



Министерство спорта Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное учреждение

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ»

(ФГБУ СПбНИИФК)

Захаров Г.Г.

Новикова Н.Б.

Белёва А.Н.

Котелевская Н.Б.

Иванова И.Г.

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА ПРЫЖКОВ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА (ПО ДАННЫМ ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Методические рекомендации

Санкт-Петербург
2022

УДК 159.96/159.98
ББК 75.0

Захаров Г.Г., Новикова Н.Б., Белёва А.Н., Котелевская Н.Б., Иванова И.Г.
Современная техника прыжков на лыжах с трамплина (по данным
иностранной литературы): методические рекомендации. – СПб: ФГБУ
СПбНИИФК, 2022. – 52с.

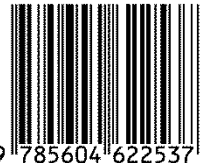
Методические рекомендации разработаны в соответствии с техническим заданием к государственному заданию № 777-00009-22-00 на проведение прикладных научных исследований в области физической культуры и спорта на 2022 год (приказ Минспорта России от 10.01.2022 № 4 «Об утверждении тематических планов проведения прикладных научных исследований в области физической культуры и спорта и работ по научно-методическому обеспечению сферы физической культуры и спорта в целях формирования государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) для подведомственных Министерству спорта Российской Федерации научных организаций и образовательных организаций высшего образования на 2022-2024 годы»).

В методических материалах подробно рассмотрена современная техника прыжка на лыжах с трамплина, приведены данные иностранных исследований в сфере аэродинамики и биомеханики всех фаз прыжка, даны рекомендации по осуществлению и контролю технической подготовки лыжников-прыгунов.

Предназначены для тренеров, преподавателей, специалистов в области прыжков с трамплина. Могут быть использованы в сборных командах России, краев, регионов, областей, СШ, СШОР, ШВСМ по прыжкам на лыжах с трамплина, а также в учебном процессе в профильных вузах.

Рассмотрено на заседании ученого совета ФГБУ
СПбНИИФК 29.06.2022, протокол № 6.
Рекомендовано к изданию.

ISBN 978-5-6046225-3-7



ISBN 978-5-6046225-3-7

© ФГБУ СПбНИИФК, 2022
© Министерство спорта РФ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Ретроспективный анализ изменений техники прыжков на лыжах с трамплина.....	5
2 Общая характеристика техники современного прыжка на лыжах с трамплина.....	12
3 Техника разгона в современных прыжках на лыжах с трамплина.....	14
4 Техника отталкивания в современных прыжках на лыжах с трамплина.....	21
5 Фаза полета в прыжках на лыжах с трамплина.....	29
5.1 Основы аэродинамики полета в прыжках на лыжах с трамплина.....	29
5.2 Последовательность технических действий лыжника-прыгуна в фазе полета.....	32
5.3 Техника формирования полета в современных прыжках на лыжах с трамплина	35
5.4 Техника полета в современных прыжках на лыжах с трамплина.....	36
5.5 Исследования влияния массы тела на дальность полета в прыжках на лыжах с трамплина	40
5.6 Техника подготовки к приземлению в современных прыжках на лыжах с трамплина	42
6 Техника приземления и выката в современных прыжках на лыжах с трамплина.....	45
Заключение	48
Список литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

На XXIV зимних Олимпийских играх, проходивших в Пекине в 2022 году, российские спортсмены в смешанной команде (2 мужчин, 2 женщин) впервые в истории завоевали серебряные медали по прыжкам на лыжах с трамплина. Можно надеяться, что несомненный успех отечественных прыгунов с трамплина повысит популярность этого вида спорта в нашей стране, но для достижения стабильно высоких результатов на мировой арене в будущем необходимы постоянное совершенствование методики подготовки, анализ современных научных исследований и использование в тренировочном процессе наиболее эффективных средств и методов подготовки.

Результативность в прыжках на лыжах с трамплина в значительной степени определяется технической подготовленностью и способностью «летающих лыжников» реализовать свой физический потенциал в сложных соревновательных условиях. За последнее десятилетие в области теории и методики прыжков на лыжах с трамплина иностранными учёными выполнено значительное количество исследований, посвященных аэродинамике разгона, полета и приземления, изучению и оптимизации положения спортсмена во всех фазах прыжка, выбору наиболее эффективных средств и методов подготовки.

В отечественных литературных источниках данная информация в систематизированном виде практически не представлена. В то же время в тренировочном процессе тренеры активно работают над тем, чтобы достичь наилучшей физической и технической подготовленности, но нередко применяют устаревшие методики, готовят спортсменов, ориентируясь на старые модели техники прыжка. В настоящих методических рекомендациях была предпринята попытка отразить современные взгляды иностранных исследователей на технику прыжка на лыжах с трамплина, определить подходы к осуществлению технической подготовки и создать системные представления о развитии вида спорта в прошлом, настоящем и будущем.

1 РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕХНИКИ ПРЫЖКОВ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

Вся история развития прыжков на лыжах с трамплина является непрерывным процессом совершенствования техники соревновательного упражнения и характеризуется постоянным поиском средств и методов подготовки, позволяющих спортсменам совершать максимально далекие прыжки. Поскольку этот вид спорта является сложно-координационным, успешность в нём во многом зависит от точного, рационального выполнения движений и достижения оптимальных позиций на протяжении всего прыжка во взаимодействии с внешними силами. В большинстве случаев прогрессивные изменения вида спорта, такие как модернизация прыжкового инвентаря и экипировки, совершенствование профилей трамплинов и их оснащённости, позволяют спортсменам демонстрировать удивительные результаты, которые ещё в недавнем прошлом казались невозможными.

Ключевую роль в развитии прыжков на лыжах с трамплина играют научные исследования. Происходящие изменения можно сравнить с развитием авиации, в которой улучшение летных качеств самолетов давало возможность летчикам-асам проявить своё мастерство в полной мере, демонстрируя фигуры высшего пилотажа.

Полётная часть прыжка является наиболее сложной для спортсменов, а для болельщиков – зрелищной и впечатляющей. Именно на ее примере можно наглядно проследить основные способы полета, которыми пользовались «летающие лыжники» в разные годы, а также влияние на полётную технику научных разработок и модернизации спортивного инвентаря.

Прыжки на лыжах с трамплина дебютировали на первых зимних Олимпийских играх в 1924 году в Шамони (Франция), где норвежский спортсмен Якоб Туллин Тамс продемонстрировал изобретенный им новый стиль полета, известный как Консбергер (Kongsberger), и стал первым олимпийским чемпионом. В полете лыжники-прыгуны наклоняли туловище, значительно сгибаясь в поясе, руки

вытягивали вперед, а лыжи располагали параллельно друг другу. Именно этим стилем в 1936 году Й.Брадль (Австрия) первым покорил 100-метровый рубеж (рисунок 1) [1]-[3].



Рисунок 1 – Й.Брадль демонстрирует технику полета
Конгсбергер

В этот же период в 1926 году было проведено первое исследование положения лыжника-прыгуна в полете в аэродинамической трубе. Р.Штрауманн использовал уравнения движения и первым разработал аналитическую модель биомеханики лыжных прыжков.

В 1950-х годах Эриком Виндешем техника была модифицирована, спортсмены стали отводить руки назад к бедрам для достижения более выгодного аэродинамического положения (рисунок 2) [1]-[3].

Позднее на смену предшествующим двум техникам полета пришел параллельный классический стиль, или стиль «Дашер», автором которого является Андреас Дашер (Швейцария) (рисунок 3). Тело спортсмена стало более распрямленным и вытянутым, что позволило занять более плоское и аэродинамически выгодное положение в воздухе [1,2,3]. Скорее всего, это было результатом дальнейшего исследования и экспериментов А.Дашера в аэродинамической трубе Штраумана.



Рисунок 2 – Миро Оман использует технику Виндеша

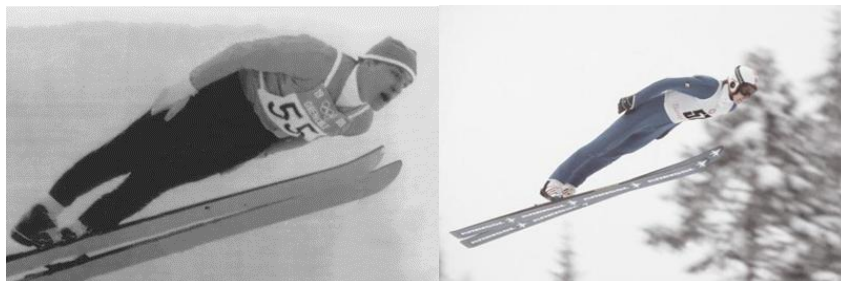


Рисунок 3 – Владимир Белоусов (слева) и Матти Ньюкянен (справа) в параллельном стиле (стиль Дашер)

В результате исследований Р.Штрауманн представил оптимизированную аэродинамическую позицию полета (рисунок 4), которая поразительно отражала положения лучших «летающих лыжников», используемые много лет спустя.

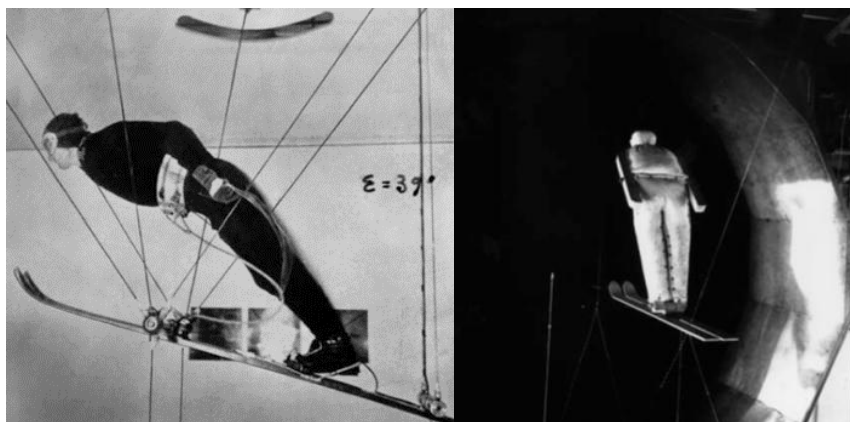


Рисунок 4 – Прыгун с трамплина А.Дашер (слева) и манекен лыжника-прыгуна (справа) в экспериментальных исследованиях, проведенных в аэродинамической трубе в 1954 году [4]

Следующим важным шагом к лучшему пониманию техники полёта была работа И.Тани и И.Иучи [5] Они провели обширные испытания в аэродинамической трубе для измерения сил и угловых моментов, действующих на полномасштабную модель лыжника-прыгуна в воздушном потоке. Японские ученые предложили вариант полета, при котором руки располагались вблизи туловища, и определили, что положение спортсмена, при котором коэффициент подъемных сил достигает максимального значения по отношению к лобовому сопротивлению, не гарантирует высокой дальности прыжка.

В тот же период Е.А.Грозин [6] представил более подробные результаты измерений, проведенных в аэродинамической трубе, включая соотношения коэффициентов аэродинамического подъема и лобового сопротивления для конкретных углов атаки тела и лыж. Данные исследования охватывали почти весь спектр позиций, определенных в реальных прыжках, и эта информация была впоследствии использована в дальнейших расчетах и компьютерном моделировании для повышения

эффективности в прыжках на лыжах с трамплина. Впоследствии российским ученым Ремизовым был сделан вывод о том, что дальность полета зависит от положения сегментов тела спортсмена и от угла атаки лыж, который должен постепенно увеличиваться в соответствии с изменением профиля горы приземления. Теоретический анализ и экспериментальные исследования Дж.Денота с соавторами [7] позволили оптимизировать технику всех фаз прыжка.

