналогии, расположение НТ в хвостовой части является существенной особенностью самолета без хвостового оперения ввиду отсутствия хвостового стабилизатора и двугранного угла между

плоскостями крыла и оперения.  $F_{Lcam}$  зависит только от кривизны и его можно считать постоянным.  $F_{Lcam}$  можно рассматривать как рассчитанную  $F_L$  при нулевом угле атаки ( $\alpha = 0^\circ$ ). Для положения при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$   $F_L = 41$  Н. Оставляя без внимания характер пути  $F_L$  ( $\Delta ЦД$ ), мы можем рассматривать  $F_{Linc}$  как воздействующую на НТ силу, и таким образом, мы имеем лишь один параметр (магнитуа  $F_{Linc}$ ), который испытывает флуктуации в полетном положении (согласно Carpenter). При  $\alpha_0$  ( $18^\circ$ ) спортсмен находится в ротационном равновесии, а рассчитанная общая  $F_L = 233$  Н, из которых 192 Н можно отнести к углу атаки. Однако при резком снижении  $\alpha$  до  $10^\circ$ , а  $F_{Linc}$  должна упасть до 128 Н, так как  $F_{Linc}$  зависит от  $\alpha$ .  $M$  увеличивается до 11,3 Нм, вызывая тем самым вращательное движение в кабрировании вокруг ЦТ при  $\ddot{\alpha} = +0,79$  Рад / с<sup>2</sup>. Отклонение на кабрирование, которое напротив увеличивает  $\alpha$  за  $\alpha_0$ , например, до  $30^\circ$ , увеличивает и подъем в НТ (до 254Н), заставляя спортсмена пикировать до момента равновесия. Положение в полете, определяемое  $\lambda = 20^\circ$  и  $\theta = 0^\circ$ , производит меньше  $F_L$ ,  $M$  и  $\ddot{\alpha}$  (рис. А.6) и является менее управляемым. Положение при  $\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$  выделяет большую  $F_{Linc}$  и восстанавливающую  $M$ , и поэтому данное положение более устойчивое. Напомним так же, что СГ самая протяженная для второго положения (7,2 см), таким образом повышая статическую устойчивость. Можно предположить, что изогнутое тело прыгуна ведет себя как обычное крыло (неустойчивое в момент наклона), следовательно, устойчивость возникает благодаря лыжам (подобно крыльям с профилем отрицательной кривизны).

$\beta$  имеет импликации для кривизны и, соответственно, подъема и устойчивости. Однако значения  $\beta$  невозможно моделировать, поскольку база данных Seo и др. актуальна для прямого положения тела. Дальнейшие более глубокие знания о влиянии отдельных несущих поверхностях на устойчивость системы могут быть получены с помощью тестирования масштабных моделей отдельных частей системы прыгун-лыжи (тело, лыжи) в аэродинамической трубе, тем самым дополняя работу Reisenberger и др. Несмотря на то, что приборы по увеличению подъема на текущий момент не утверждены,

стратегически установленные турбулизаторы потока пограничного слоя и усилитель могут быть использованы для осуществления контроля за турбулентным пограничным слоем и вихревым следом. Такие механизмы могут повысить устойчивость и уровень безопасности.

Таким образом, режим балансировки – это очень трудный режим для полета. Однако лыжник вызывает статическую устойчивость, стремится к равновесию, когда сбалансированный полет нарушен. Увеличенный  $\lambda$  повышает устойчивость благодаря преимущественно аэродинамическим, а не инерционным факторам. С увеличенным  $\theta$  связан более высоким  $I_y$ , который предотвращает полет в режиме балансировки от отклонений, и с большей  $F_D$ , которая предотвращает повышение устойчивости. Рекомендуемые параметры для положения в полете  $-\lambda = 30^\circ$  и  $\theta = 10^\circ$ , независимо от уровня соревнования. Конфигурация большой подъемной силы с большой СГ, которая порождает крутой уклон  $dM/d\alpha$  и высокое колебание  $f$ , может обеспечить безопасность в случае внезапного отклонения от  $\alpha_0$ .