С середины 1970-х техника прыжка во многом изменилась благодаря появлению прыжковых комбинезонов. Используемый ранее материал костюма со стороны спины был полностью воздухопроницаемым, а использование новой непродуваемой ткани давало огромный прирост аэродинамических сил. Австрийским тренером Бальдуром Праймлем совместно с производителем «Reinalter» были разработаны новые комбинезоны из ламинированной пены, которые в наше время стали одними из самых жестко регулируемых в спортивной экипировке. Австрийские лыжники-прыгуны впервые использовали новые комбинезоны на Турне четырех трамплинов 1974-1975 гг. и одержали там тройную победу в общем зачете, что случалось только три раза за 60-летнюю историю турнира. Согласно воспоминаниям Тони Иннауэра, который участвовал в этих соревнованиях, новые комбинезоны позволяли улетать с большого трамплина на 5 метров дальше при том же уровне подготовленности.

В начале 1990-х годов на смену классическому стилю пришел V-стиль (Боклев-стиль), создателем которого считается Мирослав Граф, а первым спортсменом, достигшим с его помощью успехов на крупных международных соревнованиях, стал швед Ян Боклев. Новый стиль полета характеризовался разведением носков лыж до положения V, что позволило увеличить дальность прыжка на 10-20% (рисунок 5) [1]-[3].

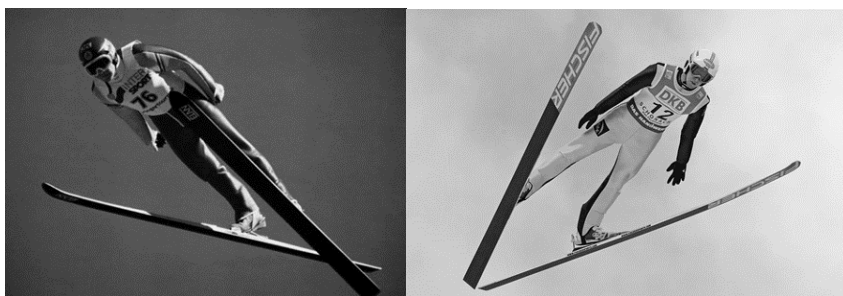


Рисунок 5 – Ян Боклев (слева) и Евгений Климов (справа) используют технику V-стиль

Появление V-стиля стало причиной активизации научных исследований техники полета и других фаз прыжка на лыжах с трамплина. Первое и, вероятно, самое важное на тот момент исследование V-стиля было опубликовано Р.Манке и Г.Хохмут [8]. Исследователи провели ряд экспериментов в аэродинамической трубе, сравнивая V-стиль с различными вариантами классического стиля. На рисунке 6 показаны результаты измерений, демонстрирующие аэродинамические преимущества нового стиля, а также наиболее рациональные положения тела и лыж по отношению к встречному воздушному потоку.

При использовании V-стиля было отмечено существенное увеличение крутящего момента в начале полета. Однако на протяжении дальнейшего полета общий крутящий момент системы «лыжник-лыжи» уменьшался. Было выдвинуто предположение, что спортсмены уравнивают крутящий момент, не только изменяя положение тела, но и изменяя V-угол разведения лыж.

Переход на V-стиль по настоящее время остается последним существенным изменением техники полета в прыжках на лыжах с трамплина. Однако спортсмены продолжают поиск наиболее выгодных вариантов полета, например, некоторые именитые лыжники-прыгуны используют Н-стиль – при котором лыжи широко разведены и удерживаются параллельно, напоминая букву «Н» (рисунок 7).

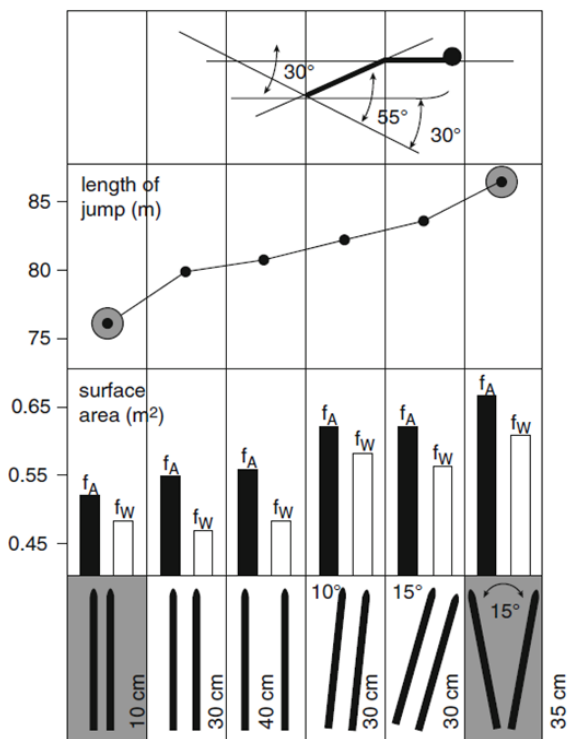


Рисунок 6 – Влияние положения лыж на аэродинамические силы и результирующую дальность полета [8]



Рисунок 7 – Д.Превц (Словения) использует технику полета Н-стиль

Благодаря научным исследованиям Международная федерация лыжного спорта FIS ввела ряд важных ограничений по использованию прыжковой экипировки и инвентаря, а также внесла коррективы и дополнения в регламент проведения соревнований (правило «стартовых ворот» и ветровой компенсации). Эти меры позволили уравнивать условия соревнований для спортсменов, сделать их более безопасными.

2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИКИ СОВРЕМЕННОГО ПРЫЖКА НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

Прыжок на лыжах с трамплина состоит из пяти основных фаз – разгона, отталкивания, полета, приземления и выката, из них первые три влияют на дальность прыжка. Это подтверждено исследованиями Г.Хохмут и Р.Манке [8], в ходе которых было доказано, что результативность в прыжках на лыжах с трамплина во многом зависит от скорости разгона, точно направленного и своевременного отталкивания, а также оптимального аэродинамического качества полета.

Итоговый результат спортсмена в прыжке на лыжах с трамплина складывается из дальности прыжка, судейской оценки качества выполнения техники полета, приземления и выката, а также компенсаторных поправок за ветровые условия и длину разгона.

Прыгун на лыжах с трамплина, находясь в условиях нарастающей скорости на горе разгона, должен принять устойчивое и оптимальное для выполнения отталкивания положение стойки разгона. На столе отрыва трамплина необходимо выполнить активное и технически точное разгибание-отталкивание, позволяющее быстро принять выгодное аэродинамическое положение полета в воздухе с выходом на высокую траекторию. Воздушная фаза прыжка – полет – требует от прыгуна сохранения баланса тела и контроля лыж на всем ее протяжении. Приземление в позиции разножки (телемарк) обеспечивают безопасный переход лыжника из безопорного полета в устойчивое скольжение на

горе приземления и остановку на контруклоне [9].

С биомеханической точки зрения скорость разгона существенно зависит от сил, противодействующих движению – силы сопротивления воздуха и силы трения скольжения. Для того чтобы свести к минимуму сопротивление воздуха, спортсмен должен принять аэродинамически благоприятное положение. Разница в скорости в 1 км/ч может приводить к увеличению дальности полета на 4-6 м, в зависимости от величины трамплина, что подчеркивает важность скорости разгона для общего спортивно-технического результата.

Отталкивание от стола отрыва представляет собой быстрое разгибание ног и тела, которое выполняется в соответствии с определенными техническими критериями. При отталкивании общая согласованность движений и поступательное смещение общего центра тяжести тела являются для лыжника-прыгуна одной из ключевых задач. При этом разгибание ног должно происходить с ускорением. Увеличение скорости отталкивания на 0,1 м/с позволяет спортсмену улететь на 1,5 м дальше. Кроме этого, скорость отталкивания имеет большое значение для увеличения траектории полета и достижения оптимального крутящего момента, как предпосылки быстрого принятия аэродинамически выгодного положения в воздухе [10, 11].

С увеличением мощности трамплина все большее влияние на дальность прыжка оказывает аэродинамическое качество полета. Спортсмен влияет на аэродинамические силы в полете посредством изменения положения тела и лыж по отношению к встречному воздушному потоку. Чтобы достичь оптимального взаимодействия с силами воздуха, лыжнику-прыгуну необходимо принимать положения тела и лыж, которые наиболее рациональны на каждом этапе полета. Аэродинамическое качество полета также зависит от массы тела, спортивного инвентаря, силы и направления ветра [10]. Необходимо отметить, что в прыжках на детских и юношеских трамплинах скорость спортсменов значительно ниже, чем на спортивных, соответственно подъемная сила (СА) в меньшей степени влияет на прыгуна в полете.

Таким образом, три биомеханических фактора, влияющие на спортсменов в трех фазах прыжка – скорость разгона,

скорость отталкивания и аэродинамическое качество полета – главным образом определяют дальность прыжка и являются приоритетными в технической подготовке.

Качественное выполнение лыжником-прыгуном обязательного технического элемента разножки (телемарк) при приземлении обеспечивает безопасный переход от полета к устойчивому скольжению по горе приземления и гарантирует высокие баллы от судей по технике. Прыжок завершается фазой выката, в которой спортсмен должен выполнить контролируемое, и, по возможности, эстетичное движение до пересечения «линии падения».

3 ТЕХНИКА РАЗГОНА В СОВРЕМЕННЫХ ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПИНА

Фаза разгона создает исходные условия для выполнения отталкивания и начала полета. Профиль горы разгона состоит из прямого участка с наклоном $33-35^\circ$. Далее следует плавная радиальная кривая R1 ($R \approx 150$ м), переходящая в прямой участок стола отрыва длиной 6,5-7 м и наклоном $10-11^\circ$. Прыгуны с трамплина принимают позицию стойки разгона с углом наклона туловища $5-10^\circ$, углом в коленных суставах $60-70^\circ$ и наклоном голени $50-55^\circ$ относительно плоскости горы разгона (рисунок 8) [12]. Основными задачами лыжника-прыгуна в фазе разгона являются набор максимальной скорости и принятие оптимального положения тела для успешного выполнения отталкивания от стола отрыва.



Рисунок 8 – Стойка разгона

Спортсмен находится в начале прямого участка стола отрыва – 6-6,5 м до края стола. Кубок мира, 08.12.2019, г.Н.Тагил (Россия), 1-ая зачетная попытка. Слева направо – Кобаяши Р. (Япония), Крафт Ш. (Австрия)

Г.Эттема с соавторами [13] рассмотрели прохождение спортсменами горы разгона на трамплине и создали компьютерную модель первой фазы прыжка. Исследователи определили, что при движении по прямому участку сила реакции опоры меньше силы тяжести ($0,88 \text{ m} \cdot g$), так как спортсмен естественно движется вниз. Инерция прямолинейного разгона и увеличивающаяся сила трения при входе в радиус создают передний вращающий момент со смещением общего центра тяжести (ОЦТ) вперед. При движении по переходной кривой R1 возникают центробежные силы, и к концу R1 сила реакции опоры увеличивается в среднем в 1,8 раза – до $1,65 \text{ m} \cdot g$ (точное ее значение зависит от наклона, скорости движения, величины радиуса трамплина). Моменты сил, возникающих в коленном суставе, увеличиваются на больший коэффициент (1,96), так как возникает обратная динамика в связи с прекращением вращения вперед (центробежные силы перестают действовать), а проекция ОЦТ смещается назад, ближе к пятке. По мнению авторов, данный участок разгона является наиболее сложным, так как совпадает с началом отталкивания и требует от спортсмена тонких ощущений баланса и высокой координации движений [13].

При помощи компьютерного моделирования и исследования техники прыжков на Олимпиаде в Турине в 2006 году [12] было определено, что скорость разгона в значительной степени влияет на дальность полета. Увеличение скорости разгона на 1 км/ч позволит спортсмену совершить полет на 3,8-10,1 м дальше в зависимости от мощности трамплина.

На скорость разгона, которая на спортивных трамплинах составляет от 80 до 90 км/ч, а на полетных – достигает 90-100 км/ч, существенное влияние оказывают такие факторы, как аэродинамическое сопротивление, трение лыж о лыжню, масса тела и погодные условия. При этом фактор погодных условий уравнивают принятые компенсаторные поправки на

ветер. Разница в массе спортсменов не имеет существенных различий, поскольку все спортсмены стремятся быть легкими (в рамках, дозволенных правилами FIS). Взаимодействие лыж с ледяной (керамической) лыжнёй имеет очень низкий коэффициент трения, и для того чтобы снизить скорость разгона примерно на 1 км/ч только за счет трения лыж, его необходимо увеличить более чем на 25%. С увеличением скорости движения влияние силы лобового сопротивления будет увеличиваться в отличие от силы трения, величина которой остается постоянной. Следовательно, наибольшее влияние на снижение скорости разгона оказывает сопротивление воздуха [14].

Для обеспечения безопасности соревнований, в частности, снижения возможности выполнить чрезмерно далекий прыжок спортсменами-лидерами, правилами предусмотрено сокращение длины разгона путем переноса стартовой скамейки на более низкую ступень. Данный пункт правил используется как для взрослых, так и для молодых «летающих лыжников». Таким образом, сложилась ситуация, когда при уменьшающейся длине разгона лыжники-прыгуны должны решать основную задачу – набор максимально возможной скорости. Это предъявляет особые требования к методике технической подготовки как квалифицированных, так и юных спортсменов, и обуславливает необходимость ее совершенствования в соответствии с современными тенденциями вида спорта.

С целью определения резервов повышения скорости разгона немецкими исследователями было проведено специальное исследование [15]. В центре внимания был вопрос об изменении скорости на двух основных участках горы разгона – прямолинейном и радиальной кривой разгона (R1).

Исследование проводилось на двух международных соревнованиях у мужчин по прыжкам на лыжах с трамплина (г.Клингенталь, Германия, трамплин HS140, СОС) и лыжному двоеборью (г.Оберстдорф, Германия, трамплин HS137, SGP). В ходе квалификационного и первого зачетного прыжков фиксировались результаты спортсменов, стартовавших с одной и той же стартовой скамейки в одной попытке. На протяжении горы разгона были установлены инфракрасные

датчики, первый – непосредственно под первыми стартовыми воротами, следующие два – на расстоянии 3 и 5 метров под ним, остальные – с примерным интервалом 10 м. Световые барьеры 9 и 10 находились на стандартной позиции официального замера скорости, на 18 и 10 метрах выше края стола отрыва. Таким образом, гора разгона была разделена на восемь участков, из которых участки 1-4 относились к прямолинейной ее части, а участки 5-8 – к радиусу R1 [15].

Чтобы оценить динамику скорости разгона лидеров и проанализировать различия в результатах, спортсмены были разделены на четыре группы по показателям индивидуальной скорости в каждой из четырех попыток на различных участках разгона. В итоге, в группах 2-4 была отмечена разница в скорости разгона как по сравнению с лидерами, так и между группами уже на первом отрезке, а также по мере дальнейшего прохождения горы разгона. Это означает, что существенные различия в показателях скорости между группами возникали не только на отдельных участках, но и на протяжении всей фазы разгона, а 15% различий в итоговой скорости разгона появились уже на первом участке [15].

Было определено, что потери скорости возникают как на прямолинейном участке разгона, так и при прохождении радиуса независимо друг от друга, причем большие потери происходят при прохождении радиуса R1. Это можно объяснить усложняющимися условиями, связанными с возникновением центробежной силы. Исследователи предположили, что лучшим спортсменам, по-видимому, удавалось сохранять оптимальную стойку разгона даже в радиальной кривой R1. Спортсмены, отстающие в скорости разгона, в первую очередь теряют свою скорость по сравнению с самыми быстрыми прыгунами, именно на этом участке и, возможно, по мере движения изменяют позицию разгона (внешние параметры, распределение давления), что закономерно отражается на негативном влиянии сил воздушного сопротивления и/или силы трения лыж. Наряду с требованиями к позиции стойки разгона как исходного положения для выполнения отталкивания (плотная, сбалансированная стойка разгона), в радиусе разгона особенно важна ее реализация на высоком техническом уровне,

необходимом для набора максимальной скорости [15].

Выявленная связь между разницей скорости на первом и последнем участках разгона показывает, что важными являются приобретение начальной скорости за счет отталкивания руками от стартовой скамейки и быстрого принятия оптимальной стойки разгона. Проигрыш в скорости, который возникал на первом участке, в большинстве случаев уже не компенсировался вплоть до стола отрыва.

Другое исследование, проведенное специалистами Норвежского университета науки и технологий (NTNU) в г.Тронхейме [14], было направлено на определение аэродинамически оптимальной позиции разгона, в частности, факторов, снижающих лобовое сопротивление. При этом данная оптимизация не должна была отрицательно влиять на стойку разгона как на исходное положение для выполнения отталкивания. Для этого 23 лыжника-прыгуна из сборной Норвегии (8 из основного состава и 15 из резервного) прошли «продувку» в аэродинамической трубе на скорости воздушного потока до 90 км/ч. Спортсмены были одеты в полную экипировку для прыжков с трамплина, лыжные крепления были зафиксированы непосредственно на полу трубы. Прыгуны принимали стандартную позу стойки разгона, аналогичную позиции разгона на трамплине перед входом в радиальную кривую R1. Для этого в каждой попытке проводилась профильная видеосъемка с дальнейшим определением величины угла наклона туловища, бедра и голени. Такой контроль позволил убедиться, что заданное положение сохранялось на протяжении измерения (20 с) [14].

Также были протестированы оптимизированные варианты позы разгона с целью определения возможных резервов уменьшения площади лобового сопротивления, например, принятие позиции с меньшим углом наклона туловища или голени. В сотрудничестве со спортсменами и тренерами были выбраны те положения стойки разгона, которые позволили бы эффективно выполнить отталкивание от стола отрыва в условиях прыжка с трамплина [14].

В результате исследований были определены существенные различия аэродинамического качества позы разгона у групп спортсменов из основной национальной

команды (участников Кубка мира) и резервной (участников Континентального кубка) [14]. Средняя разница между группами в показателе «фронтальная площадь тела» и, соответственно, величина коэффициента лобового сопротивления (CDA) для стандартной позы разгона составила 0,016 м² (~ 15,5%), что соответствует разнице в скорости разгона 0,6-1,3 км/ч и для оптимизированного положения почти 0,01 м² (~ 10,8%), с разницей в скорости 0,4-0,8 км/ч. Основным различием в положении сегментов тела у спортсменов двух групп был угол наклона туловища. Разница в угле наклона туловища между группами составила около 3° как для стандартного, так и для оптимизированного положения. Закономерно, что чем больше значение угла наклона туловища, тем больше фронтальная площадь тела и, соответственно, величина CDA.

В видах спорта, где аэродинамические силы играют важную роль, таких как велогонки, горные лыжи и конькобежный спорт, спортсмены стараются принимать позу с наименьшим лобовым сопротивлением. Обтекаемая форма тела создает условия для более позднего разделения воздушного потока позади спортсмена, что в некоторой степени уменьшает сопротивление воздуха. Это актуально и для лыжника-прыгуна в фазе разгона, а приближенное к горизонтальному положение туловища позволяет сделать позу разгона более рациональной. С биомеханической точки зрения, уменьшение угла наклона туловища может также сместить центр масс тела ближе к центру приложения силы сопротивления воздуха, что может облегчить поддержание равновесия. Способность спортсменов переносить свои субъективные ощущения из имитационных упражнений на трамплин позволит сделать процесс технической подготовки более целенаправленным и взаимосвязанным.

Компьютерное моделирование позволило определить, что выявленные различия в скорости между группами, равные 0,4-1,3 км/ч, равнозначны старту с 1-3 расположенных выше стартовых скамеек или компенсации за стартовое преимущество в 3-18 баллов (количество баллов различается в зависимости от величины трамплинов из-за разного расстояния между скамейками). Согласно данным,

полученным ранее М.Вирмавирта [16], спортсмен способен увеличить дальность своего полета на 3,8-10,1 м за счет увеличения скорости разгона на 1 км/ч, что равноценно 4,6-20,4 баллам (в зависимости от величины трамплина «стоимость» метра различается). Таким образом, уменьшение лобового сопротивления на разгоне будет иметь значительное положительное влияние на итоговый результат в прыжке, и это влияние будет значительнее с увеличением размера трамплина.

Анализ протоколов соревнований в сезоне 2018-2019 гг. подтвердил существующую разницу в скорости разгона. Спортсмены, выступающие на Континентальном кубке, стартуют в среднем на 4-5 скамеек выше по сравнению со спортсменами Кубка мира, но разгоняются только на 1,2 км/ч быстрее (потенциально возможная разница в скорости может достигать 2,2 км/ч). Если бы прыгуны стартовали с одной и той же стартовой скамьи, скорость спортсменов на Кубке мира была бы на 0,9 км/ч выше, чем у спортсменов на Континентальном кубке. Следовательно, разница в скорости разгона между прыгунами обследованных групп настолько велика, что может повлиять на итоговую результативность и может быть одним из факторов, разделяющих группы на соревнованиях.

Соревнования Кубка мира проводятся в основном на трамплинах большой мощности (K120-125), а Континентальный кубок на нормальных трамплинах (K90-95). Необходимо отметить, что разница в сопротивлении воздуха на нормальном трамплине не будет столь существенной, как на трамплинах больших и лётных мощностей. Этот факт может в большей мере пояснить причину возникновения разницы величины лобового сопротивления и в итоге скорости разгона у двух групп высококвалифицированных спортсменов. Также это подчеркивает важность понимания различных нюансов соревновательной деятельности с более высоким уровнем конкуренции.

В исследовании норвежских ученых [14] было рассмотрено возможное влияние положения кистей рук на аэродинамику разгона. Принимая позицию стойки разгона, спортсмены располагали кисти в трёх вариациях – ладонями

друг к другу (параллельно), внутренним ребром ладони друг к другу (поперечно) и индивидуально, на собственное усмотрение. Основным условием испытания было максимально приближенное положение рук к туловищу, то есть их нахождение вне воздушного потока. Полученные результаты показали, что различные варианты положения кистей рук не имели значимого эффекта, гораздо большее значение имело положение рук.

4 ТЕХНИКА ОТТАЛКИВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

Эффективное выполнение фазы отталкивания в прыжке на лыжах с трамплина требует высокого уровня взрывной силы, своевременного приложения усилий, точного технического исполнения (рисунок 9). По мнению словенского специалиста Б.Иоста, фазу отталкивания необходимо разделять на контактную, в которой отталкивание происходит при непосредственном контакте с разгоном и столом отрыва, и бесконтактную (первые 15-20 метров полета) части. Во время бесконтактной фазы спортсмен еще не принял аэродинамического полетного положения и имеет наибольшее лобовое сопротивление воздуха [17, 18]. В отечественной терминологии бесконтактную фазу отталкивания называют периодом формирования полета.



Рисунок 9 – Фаза отталкивания от стола отрыва и начало формирования полета
(Климов Е., Россия, Олимпиада-2022, трамплин К-95)

Отталкивание от стола отрыва в прыжке на лыжах с трамплина – это переходное движение из стойки разгона в положение полета. Отталкивание и взлет считаются наиболее важными этапами для всего прыжка с трамплина, так как они создают начальные условия полета. Лыжник-прыгун должен выполнить отталкивание на высокой скорости в условиях сильного действия аэродинамических сил за короткий период времени (от 0,25 до 0,35 с) на протяжении примерно 6-7,5 м [19]. Первые движения отталкивания начинаются на переходе из радиуса R1 к началу плоскости стола отрыва. Этот момент требует своевременности действий и хорошей координации из-за внезапного прекращения действия центробежной силы в конце кривой радиуса R1 (6,5 м до края стола отрыва).

Основной задачей спортсмена в фазе отталкивания от стола отрыва является достижение высокой вертикальной скорости отталкивания с сохранением или даже увеличением горизонтальной скорости вылета. Непременным условием выполнения данной фазы прыжка является создание предпосылок возникновения переднего крутящего момента.