Высокая  $f$  может вызвать короткие динамические колебания. Опираясь на аэродинамическую теорию, предполагается, что НТ прыгуна расположена за ЦТ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важным направлением современных исследований по повышению эффективности подготовки спортсменов является внедрение в практику тренировочного процесса современных методов регистрации биомеханических, физиологических и других параметров состояния атлета. Современная техника позволяет контролировать многочисленные данные в системе on line, что дает возможность тренеру оперативно корректировать ход тренировки, повышая, таким образом, ее эффективность. В представленных рекомендациях вкратце определяется тематика современных научных направлений, которые исследуются современными специалистами. Эти данные будут полезны при планировании подготовки спортсменов в зимних видах спорта.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Fauve, M. Influence of snow and weather characteristics on the gliding properties of skis./ M. Fauve, D. Buhl, H.U. Rhyner, M. Schneebeli, W. Ammann // Science and Skiing III 2005; 401–410.
2. Müller, E. The role of biomechanics in optimizing performance in nordic skiing./ E. Müller, S. Lindinger, G. Sattlecker, H. Schwameder, T. Stöggl // In: Linnamo V., Komi P., Müller E., (eds), Science and Nordic Skiing. Meyer & Meyer Sport, Oxford, 2007, pp. 13–22.
3. Brodie, M. Fusion motion capture: a prototype system using inertial measurement units and GPS for the biomechanical analysis of ski racing /M. Brodie, A. Walmsley, W. Page // Sports Technology 2008; 1: 17–28.
15. Kirby, R. Mounting and suspension system for sliding non-contact displacement and speed measurement. US Patent Application US20080190197 A1, 2008.
4. Kirby, R. Reliability of a Real Time Optical Navigation Feedback System for Training Alpine Skiers / R. Kirby, T. Flanagan, A. Schönberger // 1st International Low Lands Congress on Science and Skiing (ILLCSS), Brussels, Belgium, October 11, 2008.
5. Fauve, M. Putting now knowledge into the development of winter sports equipment / M.Fauve, H. Rhyner, A. Luethi, M. Schneebeli, M. Lehning // Sports Technol. - 2010, 1, No. 2–3, 145–151
6. Marquers-Bruna, P. Mechanics of flight in ski jumping: aerodynamic stability in pitch / P. Marquers-Bruna, P. Grimshaw // Sports Technol. 2009, 2, No. 1–2, 24–31
7. Kirby, R. Development of a real-time performance measurement and feedback system for alpine skiers / R.Kirby.// 2009 John Wiley and Sons Asia Pte Ltd SEP 2009. 43–52
8. Bellizzi, M.J. Does the application of ground force set the energetic cost of cross-country skiing? /M. J. Bellizzi, K.A. D. King, S. K. Cushman, P. G. Weyand // J Appl Physiol. 2009 Oct 20. 18-26

9. Schiffer, J. Technology Report / Schiffer J.// NSA 2009 4 137 -140
10. Shea, C.H. Motor Learning and Control / Shea CH, Shebilske WL, Worchel S // Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993, pp. 204–231.
11. ScienceDaily October 23rd, 2011 . <http://www.sportstechreview.com/> (2010)
12. Briand, P. Dispositif de mesurer de distance pour ski / Briand P, Berney R.// Swiss Patent CH614524(A5), 1979.
13. Brodie, M. Fusion motion capture: a prototype system using inertial measurement units and GPS for the biomechanical analysis of ski racing / Brodie M, Walmsley A, Page W// Sports Technology 2008; 1: 17–28.
14. Kirby, R. Mounting and suspension system for sliding non-contact displacement and speed measurement. US Patent Application US20080190197 A1, 2008.
15. Kirby, R. Reliability of a Real Time Optical Navigation Feedback System for Training Alpine Skiers. / Kirby R., Flanagan T. Schönberger // 1st International Low Lands Congress on Science and Skiing (ILLCSS), Brussels, Belgium, October 11, 2008.
16. Kirby, R. Athlete Response to Using a Real Time Optical Navigation System/ Kirby R. // Science and Skiing IV, 2008, pp 304–309.
17. Federolf P.A. Ice friction of flared ice hockey skate blades. / Federolf P.A., Mills R., Nigg B. // J Sports Sci. 2008 Sep;26(11):1201-8.
18. Mössner, M. An approximate simulation model for initial luge track design / Mössner M, Hasler M, Schindelwig K, Kaps P, Nachbauer W. // J Biomech. 2011 Mar 15;44(5):892-6.
19. Jennings, D. Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements / Jennings D, Cormack S, Coutts AJ, Boyd LJ, Aughey RJ. // Int J Sports Physiol Perform. 2010 Dec;5(4):565-9.
20. Xing, J. Multiple Player Tracking in Sports Video: a Dual-Mode Two-Way Bayesian Inference Approach With Progressive Observation Modeling./ Xing J, Ai H, Liu L, Lao S. // IEEE Trans Image Process. 2011 Jun;20(6):1652-67.

Для заметок

Для заметок