Движение отталкивания характеризуется изменениями в двух основных суставных углах – коленном и тазобедренном. Разгибание колен на столе отрыва происходит в среднем диапазоне от 70 до 140° [12] с максимальным значением угловой скорости более 12 рад/с, которая обычно достигается в мгновение вылета со стола отрыва. При удачном отталкивании угловая скорость разгибания в тазобедренном суставе также относительно высока (>10 рад/с), что вызвано, в основном, разгибанием бедра, с меньшим участием движения туловища.

Величины угловой скорости разгибания тазобедренного сустава лучших лыжников-прыгунов высоко коррелируют с дальностью прыжков, хотя различия между положением при отталкивании на краю стола отрыва у сильнейших и сравнительно слабых прыгунов незначительны. Лучшие прыгуны демонстрируют больше вариаций в технике исполнения отталкивания, достигая при этом максимальной дальности полета [20].

Создание крутящего момента при прыжке с трамплина рассмотрел Х.Швамедер [19]. Векторный анализ показал, что

изменение положения ОЦТ у лыжников-прыгунов относительно результирующего вектора реакции опоры имеет гораздо большее влияние на величину вращательной составляющей, чем на поступательный компонент усилия при отталкивании.

Во время выполнения отталкивания важными являются не только величина и скорость проявления усилия, но также своевременность и согласованность движений в суставах, которые напрямую влияют на положение спортсмена в начале полета и предъявляют особые требования к координационным способностям лыжников-прыгунов.

М.Вирмавирта с соавторами провели серию экспериментов в аэродинамической трубе, в которых лыжники-прыгуны выполняли отталкивание (на лыжах и без них), как без ветра, так и при различной скорости воздушного потока.

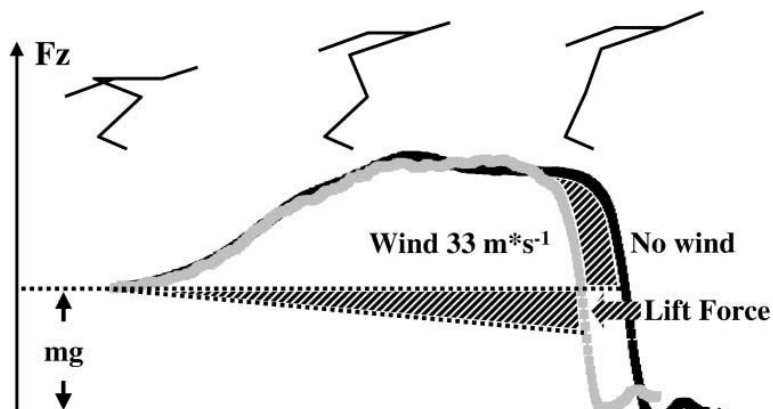


Рисунок 10 – Схематичное изображение аэродинамической подъемной силы при отталкивании от стола отрыва [18]

Сила реакции опоры регистрировалась тензометрической платформой, установленной на полу туннеля. Резкое сокращение времени отталкивания, обнаруженное у всех прыгунов в условиях встречного воздушного потока, было интерпретировано как результат влияния подъемных сил. Был сделан вывод, что

аэродинамический подъем, вызванный воздушным потоком, делает имитируемый прыжок ближе к реальным условиям и помогает лыжникам-прыгунам выполнить отталкивание в ограниченное время более эффективно, чем предполагалось ранее [21]. Также М.Вирмавирта и соавторами. сообщили, что правильно выполненное отталкивание в сочетании с действием подъемной силы воздуха помогает прыгуну быстрее принять необходимое положение полета сразу после отталкивания.

Для визуализации поля воздушного потока вокруг тела прыгуна на трамплине и анализа его влияния используется метод вычислительной гидродинамики. Японские исследователи рассмотрели положение лыжника-прыгуна на протяжении 4,6 м стола отрыва во время контактного отталкивания с позиции аэродинамической рациональности. Было определено, что влияние общего лобового сопротивления и подъемной силы воздуха намного больше, чем сил поверхностного трения воздуха о тело спортсмена. Таким образом, сила лобового сопротивления определяет результирующую аэродинамическую силу, действующую на прыгуна в момент отталкивания. Данные, полученные в этом исследовании, были аналогичны результатам работы М.Вирмавирты с соавторами [18]. Также было подтверждено, что высокое положение туловища при отталкивании увеличивает негативное лобовое сопротивление более чем в 2 раза. Согласно анализу воздушного следа, образовавшегося позади тела спортсмена, низкое положение рук увеличивает общую подъемную силу уже с начала отталкивания. Это исследование показало, что существенное увеличение аэродинамического влияния на спортсмена начинается уже в фазе отталкивания [22].

Таким образом, существует два незначительных на первый взгляд фактора, которые необходимо учитывать в технической прыжковой подготовке.

Начало распрямления ног при отталкивании на трамплине совпадает с возникновением и краткосрочным влиянием обратного крутящего момента, возникающего вследствие исчезновения центробежных сил. То есть на первых метрах стола отрыва сразу после прохождения радиуса R_1

существуют внешние силы, толкающие спортсмена назад. Величина их воздействия незначительна, однако достаточна, чтобы нарушить тот оптимальный баланс распределения веса на стопе, который необходим для точной реализации ключевых компонентов отталкивания. Субъективно момент начала давления ногами может восприниматься лыжником-прыгуном как отталкивание из положения с несколько смещенным к пяткам центром тяжести, достаточно статичной позиции. Неслучайно на этом моменте заострял внимание один из наиболее успешных советских тренеров С.А.Сахарнов, подготовивший чемпиона мира Г.Напалкова. По его мнению, в миг начала отталкивания необходимо удерживать голень с максимально активным наклоном вперед, а туловище как можно дольше сохранять в положении, параллельном плоскости разгона. Это наиболее действенный прием для создания благоприятных исходных условий выполнения отталкивания.

По мере дальнейшего распрямления ног и тела возрастает лобовое сопротивление воздушного потока, который, с одной стороны, оказывает тормозящее действие, снижая скорость движения, а с другой – резко повышает влияние подъемной силы, и, таким образом, помогает спортсмену быстрее завершить отталкивание. Решающее значение в финальной части отталкивания имеет скорость отталкивания, а не величина проявляемого усилия, поскольку именно активное разгибание ног, выполняемое с ускорением, позволяет рационально использовать действие подъемных сил и максимально сократить время контактного отталкивания. Данный факт необходимо учитывать, как при проведении имитационной тренировки, так и непосредственно на трамплине. Например, использование резиновых амортизаторов для прыжков вверх из глубокого приседа помогает смоделировать требуемое ускорение.

Исследования немецких авторов были основаны на измерении скорости отталкивания, проведенных на соревнованиях «Турне четырех трамплинов» в Оберстдорфе в период 2009-2014 гг. При небольших вариациях скорость отталкивания достигает в среднем значения 2,7 м/с, при максимальных значениях – до 3,1 м/с. Было показано, что спортсмен обязан иметь показатель в скорости отталкивания

не менее 2,5 м/с, что является минимальным требованием для прыгунов высокого класса. В рамках данного исследования также была определена динамика изменений средних угловых значений в основных суставных звеньях тела сильнейших спортсменов. Так, с 2010 по 2014 год угол наклона голени изменился с 66 до 63°; угол отталкивания - с 88 до 85°; угол наклона туловища – с 23 до 28°; угол в коленном суставе – со 139 до 141°; смещение ОЦТ вперед по отношению к вектору силы реакции опоры – с 21 до 22 см [23].

Последующее исследование этой научной группы в Олимпийском цикле 2015-2018 годов определило тенденцию к незначительному снижению показателя скорости отталкивания у сильнейших спортсменов и увеличению величины смещения ОЦТ вперед в момент окончания контактного отталкивания. По новым данным положение о скорости отталкивания не менее 2,5 м/с как о модельном показателе было пересмотрено [24].

Начало отталкивания происходит в период перехода от конца кривой радиуса R1 горы разгона к плоскости стола отрыва в течение короткого времени, от 0,25 до 0,35 с, и на расстоянии примерно 6-7,5 м от края стола отрыва. Точное определение времени начала отталкивания и расстояния от края стола отрыва может быть сделано только путем измерения силы отталкивания и ее составляющих с помощью специальной измерительной системы [25]. Финские специалисты провели измерение силы моделируемого отталкивания от стола отрыва в лабораторных условиях и обозначили проблемы в определении истинного времени выполнения отталкивания [26].

Было установлено, что продолжительность отталкивания существенно отличается между фактическим прыжком с трамплина (250-300 мс) и прыжком в имитации (500 мс). Согласно данным Х.Швамедера, эту разницу можно объяснить подготовкой к отталкиванию в имитационных прыжках (50 мс), незавершенным разгибанием колена в момент вылета в реальных условиях трамплина (65-80 мс), различной обувью (кроссовки против прыжковых ботинок) (20 мс) и влиянием аэродинамического подъема в реальных прыжках (30-60 мс) [19].

Наиболее информативным методом определения сил реакции опоры при отталкивании является использование силовых тензометрических платформ на столе отрыва. Его преимущество заключается в получении данных измерений без влияния на лыжника-прыгуна, что позволяет применять его во время соревнований.

М.Вирмавирта и П.Коми определили различия в способах распределения усилия при отталкивании. Исследователи использовали тензометрию для сравнения сил реакции опоры высококвалифицированных и молодых прыгунов во время соревнований. Пиковые значения силы реакции опоры для юниоров были значительно меньше и достигались позже [27]. В связи с этим можно предположить, что проявление пика усилия при отталкивании юных лыжников-прыгунов будет смещено к краю стола отрыва и затруднит смещение ОЦТ вперед.

В 1994 году М.Вирмавирта и П.Коми [28] проанализировали показатели, отражающие максимальную силу реакции опоры сильнейшего на тот момент лыжника-прыгуна, и определили, что пик усилия приходится на окончание отталкивания. Исследователи предположили, что увеличение проявления силы в конце фазы отталкивания может являться главным преимуществом прыгуна-победителя. Однако позднее немецкие исследователи провели системные тензометрические исследования у «летающих лыжников» в олимпийском цикле 2010-2014 годов и обнаружили, что во время отталкивания от стола отрыва сильнейшие лыжники-прыгуны проявляли пиковые показатели силы уже в начале разгибания ног с дальнейшим поддержанием или незначительным ее уменьшением [23].

Из кинематического и динамометрического анализов был сделан следующий вывод: сильнейшие спортсмены мира способны развивать при отталкивании из положения низкой стойки разгона высокие показатели силы (имея более длинный путь отталкивания и, соответственно, ускорения), а острый угол отталкивания приводит к увеличению смещения ОЦТ вперед. Благодаря такому варианту отталкивания возникает больший крутящий момент, который способствует скорейшему принятию оптимального положения тела в начале полета.

Это основная тенденция качественного изменения фазы отталкивания в олимпийском цикле 2010-2014 г., которая в дальнейшем позволила выйти на новый, более эффективный уровень техники исполнения данного элемента прыжка. Предпосылкой возникновения современной техники отталкивания являются конструктивное совершенствование и регулировка креплений, позволившие оптимально управлять лыжами с первых метров полета.

В дополнение к этому необходимо отметить, что во время отталкивания спортсмен контактирует со столом отрыва и реализует скоростно-силовой потенциал ног в сочетании с технически рациональным движением всего тела. В безопорном положении полета на лыжника-прыгуна кроме аэродинамических и гравитационных сил также влияют моменты тех сил, которые были проявлены спортсменом в миг отталкивания, например, передний крутящий момент. В случае, если общее усилие в момент разгибания ног и тела на всем протяжении стола отрыва направлено преимущественно вверх с целью достижения максимально высокой траектории полета, моменты сил вертикального отталкивания будут содействовать дальнейшему распрямлению тела вверх уже в начале полета. Учитывая, что скорость разгона на спортивных трамплинах приблизительно равна 22-26 м/с, это вертикальное воздействие в последующие после отталкивания мгновения будет распространено на всю фазу формирования полета и не позволит спортсмену в короткий срок достигнуть активного наклона. Данный пример во многом отражает принцип выполнения отталкивания, который предшествовал появлению современных креплений с металлическим стержнем (столбиком), то есть до 2010 года.

Таким образом, анализ основных показателей, характеризующих отталкивание от стола отрыва необходим для понимания основных задач, решаемых как в данной фазе, так и в последующем периоде формирования полета, и позволяет тренеру и спортсмену находить компромиссный вариант выполнения отталкивания. Для каждого спортсмена необходимо найти оптимальный способ отталкивания, позволяющий комплексно реализовать ключевые задачи, а не превалирующее решение какой-либо одной.

5 ФАЗА ПОЛЕТА В ПРЫЖКЕ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

Фаза полета одна из самых психологически и координационно сложных в прыжке на лыжах с трамплина, так как спортсмен должен управлять своим телом в безопорном положении на высокой скорости, взаимодействуя с воздушными потоками. Для понимания основ техники фазы полета и осознанного подхода к технической подготовке необходимо рассмотреть силы, действующие на прыгуна в воздухе.

5.1 Основы аэродинамики полета в прыжках на лыжах с трамплина

Основной задачей лыжника-прыгуна в полете является принятие аэродинамически рационального положения, при котором силы воздушного потока будут оказывать наиболее благоприятное воздействие, необходимое для достижения большой дальности прыжка. В основе оптимального выполнения фазы полета лежит понимание основных принципов аэродинамики (рисунок 11). Аэродинамическое качество полета лыжника-прыгуна зависит от траектории полета, величины подъемной силы, силы сопротивления воздуха (C_W) и их взаимодействия друг с другом.

Во время полета система «лыжник-лыжи» взаимодействует со встречным потоком воздуха, при этом скорость движения и давление воздуха на верхнюю и нижнюю части тела лыжника-прыгуна различны. Воздух, обтекающий верхнюю часть тела, имеет большую скорость движения, чем воздух, проходящий снизу. Это создает большее давление на нижнюю сторону тела по сравнению с верхней (закон Бернулли). Это различие давлений лежит в основе появления аэродинамических сил.

Вектор силы лобового сопротивления воздуха направлен в ту же сторону, что и встречный воздушный поток, и характеризует силу, с которой воздушная среда противодействует движению тела.

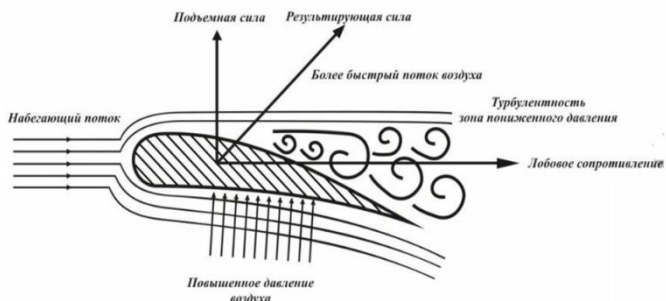


Рисунок 11 – Возникновение подъемной силы, действующей перпендикулярно силе сопротивления воздуха на крылообразное тело через циркуляционный поток с различным соотношением давлений и скоростей окружающего воздуха

В начале полета, когда спортсмен еще не набрал должного наклона, сила лобового сопротивления оказывает преимущественно тормозящее действие и тем самым сокращает скорость и дальность прыжка. По этой причине спортсмену следует стремиться принять положение полета с меньшими углами атаки и, следовательно, меньшим воздействием аэродинамических сил [4]. Далее в ходе полета наклон горы приземления увеличивается до 35° . Поскольку встречный воздушный поток движется вдоль (повторяет профиль) горы приземления, а положение туловища и лыж спортсмена в этой части полета приближено к горизонтальному (0°), то величина угла атаки возрастает вместе с силой лобового сопротивления.

Подъемная сила действует перпендикулярно вверх относительно силы лобового сопротивления, ее величина зависит от формы системы «лыжник-лыжи», угла наклона тела и лыж (угла атаки) по отношению к встречному воздушному потоку. Подъемная сила оказывает поддерживающее действие на всех участках полета и, таким образом, увеличивает дальность прыжка.

Полная аэродинамическая сила является результирующей от сложения вектора подъемной силы, перпендикулярного направлению потока, и вектора силы

сопротивления воздуха, параллельного направлению потока.

Воздух, обтекающий тело и лыжи, образует пограничный слой. Было обнаружено, что при малых углах атаки срыв потока от тела и лыж прыгуна значительно сокращается. В случае больших углов атаки происходит появление зон турбулентности и срыв пограничного слоя, сопровождающийся уменьшением несущей способности, потеря устойчивости и управляемости системы «лыжник-лыжи».

При постоянном повышении величины угла атаки подъемная сила увеличивается от некоторого начального значения, достигает своего максимума, а затем начинает уменьшаться. В тех же условиях величина лобового сопротивления продолжает увеличиваться по мере увеличения угла атаки (рисунок 12). Суть вопроса заключается в том, что меньшие углы атаки приводят к большому отношению между ними C_A и C_W . Большие углы атаки приводят к соответственно большим коэффициентам аэродинамических сил в связи с меньшими отношениями C_A и C_W .

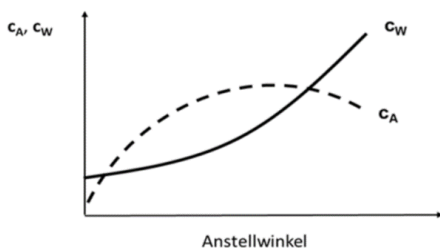


Рисунок 12 – Изменение подъемной силы (C_A) и силы сопротивления воздуха (C_W) в зависимости от угла атаки тела [8]

Таким образом, в зависимости от профиля горы приземления и соответственно направления встречного потока воздуха на спортсмена по-разному влияют воздушные силы, следовательно, с точки зрения аэродинамической рациональности на различных участках полета спортсмен должен принимать оптимальное положение именно для конкретного участка (рисунок 13).

На протяжении всей фазы полета не существует единой универсальной позиции для системы «лыжник-лыжи».

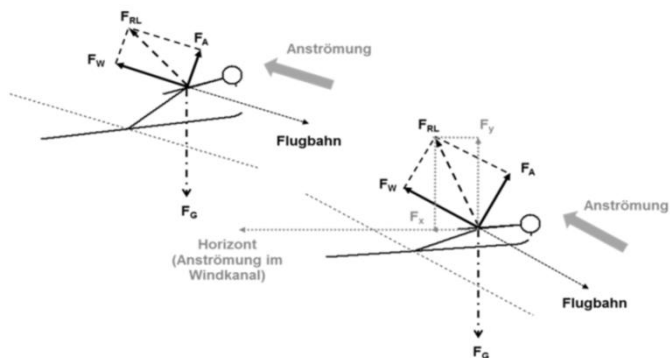


Рисунок 13 – Действие силы сопротивления воздуха (F_W), подъемной силы (F_A) и полной аэродинамической силы (F_{RL}) на систему «лыжник-лыжи» на различных участках полета [8]

Следовательно, для достижения высокого аэродинамического качества полета лыжник-прыгун должен стремиться к переходу от изначально малых углов атаки в начале полета к большим углам атаки в последующей части. При этом во время полета важно достичь оптимального (максимально эффективного) баланса между положительным и отрицательным эффектами аэродинамических сил. Согласно результатам исследований Н.Гардан, именно рациональное положение спортсмена в воздухе, а не скорость полета лежит, в основе далекого прыжка [29].

5.2 Последовательность технических действий лыжника-прыгуна в фазе полета

На сегодняшний день в прыжках на лыжах с трамплина существуют конкретные представления об оптимальной последовательности действий спортсмена на протяжении полета. Они основаны на результатах исследований в аэродинамической трубе с последующим расчетом траектории полета, а также на анализе техники сильнейших лыжников-прыгунов на международных соревнованиях. В последние годы модельные показатели техники неоднократно дополнялась и уточнялась в связи с различными изменениями в экипировке и

правилах соревнований в прыжках с трамплина. Современные модельные показатели техники детально описаны в немецкой программе подготовки прыгунов на лыжах с трамплина и лыжников-двоеборцев [30].

Анализ сил, действующих на спортсмена во время полета в прыжке с трамплина, позволяет условно разделить фазу полета на три части:

- переход от отталкивания к сгруппированной и устойчивой позиции полета, называемый формированием полета (или бесконтактной фазой отталкивания);
- первая часть полета, проходящая над относительно пологой частью горы приземления – лбом (R3);
- вторая часть полета, проходящая над самым крутым участком горы приземления.

Первые две части имеют сходные задачи и объединяются, образуя первую половину полета. Второй этап полета и подготовка к приземлению составляют вторую половину полета. При этом последовательный переход от предыдущей части полета к последующей должен происходить слитно и восприниматься как единое действие.

Наиболее выражено конкретные стадии полета могут быть продемонстрированы спортсменами на трамплинах с большой мощностью, поэтому их описание будет рассматриваться на основе информации по полету на больших трамплинах. Представленные данные актуальны для трамплинов всех размеров с соответствующей корректировкой участков полета.

Формирование полета происходит примерно на первых 15-20 м полета, сразу после отталкивания. Этот участок представляет собой координационно сложную, чувствительную к ветровым условиям часть полета [16, 17, 19]. Основными требованиями к технике формирования полета являются достижение малого угла наклона туловища и ног, необходимого для быстрого снижения воздушного сопротивления, и постановка лыж в горизонтальное положение [17, 23, 31]. Х.Швамедер и Е.Мюллер в своих исследованиях доказали, что небольшой угол между ногами и лыжами имеет весомое значение для далекого прыжка [31, 32]. Это требует быстрого подбора и контроля лыж стопами. После

отталкивания происходит активное распрямление в тазобедренном суставе. Формирование полета завершается, когда прекращается переднее вращение в положение полета. Соответственно, сгруппированная и устойчивая позиция полета может быть быстро достигнута в фазе формирования. Разведение лыж в положение «V» также происходит на протяжении данного участка полета.

Первая часть полета начинается сразу после периода формирования полета и продолжается примерно до 60 м. В этот период принятое спортсменом положение сохраняется, либо продолжается прямое вращение, если еще не достигнуты малые благоприятные углы атаки, особенно в угле наклона ног. Дальнейшее разгибание в тазобедренном суставе может достигать 160° . Положение лыж «V» на данном участке характеризуется стабильным положением с V-углом разведения лыж, достигающим 35° с почти закрытыми (находящимися рядом) нижними концами лыж и минимально возможным поворотом лыжи относительно своей продольной оси (угол K).

Вторая часть полета включает полет примерно до 120 м и последующую подготовку к приземлению. Во второй части полета углы тела и лыж несколько увеличиваются. Тело распрямлено, величина угла в тазобедренном суставе $\geq 160^\circ$, а V-положение лыж все еще стабильно при V-угле около 35° , угол атаки лыж увеличивается до 40° .

Подготовка к приземлению должна проходить по кратчайшей траектории полета – около 20-25 м, и начинаться с того, что спортсмен разгибает туловище, слегка разводит руки в стороны, немного сгибает ноги в коленном и тазобедренном суставах, в результате чего достигается обратный вращающий момент сил воздуха. Лыжи приводятся к параллельному положению. Непосредственно перед приземлением угол атаки лыж уменьшается до значений угла наклона горы приземления.

Таким образом, в современных прыжках с трамплина существуют конкретные представления об оптимальной последовательности движений в фазе полета. В следующих разделах детально рассмотрим каждую часть фазы полета.

5.3 Техника формирования полета в современных прыжках на лыжах с трамплина

Начальная часть полета, следующая за отталкиванием (около 0,5-0,8 с после отталкивания), требует высокой точности и согласованности движений [33]. При отрыве от стола нужно рассматривать лыжника и лыжи как одну систему, так как суммарно они образуют единую поверхность опоры на воздушную подушку, причем лыжи занимают приблизительно 50% этой поверхности.

На первых метрах после контактного отталкивания у спортсменов нет возможности изменить положение тела, поэтому эффективное отталкивание определяет дальнейшее качество полета в этой фазе. Ошибки, допущенные в фазе отталкивания, сложно, а порой и невозможно скорректировать во время полета, и в то же время ошибки, совершенные во время бесконтактной фазы, могут нивелировать преимущества, полученные при технически правильном выполнении толчка.

На первых 15-20 метрах полета спортсмен испытывает сильное лобовое сопротивление и, как следствие, теряет скорость, поэтому основной его задачей становится скорейшее принятие аэродинамического полетного положения, при котором сократится воздушное сопротивление, а подъемная сила воздуха обеспечит устойчивую опору. По этой причине распрямление и наклон тела в начале полета должны происходить очень быстро. После отрыва от стола прыгун должен максимально быстро поднять носки лыж вверх до горизонтального положения и развести их в стороны, чтобы лыжи не закрывали полезную площадь опоры, образованную телом самого прыгуна.

Переход от отталкивания к полёту включает важное уравновешивание аэродинамических сил и крутящего момента, созданного прыгуном при отталкивании. Это возможно только если в начале полета передние и обратные крутящие моменты полностью сбалансированы [19]. Эти данные согласуются с исследованиями М.Мураками с соавторами [34], которые при помощи скоростной видеосъемки и компьютерного моделирования определили, что в начале полета положение системы «лыжник-лыжи» с

небольшим воздушным сопротивлением является ключевым фактором для далекого полета.

Множество исследований связано с определением оптимального угла атаки лыж. Так, например, исследования Н.Гардан с соавторами [29], основанные на методе компьютерного моделирования, позволили определить оптимальный угол атаки лыж (по отношению к встречному потоку в начале полета), равный 14° .

В 2008 году словенскими исследователем Я.Водичар с соавторами [35] при помощи видеоанализа было определено, что в начале полета (15 м) наиболее значимой переменной для достижения далекого прыжка является высокая траектория полета. Другими условиями повышения эффективности прыжка являются симметричное ведение лыж в положении «V» и прямолинейность полета вдоль продольной оси горы приземления трамплина [23].

В анализе олимпийского цикла 2014-2018 гг. З.Мюллер и Дж.Вик отметили изменение структуры отталкивания с уменьшением величины крутящего момента в начале полета, что облегчает для спортсменов управление телом и лыжами [24, 36].

5.4 Техника полета в современных прыжках на лыжах с трамплина

Анализ современных тенденций в технике прыжка на лыжах с трамплина в олимпийском цикле 2010-2014 годов, проведенный немецкими специалистами, позволил определить угловые модельные показатели для средней части полета: угол наклона ног – менее 50° , общий угол наклона тела – $40-44^{\circ}$, угол атаки лыж – $28-35^{\circ}$ (все по отношению к встречному воздушному потоку), угол между ногами и лыжами $15-18^{\circ}$ [23].

Аналогичные исследования, проведенные в период 2014-2018 годов, подтвердили сохранение тенденции к активному полету с большим смещением ОЦТ вперед и сокращению угла наклона туловища, малым сгибанием в тазобедренном суставе и достаточно большим углом разведения лыж [24, 36].

Благодаря современной технологии компьютерного

моделирования и появлению новой 3D-технологии на основе данных инерционных датчиков у исследователей расширились возможности изучения влияния сил воздуха (лобовое сопротивление SD и подъемная сила SL воздуха) на систему «лыжник-лыжи» на протяжении всего полета. Для компьютерного моделирования используются показатели практических измерений в аэродинамической трубе.

В своем исследовании Б.Шмельцер и В.Мюллер [37] определили, что угол наклона туловища и угол в тазобедренном суставе являются наиболее значимыми для аэродинамически эффективной позиции тела в полете, а отношение подъемной силы к силе сопротивления воздуха прямо пропорционально величине угла в тазобедренном суставе. Тем не менее, с увеличением значения угла в тазобедренном суставе возможный диапазон угла атаки с сохранением устойчивого полета сужается. Подобные результаты были получены в более позднем исследовании [38].

Анализ различных исследований, проведенных в отношении аэродинамики полета, позволил чешским специалистам Р.Улар и М.Янура [39] на основании принципа максимума Понтрягина сделать следующий вывод [39]: влияние силы лобового сопротивления должно быть минимизировано спортсменом во время первых 0,5 с полета, а затем, после максимального возрастания действия подъемных сил в течение 2-3 с снова возникает необходимость минимизировать силу лобового сопротивления в конечной его части. Это определяет оптимальный порядок действий лыжников-прыгунов во время полета и сильно зависит от их индивидуальных особенностей (технических, антропометрических и др.).

Устойчивость системы «лыжник-лыжи» в воздухе при различных условиях полета – в тангаже, крене и рыскании – была подробно рассмотрена П.Маркес-Бруна и П.Гримшоу в 2009 году, так как это важно для управления полетом и безопасности спортсмена. Результаты эксперимента К.Сео и соавторов показали [40], что колебания в направлении тангажа (вперед-назад) системы «лыжник-лыжи» могут возникать и продолжаться несколько секунд, изменяя тем самым угол

атаки всего тела и общую стабильность.

Важность поддержания скорости во время полета была рассмотрена на примере сравнения начальной части полета (40 м) у двух лучших прыгунов на Олимпийских играх в 2002 году на большом трамплине [11]. Было определено, что траектория полета прыгуна М. была почти на 80 см выше в конечной точке исследуемой фазы (около 1,5 с после отталкивания), тем не менее прыгун А. в своём прыжке улетел на 5 м дальше. Причина этого, вероятно, кроется в различной скорости полета прыгунов, определившей в конечном итоге дальность прыжка. Сразу после отталкивания лыжник-прыгун А. быстро сформировал аэродинамически выгодное положение полета с наименьшим сопротивлением воздуха, сохранив высокую скорость движения. Несмотря на более низкую траекторию, этот спортсмен имел необходимую воздушную опору для оставшейся части полета. Было установлено, что за счет более высокой скорости влияние аэродинамических сил на лыжника-прыгуна А. увеличилось на 3,9%. Также был сделан вывод, что высокий результат может достигаться спортсменами путем различных вариантов техники прыжка, то есть оптимизации прыжка за счет индивидуальных двигательных особенностей.

Вопрос оптимизации стиля полета при различных скоростях отталкивания от стола отрыва был рассмотрен А.Юнгом с соавторами [41]. С помощью математических расчетов, компьютерного моделирования, алгоритма оптимизации и всесторонних измерений в аэродинамической трубе были смоделированы траектории полета для оптимизированных стилей полета при трех предложенных скоростях отталкивания (2, 2,5 и 3 м/с) на олимпийских профилях трамплинов в Эсто-Садок, Россия (HS106m, HS140m) и полетном профиле (HS205) в Гаррахове, Чешская Республика. Были представлены оптимизированные временные характеристики для угла атаки лыж α и угла наклона тела по отношению к лыжам β на различных участках полета, необходимых для достижения максимальной дальности прыжка. Данный метод позволяет провести более подробные исследования оптимизации в отношении индивидуального стиля полета.

Положение лыж в воздухе. В фазе полета V-положение лыж существенно влияет на аэродинамические качества системы «лыжник-лыжи», а, следовательно, и на дальность прыжка. Исследования, проведенные в аэродинамической трубе, продемонстрировали прямую зависимость рассчитанной дальности полета от величины V-угла разведения лыж [42]. В лабораторных условиях было определено оптимальное аэродинамическое положение лыж с углом разведения $V \geq 35^\circ$. При увеличении V-угла повышаются лобовое сопротивление и подъемная сила и закономерно возрастает дальность прыжка. Также было установлено, что поворот лыжи относительно своей оси на 30° и более приводит к резкому снижению воздействия подъемных сил воздуха.

Однако практическое исследование С.Крейбич [43] с использованием инерционных датчиков, которые устанавливались непосредственно за пятками прыжковых креплений, показало, что в реальных условиях прыгуны демонстрируют меньшие углы разведения лыж. Исследователь рассматривал возможность расположения лыж в соответствии с модельными характеристиками (V-угол, угол К и угол атаки α) в условиях прыжка с трамплина. Результаты показали, что из 110 рассмотренных комбинаций, требуемое положение лыж в воздухе не было достигнуто ни одним из спортсменов. Показатель среднего значения V-угла в испытуемой группе был значительно меньше и равнялся $19,3 \pm 6,2^\circ$, угол К равен $33,1 \pm 7,4^\circ$ и угол атаки α равен $32,4 \pm 6,8^\circ$. Это демонстрирует сложность контроля и рационального управления лыжами на протяжении полета, а также важность регулировки прыжковых креплений. Аналогичные выводы были получены в работе Д.Петрат и В.Бессон в 2017 году [44].

Результаты современных исследований, проведенных на соревнованиях высокого уровня, показали меньшие по сравнению с определенным ранее модельным значением величины V-угла лыж. У сильнейших спортсменов в основной части полета она составили $26-30^\circ$ [10]. Исследование в аэродинамической трубе, проведенное М.Вирмавирта и Й.Кивекас в 2019 году [45], позволило определить положение лыж, при котором отношение подъёмных сил воздуха (CL) к лобовому сопротивлению (CD) будет оптимальным. При угле

атаки лыж 30° и угле рыскания 15° (V-угле 30°) наиболее рациональным будет угол поворота лыжи относительно продольной оси (угол К) от 5 до 10° , так как отношение CL/CD увеличивается с $1,24$ до $1,35$ при увеличении угла К – с 0 до 10° .

Результаты практического исследования Б.Шмельцер и В.Мюллера на трамплине свидетельствуют [37], что угол разведения лыж у лыжников-прыгунов мирового класса очень мало меняется после фазы формирования полета.

В результате подробного рассмотрения современных требований к выполнению лыжниками-прыгунами фазы полета, в том числе особенностей полета на различных участках, влияния сил воздуха на систему «лыжник-лыжи» и наиболее аэродинамически выгодных положений спортсмена и лыж, определена специфика данной фазы прыжка с трамплина. Психологическое и эмоциональное напряжение, различные погодные условия и качество подготовки трамплина, быстротечность и высокая скорость перемещения в безопорном пространстве, риск падения – вот перечень наиболее значимых факторов, влияющих на спортсменов во время прыжка и, в частности, полета. Закономерно, что обучение юных «летающих лыжников» полету должно осуществляться в безопасных и упрощенных условиях, но с далеким прицелом на современные эталоны. Это предполагает наличие определенного арсенала упражнений и соответствующих условий или приспособлений.

5.5 Исследования влияния массы тела на дальность полета в прыжках на лыжах с трамплина

В начале 2000-х годов в прыжках на лыжах с трамплина сложилась ситуация, когда в погоне за спортивным результатом – далеким прыжком, лыжники-прыгуны снижали вес своего тела, что могло приводить к негативным последствиям для их здоровья. Международной лыжной федерации (FIS) удалось остановить эту негативную тенденцию, введя правило регулирования длины лыж в зависимости от величины индекса массы тела (ИМТ). Однако М.Вирмавирта и Ю.Кивекас, основываясь на знаниях о сложной взаимосвязи между морфологией тела и результатами в

прыжках на лыжах с трамплина, утверждают, что, по-видимому, нет необходимости в дальнейшей модернизации процесса регулирования ИМТ [46]. Этот вывод частично подтверждается другими исследованиями, касающимися взаимосвязи между морфологией тела спортсменов и их спортивными результатами.

Общая тенденция, наблюдаемая в контроле массы тела лыжников-прыгунов, показывает, что сокращение длины лыж не компенсирует в полной мере преимущество низкого веса тела. Увеличение дальности полета составляет около 1 метра на каждые 0,5 единицы ИМТ ниже 21 кг/м². Это особенно важно в условиях высокой конкуренции, где плотность результатов велика. За последние 9 лет средняя длина лыж сократилась примерно на 7 см, следовательно, уменьшение длины лыж не представляет существенной проблемы для «летающих лыжников». Несмотря на показатели своего ИМТ, только 14 из 50 лыжников-прыгунов использовали максимально разрешенную длину лыж на протяжении всего зимнего сезона 2016-2017 гг. Предпочтение более коротким лыжам может быть объяснено лучшим их контролем в фазе полета, а также сравнительно незначительным влиянием на итоговый результат.

М.Вирмавирта и Ю.Кивекас в своем исследовании [46] доказали, что вес спортсмена в большей мере влияет на дальность полета, чем длина лыж. Площадь лыж представляет собой лишь около половины общей аэродинамической площади системы «лыжник-лыжи», и изменение площади лыж на 10% приведет к изменению воздействия аэродинамических сил только на 5%. Площадь прыжковой лыжи длиной 251 см составляет 0,2784 м² и уменьшается только на 0,0044 м² при снижении ИМТ прыгуна с 21,0 до 20,5 (длина лыжи – 247 см). Таким образом, исходя из вышеприведенного предположения, общая аэродинамическая площадь системы «лыжник-лыжи» уменьшается всего на 0,79% при укорочении лыж с 251 до 247 см.

В экспериментах в аэродинамической трубе Л.Оджиано и Л.Сетран [47] определили минимальную разницу величин подъемной силы, 339 и 347 Н соответственно, для манекена лыжника-прыгуна с лыжами длиной 248 и 268 см.

Исследователи пришли к выводу, что современные правила FIS в целом решают проблему регулирования веса спортсменов. Однако, основываясь на результатах своих экспериментов, они отметили, что все же выгоднее снизить вес тела и использовать относительно короткие лыжи, чем иметь вес в соответствии с максимально допустимой длиной лыж.

М.Манор в своей работе [48] подводит ключевой итог. Некоторые спортсмены от природы имеют предрасположенность к особенностям своего вида спорта (вес, рост, телосложение), другим – необходимо подстраиваться, изменить свой вес, чтобы быть конкурентоспособными. Период времени, когда происходит формирование организма молодого спортсмена, является «нежелательным для серьезного ограничения потребления энергии при выполнении упражнений высокого уровня». Это было одной из основных причин, по которой FIS приняла правила, ограничивающие снижение веса тела (правило ИМТ).

5.6 Техника подготовки к приземлению в современных прыжках на лыжах с трамплина

Находясь в положении устойчивого полета, спортсмен должен подготовиться к приземлению, действуя в зависимости от положения тела и действующих внешних сил. Кинематический анализ выполнения подхода к приземлению показал, что в последней части устойчивого полета (1,0-0,5 с до контакта с горой приземления) изменения положения ног (сгибание/разгибание) происходят синхронно, а туловище разгибается с увеличением лобового сопротивления воздуха. Непосредственная подготовка к приземлению (0,5-0,4 с до контакта с горой приземления) характеризуется сгибанием в коленных и тазобедренных суставах и разгибанием в голеностопных суставах (рисунок 14). Ф.Греймел с соавторами [49] определили, что сильнейшие лыжники-прыгуны в борьбе за дальность прыжка дольше сохраняют позу полета и сокращают время подготовки к выполнению разножки до 0,16 с, тогда как у менее квалифицированных спортсменов эта величина составляет 0,36 с.

Тормозящее действие воздуха зависит главным образом

от положения лыж, то есть чем больше угол атаки лыж, тем короче тормозной путь. В частности, когда спортсмен увеличивает угол между лыжами и горой приземления и «открывается» во время подготовки к приземлению, тормозное действие увеличивается, смягчая приземление. В результате, чем ниже скорость, с которой спортсмен приземляется, тем меньше нагрузка на его опорно-двигательный аппарат. Исследование Г.Хохмута, проведенное в 1999 году, показало более низкое воздействие ударной нагрузки на опорно-двигательный аппарат спортсмена в момент приземления при раннем снижении активности в конце полета [50].



Рисунок 14 – Подготовка к приземлению и выполнение разножки в исполнении Ш.Ляйе, Германия (Кубок мира, г.Нижний Тагил, Россия) 07.12.2019, трамплин К-125м

Эти данные косвенно подтверждены Х.Швамедером и М.Вирмавирта [21, 26, 31], определившими с помощью тензометрических стелек повышение давления воздуха при увеличении углов атаки лыж. В связи с этим лыжники-прыгуны должны найти компромиссное решение для далекого полета и управления телом и лыжами в момент подготовки к приземлению на скорости 80 км/ч и более.

Посредством компьютерного моделирования Х.Швамедер с соавторами определили зависимость высоты полета перед приземлением от различных факторов (воздействия потоков воздуха, скорости полета, массы спортсмена, направления ветра) [32]. При этом изменение одного из параметров влияет на другие, и спортсмены должны оперативно реагировать на

эти факторы в доли секунды. В.Мюллером показано, что при встречном ветре подготовка и приземление происходят с меньшей скоростью, чем при попутном [51].

С помощью тензостелек были зафиксированы действия сил на протяжении всего прыжка на лыжах с трамплина (рисунок 15) [31]. Авторами установлено, что давление воздуха, действующее под лыжами, изменяется с изменением угла наклона лыж.

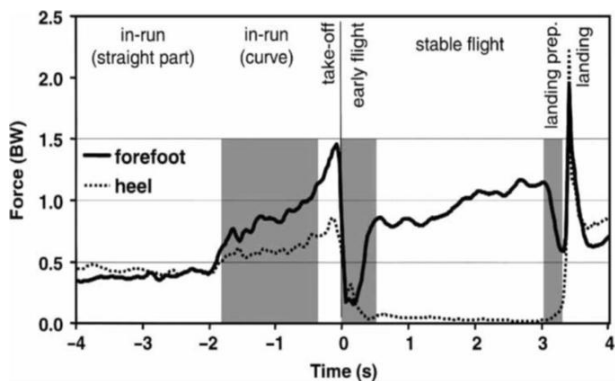


Рисунок 15 – Распределение силы от разгона до приземления, полученные с помощью тензостелек [31]

А.Уорд-Смит и Д.Клементс были первыми, кто рассмотрел аэродинамику прыгуна с трамплина, приближающегося к приземлению, с использованием компьютерного моделирования и измерений в аэродинамической трубе [52]. В частности, в центре внимания их исследования был экраный эффект, то есть изменение аэродинамической подъемной силы, действующей на объект (в данном случае – на лыжника-прыгуна) при приближении к земле.

К.Сео и его коллеги в 2004 году продемонстрировали положительное влияние экранного эффекта на длину прыжка и устойчивость при приземлении с помощью испытаний в аэродинамической трубе с использованием манекена [40]. Сохранение V-стиля в течение более длительного времени позволяет фактически увеличить подъемную силу воздуха, снизить скорость и увеличить длину прыжка.

6 ТЕХНИКА ПРИЗЕМЛЕНИЯ И ВЫКАТА В СОВРЕМЕННЫХ ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

Согласно Правилам соревнований по прыжкам на лыжах с трамплина (пункт 401.2.2 «Приземление»), спортсмен выполняет подготовку к приземлению и приземление в позицию разножки (телемарк) в следующем порядке: «выйти из стабильного положения полета, подняв голову и туловище; сделать движение руками в стороны или вперед-верх и поставить лыжи в параллельное положение. Перед касанием с горой приземления, выдвинуть одну из ног вперед на длину стопы, согнуть колени. При контакте с горой приземления, используя силу собственных мышц, снизить удар от приземления, продемонстрировав мягкое приземление» [53]. Приземление без выполнения выпада снижает судейские оценки.

Поза разножки (телемарк) представляет собой выпад ногой вперед, с приблизительным расстоянием в одну стопу от носка стоящей сзади ноги до пятки ноги, стоящей впереди. Ноги согнуты в коленях, туловище и голова подняты, руки разведены в стороны на уровне плеч. Расстояние между лыжами не должно превышать двух значений ширины одной лыжи (рисунок А.14). Критерием оценки служит слитный, естественный переход из полета в позицию разножки с сохранением ее на протяжении 10-12 метров с момента первого контакта спортсмена с горой приземления. Максимальное снижение судейской оценки за выполнение приземления – 5,0 баллов. Основные задачи спортсмена при приземлении – это амортизация ударной нагрузки и сохранение равновесия, а также получение высокой оценки от судей по технике.

Значительное количество иностранных исследований, посвященных биомеханике приземления в прыжке на лыжах с трамплина, свидетельствует о важности этого элемента для увеличения дальности прыжка, высоких судейских оценок и безопасности спортсменов [54, 55]. Еще в 1999 году исследование Г.Хохмута показало, что выполнение разножки позволяет лучше сохранять равновесие, чем приземление на две ноги без выпада вперед [50].

Первое измерение величины силы реакции опоры при

приземлении с использованием V-стиля полета, проведенное Х.Швамедером и В.Мюллером в 1995 году, показало диапазон ударной нагрузки от 1,5 до 3 величин веса спортсмена. Аналогичное современное исследование В.Бессон с соавторами [56] позволило определить величину силы реакции опоры при приземлении как 1,1-5,3 значения веса спортсмена. При этом была отмечена высокая ударная нагрузка при далеких прыжках, что может объясняться высокой скоростью в конце фазы полета и уменьшением наклона горы приземления в зоне точки HS.

Оценка величины силы реакции опоры при приземлении с разножкой или без нее (без выполнения выпада) позволила В.Бессон и её коллегам [57] определить, что существенные различия между двумя этими вариантами отсутствуют. По этой причине нельзя утверждать, что какой-либо из вариантов гарантирует более низкую ударную нагрузку. Однако асимметричное распределение нагрузки между стопами было обнаружено в 50% случаев с реализацией разножки и в 81% – без нее.

М.Вирмавирта и П.В.Коми [21] выполнили электромиографический анализ в течение всего прыжка с трамплина. Было установлено, что при приземлении мышцы более активны, чем во всех других фазах, поскольку они участвуют в противодействии ударной нагрузке. Это подтверждают результаты исследования Х.Швамедер [31], проведенного с применением тензометрических стелек во время реального прыжка с трамплина: им были зафиксированы самые высокие значения силы реакции опоры непосредственно в момент приземления (рисунок 15).

Таким образом, простое на первый взгляд движение при приземлении и позиция разножки в действительности обязывают спортсменов иметь многостороннюю техническую подготовку. Основными задачами спортсмена в момент перехода от полета к скольжению по горе являются своевременная подготовка к приземлению еще в воздухе; выверенные действия при первом контакте с горой приземления и амортизация ударной нагрузки; преобразование позы приземления в эстетичный телемарк, соответствующий судейским требованиям, и сохранение его на

протяжении 10-12 метров; постоянный контроль за управлением лыжами. Приземление на далеком метраже (в зоне HS) сопровождается большой ударной нагрузкой, что значительно усложняет выполнение разножки.

Важность обучения качественному приземлению при прыжке с трамплина очевидна, однако большинство отечественных тренеров и спортсменов уделяют отработке разножки недостаточно внимания, а методика подготовки нуждается в модернизации. Необходима отработка приземления в равной степени с другими техническими элементами прыжка уже с ранних этапов спортивной тренировки.

Заключительная часть прыжка – выкат – начинается сразу после приземления и может показаться очень простой, но требует от прыгуна большой натренированности, внимания и точности исполнения. При входе в радиус горы приземления R2 прыгун должен слегка приподняться, чтобы его не прижало к лыжам, произвести спуск до конца площадки торможения, помня, что прыжок оценивается вплоть до линии падения [53].

Согласно действующим правилам соревнований, прыгун должен:

- после приземления с правильным положением ног и на согнутых ногах остаться в позиции телемарк;
- пересечь радиус и линию падения в более высоком, но стабильном и расслабленном положении на параллельных лыжах или в положении «торможение плугом»;
- после приземления спортсмен должен оставаться некоторое время в позиции телемарк (примерно 10-15 метров).

Снижение судейских баллов за все виды ошибок может составлять 7 баллов. Специальных исследований, посвященных технике выполнения данной фазы прыжка, не проводилось, однако она требует тщательной отработки в тренировочном процессе лыжников-прыгунов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прыжок на лыжах с трамплина происходит в экстремально сложных условиях, и действия спортсмена должны быть точными, выверенными и реализоваться в кратчайшее время. Именно поэтому техническая подготовка является важнейшей составляющей тренировочного процесса и требует тщательного выбора средств и методов совершенствования техники.

Проведенный анализ иностранных исследований техники прыжка позволил, на наш взгляд, детально описать процесс оптимизации положения прыгуна в фазах разгона, отталкивания, полета и приземления и, таким образом сформировать системные представления о направлениях развития вида спорта и конкретных модельных показателях техники.

Обучение юных спортсменов техническим элементам прыжка и создание правильного навыка является долгосрочным процессом и требует использования специальных технических упражнений, соответствующих уровню подготовленности занимающихся. Однако на протяжении всей многолетней подготовки тренер должен ориентироваться на эталоны техники сильнейших прыгунов на лыжах с трамплина для формирования правильного образа двигательного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История лыжного двоеборья. – URL: <https://sportsgroup.ru/zimnie-vidyi-sporta/istoriya-lyizhnogo-dvoeborya.html>.
2. Прыжки на лыжах с трамплина и лыжное двоеборье в России. – URL: <https://trampolin.perm.ru/history/>.
3. Техника прыжков с трамплина. – URL: <https://hmong.ru/wiki/V-style>.
4. Virnavirta M. Aerodynamics of ski jumping // The engineering approach to winter sports. – 2016. – № 6. – P.153-181.
5. Tani I., Iuchi M., Flight mechanical investigation of ski jumping // Scientific Study of Skiing in Japan. – Tokyo: Hitachi, 1971. – P.35-52.

6. Грозин Е.А. Прыжки с трамплина. – М.: Физкультура и спорт, 1971. – 88 с.

7. Denoth J., Luethi S.M., Gasser H. Methodological Problems in Optimisation of the Flight Phase in Ski Jumping // International journal of sport biomechanics. – 1987. – № 3. – P.404-418.

8. Mahnke R., Hochmuth G. Neue Erkenntnisse zur Luftkraftwirkung beim Ski-springen // Research Report for Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport. – URL: <https://scholar.google.com/scholar?&q=MahnkeHochmuthNeueErkenntni zurLuftkraftwirkungkispringenResearchReportfoForschungsinstitut>.

9. Захаров Г.Г., Новикова Н.Б., Котелевская Н.Б. Современные тенденции в технике прыжков на лыжах с трамплина лыжников-двоеборцев: Методическое пособие. – СПб: ФГБУ СПбНИИФК, 2019. – 64 с.

10. Müller S., Kreibich S., Mahnke R. [et al.]. Analysen des nationalen und internationalen Leistungsniveaus der Skispringer im Olympiazzyklus 2002-2006 // Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft. – 2006. – № 13 (1). – P.137-153.

11. Virmavirta M., Isolehto J., Komi P. [et al.]. Characteristics of the early flight phase in the Olympic ski jumping competition // Journal of Biomechanics. – 2005. – № 38. – P.2157-2163.

12. Virmavirta M., Isolehto J., Komi P., [et al.]. Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106m) // Journal of Biomechanics. – 2009. – № 42 (8). – P.1095-1101.

13. Ettema G.J.C., Bråten S., Bobbert M.F. Dynamics of the in-run in ski jumping: a simulation study // Journal of Applied Biomechanics. – 2005. – № 21 (3). – P.247-259.

14. Elfmark O., Ettema G. Aerodynamic investigation of the in-run position in Ski jumping // Sports Biomechanics. – February 2021. – URL: <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1871503>.

15. Kreibich S., Müller S., Kürschner M. [et al.]. Analyse zeitlich-räumlicher Geschwindigkeitsunterschiede im Skispringen und in der Nordischen Kombination. – URL: https://leistungssport.net/fileadmin/user_upload/lsp17_01_Kreibich_Lit.pdf.

16. Virmavirta M. Ski jumping: Aerodynamics and kinematics of take-off and flight // Handbook of human motion. – 2017. – P.1-21.

17. Müller W. Performance factors in ski jumping, in Sport Aerodynamics // CISM International Centre for Mechanical Sciences. – 2008. – № 506. – P.139-160.

18. Virmavirta M., Kivekäs J., Komi P.V. Take-off aerodynamics in ski jumping // Journal of Biomechanics. – 2001. – № 34 (4). – P.465-470.

19. Schwameder H. Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006

// Sports Biomechanics. – 2008. – № 7 (1). – P.114-136.

20. Uhlář R., Janura M. Pontryagin's maximum principle and optimization of the flight phase in ski jumping // Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica. – 2009. – № 39. – P.61-68.

21. Virmavirta M., Komi P.V. Plantar pressure and EMG activity of simulated and actual ski jumping take-off // Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. – 2001. – № 11 (5). – P.310-314.

22. Yamamoto K., Tsubokura M., Ikeda J. [et al.]. Effect of posture on the aerodynamic characteristics during take-off in ski jumping // Journal of Biomechanics. – 2016. – № 49. – P.3688-3696.

23. Müller S., Kreibich S., Wiese G. Analyse der nationalen und internationalen Leistungsentwicklung im Skispringen // Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft. – 2014. – № 21 (2). – P.97-111.

24. Müller S., Kreibich S., Kürschner M., [et al.]. Analyse der nationalen und internationalen Leistungsentwicklung im Skispringen und in der Nordischen Kombination // Olympiainalyse Pyeongchang 2018. – January 2019. – URL: <https://www.iat.uni-leipzig.de/datenbanken/iks/sponet/Record/4053050>.

25. Defraeye T., Blocken B., Koninckx E., [et al.]. Computational fluid dynamics analysis of cyclist aerodynamics: performance of different turbulence modelling and boundary-layer modeling approaches // Journal of Biomechanics. – 2010/ – № 43 (12). – P.2281-2287.

26. Virmavirta M., Komi P.V., Perttunen J. Simulated and actual ski jumping take-offs differ in plantar pressure and muscle activation patterns // Proceedings of the XVIth Congress of the ISB. –Tokyo: Japan, 1997. – 260 p.

27. Virmavirta M., Komi P.V. Measurement of take-off forces in ski jumping. Part II // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. – 1993. – № 3. –P.237-243.

28. Virmavirta M., Komi P.V. Take off analysis of a champion ski jumper // Coaching and Science Journal. – 1994. – № 1 (1). – P.23-27.

29. Gardan N., Schneider A., Polidori G., [et al.]. Numerical investigation of the early flight phase in ski-jumping // Journal of Biomechanics. – 2011. – № 44. – P.29-34.

30. Buchner S. Nordische Kombination Rahmentrainingsplan. – URL: <https://www.iat.uni-leipzig.de/datenbanken/iks/ta/Record/3042904#>.

31. Schwameder H. Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006 // Sports Biomechanics. – 2008. – №7 (1). – P.114-136.

32. Schwameder H., Müller E. Biomechanische Beschreibung und Analyse der V-Technik im Skispringen // Spectrum der Sportwissenschaften. – 1995. – № 71. – P.5-36.

33. Vodcar J., Jošt B. Reliability and Validity of the Skijumping

Technique Factors. (Техника прыжков на лыжах с трамплина) – URL:http://www.skijumpingrus.ru/data/files/16/Prezentaciya_Boyan_Yost_ch.1.pdf (дата обращения 29.05.2022).

34. Murakami M., Iwase M., Seo K., [et al.]. High-speed video image analysis of ski jumping flight posture // *Sports Engineering*. – 2014. – № 17 (4). – P.214-225.

35. Vodicar J., Čoh M., Jošt B. Kinematic Structure at the Early Flight Position in Ski Jumping // *Journal of Human Kinetics*. – 2012. – № 35 (1). – P.35-45.

36. Wick J., Lehmann F. Olympiaanalyse Pyeongchang 2018: Olympiazyklusanalyse und Auswertungen der Olympischen Winterspiele 2018 in ausgewählten Sportarten. – Aachen: Meyer & Meyer, 2019. – 156 s.

37. Schmölzer B., Müller W. The importance of being light: Aerodynamic forces and weight in ski jumping // *Journal of Biomechanics*. – 2002. – № 35. – P.1059-1069.

38. Minhyoung R., Leesang C. Aerodynamic Analysis on Postures of Ski Jumpers during Flight using Computational Fluid Dynamics // *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*. – 2015. – № 58 (4). – P.204-212.

39. Uhlář R., Janura M. Pontryagin's maximum principle and optimization of the flight phase in ski jumping // *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*. – 2009. – № 39. – P.61-68.

40. Seo K., Watanabe I., Murakami M. Aerodynamic force data for a V-style ski jumping flight // *Sports Engineering*. – 2004. – № 7 (1). – P.31-39.

41. Jung A., Staat M., Müller W. Optimization of the flight style in ski jumping // 1th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 5th European Conference on Computational Mechanics (ECCM V), 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD VI) (20-25.07.2014, Barcelona). – Spain, 2014. – P.779-809.

42. Ito S., Seo K., Asai T. An experimental study on ski jumping styles // *The engineering of sport*. – 2009. – № 7 (2). – P.9-17.

43. Kreibich S. Präzisierung der Technikorientierung für die V-Skihaltung im Skispringen auf der Basis von Windkanaluntersuchungen. – Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 2018. – 148 p.

44. Petrat J., Bessone V., Improving performance in juvenile ski jumping: optimization of ski angles in the flight phase // 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports. – 2017. – № 35. – P.14-18.

45. Virnavirta M., Kivekäs J. Aerodynamics of an isolated ski jumping ski // *Sports Engineering*. – 2019. – № 22. – P.1-6.

46. Virnavirta M., Kivekäs J. Is it still important to be light in ski jumping? – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/>

14763141.2018.1556326.

47. Oggiano L., Sætran L. Effects of body weight on ski jumping performances under the new FIS rules (P3) // *The Engineering of Sport*. – 2008. – № 7. – P.1-9.

48. Manore M.M. (2015). Weight management for athletes and active individuals: A brief review // *Sports Medicine*. – 2007. – № 45. – P.83-92.

49. Greimel F., Virmavirta M., Schwameder H. Kinematic analysis of the landing phase in ski jumping // *Science and Skiing*. – 2009. – P.721-727.

50. Hochmuth G. Telemark Landing // *FIS Bull*. – 1999. – № 137. – P.29-43.

51. Müller W. Determinants of ski-jump performance and implications for health, safety and fairness // *Sports Medicine*. – 2010. – № 39 (2). – P.85-106.

52. Ward-Smith A., Clements D. Experimental determination of the aerodynamic characteristics of ski jumpers // *Aeronaut J*. – 1982. – №8 (6). – P.384-91.

53. Правила проведения международных соревнований по прыжкам на лыжах с трамплина и лыжному двоеборью ФИС (2011) / Федерация прыжков на лыжах с трамплина и лыжного двоеборья. – URL: http://www.skijumpingrus.ru/mezhdunarodnye_pravila_SJ.pdf.

54. Bessone V., Schwirtz A. Landing in Ski Jumping: A Review About its Biomechanics and the Connected Injuries // *Journal of Science in Sport and Exercise*. – 2021. – № 3 (6). – P.238-248.

55. Babel S., Hartmann U., Spitzenpfeil P., Mester J. Ground-reaction forces in alpine skiing, cross-country skiing and ski jumping // *Science and Skiing*. – London: Taylor & Francis, 2003. – P.200-207.

56. Bessone V., Petrat J., Seiberl W., Schwirtz A. Analysis of landing in ski jumping by means of inertial sensors and force insoles // *Proceedings*. – 2018. – № 2 (6). – P.311. – URL: <http://www.mdpi.com/journal/proceedings>.

57. Bessone V., Petrat J., Schwirtz A. Ground reaction forces and kinematics of ski jump landing measured with wearable sensors // *Sensors*. – 2019. – № 19 (9). – URL: <https://DOI:10.3390/s1909201>.